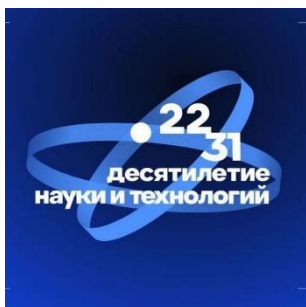
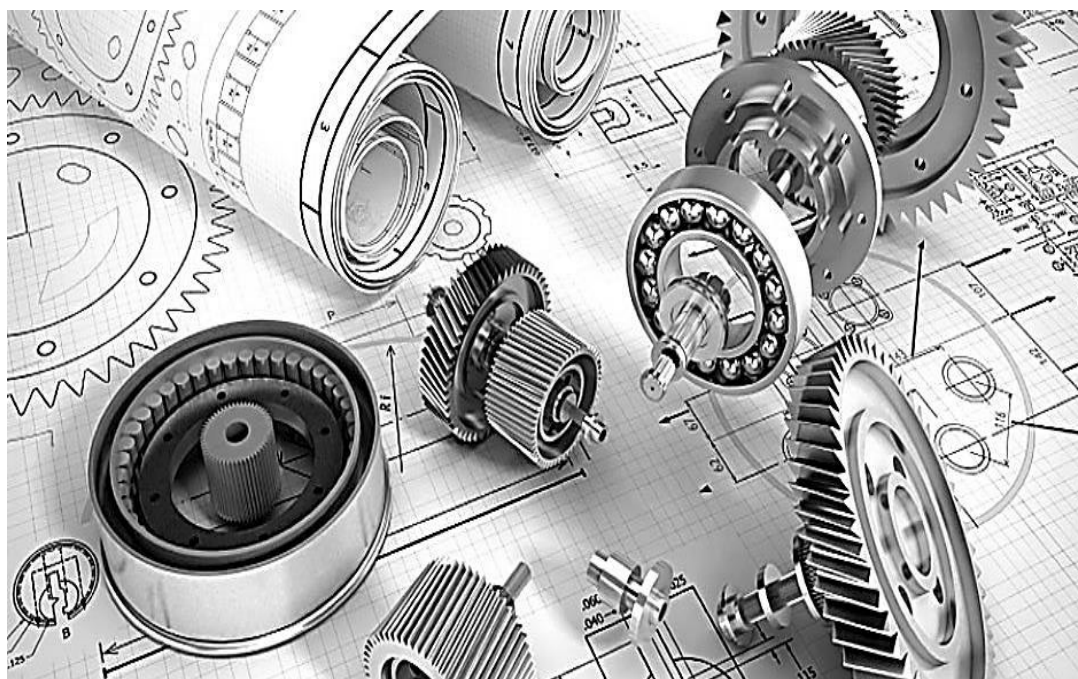




ИННОВАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ТРАНСПОРТЕ

**XII Всероссийская научно-техническая конференция
молодых ученых и студентов
сборник статей**



Пенза 2026

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Факультет промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта
Кафедра «Транспортные машины»**

**МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР
ПЕНЗЕНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

ИННОВАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ТРАНСПОРТЕ

**Сборник статей
XII Всероссийской научно-технической
конференции молодых ученых
и студентов**

16-17 марта 2026 г.

**Пенза
ПГАУ
2026**

УДК 62+33
ББК 3+39
И 66

Под научной редакцией доктора технических наук, профессора, академика РАТ **В.В. Салмина** ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

И66 Инновации технических решений в машиностроении и транспорте: сборник статей XII Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов / Пензенский государственный университет [и др.]; под ред. Салмина В.В. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2026. – 485 с. – URL:[https:// mnisc.pgau.ru/file/doc/konferencii/2026/Сборник_МСК-26.pdf](https://mnisc.pgau.ru/file/doc/konferencii/2026/Сборник_МСК-26.pdf) – Текст: электронный.

ISBN 978-5-00196-423-0

В сборнике статей представлены труды посвященные различным аспектам инновационных решений в машиностроении и транспорте. Доклады сфокусированы на вопросах проектирования и конструирования современной автотракторной техники, применения новых технологий в машиностроительном производстве, создании новых конструкционных материалов, машин и механизмов, а также организация безопасности движения на транспорте.

УДК 62+33
ББК 3+39

ISBN 978-5-00196-423-0

© МНИЦ ПГАУ, 2026

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПРОКАТКЕ МАТЕРИАЛОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ. АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА

Е.В. Астахов, Н.Н. Татарников, А.Д. Чернышев

*Московский политехнический университет, Рязанский институт (филиал),
г. Рязань, Россия*

В статье рассматривается влияние температуры на образование дефектов при прокатке материалов с памятью формы. Анализируются термические эффекты, возникающие в процессе обработки, и их воздействие на качество конечного продукта. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации технологических процессов и повышения качества изделий из материалов с памятью формы.

Ключевые слова: Материалы с памятью формы; прокатка; температура; дефекты; трещины; деформации; термические эффекты.

Известно довольно много экспериментальных данных о влиянии предварительной термомеханической обработки на свойства сплавов, проявляющих эффект памяти формы, к числу которых относится и никелид титана [1–6]. Варьируя температуру и способ задания предварительной деформации, можно добиться как улучшения эффекта памяти формы, так и полного его подавления [1–3]. При производстве рабочих элементов из сплавов на основе никелида титана и в условиях их аварийной эксплуатации неизбежно происходит пластическая деформация. Поэтому исследование влияния этой деформации на свойства материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ) становится особенно важным.

Анализ существующих данных показывает, что влияние пластической деформации на свойства сплавов не имеет однозначного ответа, так как исследования проводятся в различных условиях. В одном из исследований была обнаружена немонотонная зависимость величины эффекта памяти формы (значения SME) от предварительной пластической деформации ε_0 , заданной растяжением в мартенситной фазе. Максимум этой зависимости наблюдается при $\varepsilon_0 = 7\%$. Также было установлено, что влияние предварительной пластической деформации на характеристические температуры имеет немонотонный характер, с минимумом при 6 % деформации. Если материал подвергается предварительной деформации прокаткой, зависимости становятся еще более сложными.

В предыдущих работах авторы исследовали изменения температур превращения и величины накопленной деформации (пластичности превращения) при кручении после растяжения в аустенитном состоянии. Обнаруженные немонотонные зависимости указывают на сложность и многофакторность влияния

пластической деформации на свойства сплавов с эффектом памяти формы, что требует дальнейшего изучения.

Целью данного исследования было изучение воздействия предварительной пластической деформации на изменение характеристических температур превращения, а также на способность деформированного материала к накоплению деформации при прямом превращении. Кроме того, исследовалось влияние температуры отжига на восстановление свойств деформированных сплавов. Эксперименты проводились на цилиндрических образцах сплава ТН-1 с диаметром и длиной рабочей части 4 и 30 мм соответственно. Перед испытаниями образцы подвергались отжигу в течение 15 минут при 1073 К, затем охлаждались на воздухе и выдерживались в течение 2 часов при 773 К, после чего снова охлаждались вместе с печью.

Образцы изготовлены из одного прута, но отличались по свойствам, поэтому имел место статистический разброс характеристических температур, которые были определены по результатам дифференциального термического анализа: $M_n = 332 \pm 3$ К, $M_k = 324 \pm 3$ К, $A_n = 352 \pm 3$ К, $A_k = 372 \pm 3$ К.

Пластическую деформацию задавали при 620 К в следующей последовательности: нагрев, нагружение, разгрузка, охлаждение, после чего следовал термоцикл в свободном от напряжений состоянии. Остаточную пластическую деформацию измеряли при комнатной температуре. Затем тот же образец испытывали в режиме кручения, реализуя эффект пластичности превращения при $\tau = 20$ и памяти формы при $\tau = 0$ МПа.

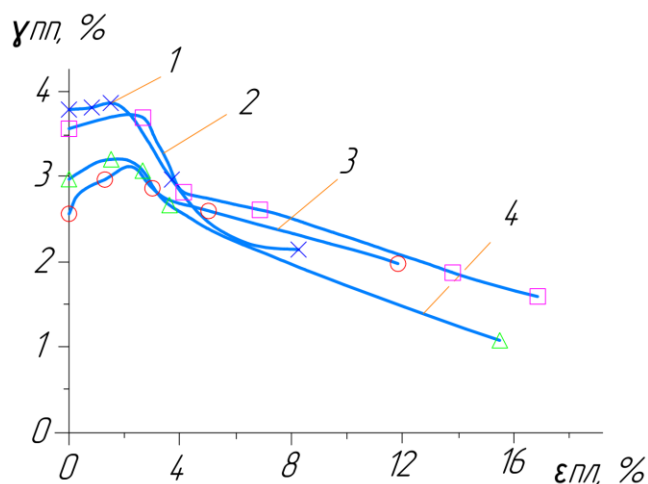


Рисунок 1 – Зависимость максимальной деформации, накапливаемой при охлаждении под напряжением $\tau = 20$, от предварительной пластической деформации для образцов №№ 8677 (1), 8616 (2), 8634 (3), 8631 (4) из сплава TiNi

На рис. 1 представлены графики зависимости деформации пластичности превращения при кручении $\gamma_{пл}$ от предварительной пластической деформации растяжением $\epsilon_{пл}$. Эта зависимость имеет максимум при $\epsilon_{пл} = 2 - 3$ %. Дальнейший рост пластической деформации приводит к падению $\gamma_{пл}$. Увеличение деформации пластичности превращения при низких значениях $\epsilon_{пл}$, вероятно,

связано с образованием полей внутренних напряжений, где преобладающей является осевая компонента σ , способствующая увеличению $\gamma_{пп}$.

Однако дальнейшее нарастание пластической деформации приводит к накоплению дефектов в материале. Этот процесс становится доминирующим и уменьшает влияние внешней нагрузки как определяющего фактора приложенных напряжений. На графике наблюдается снижение деформации $\gamma_{пп}$ в 1,5 – 2 раза при увеличении предварительной пластической деформации с 2 до 9 %.

На рисунке 2 представлены суммарные зависимости ΔM_n и ΔM_k для четырех образцов от $\epsilon_{пл}$. Как видно, с увеличением предварительной пластической деформации эти температуры снижаются, что, очевидно, связано с ростом количества дефектов и соответствующим увеличением внутренних напряжений в материале. Аналогичное поведение наблюдается и для температур обратного мартенситного перехода.

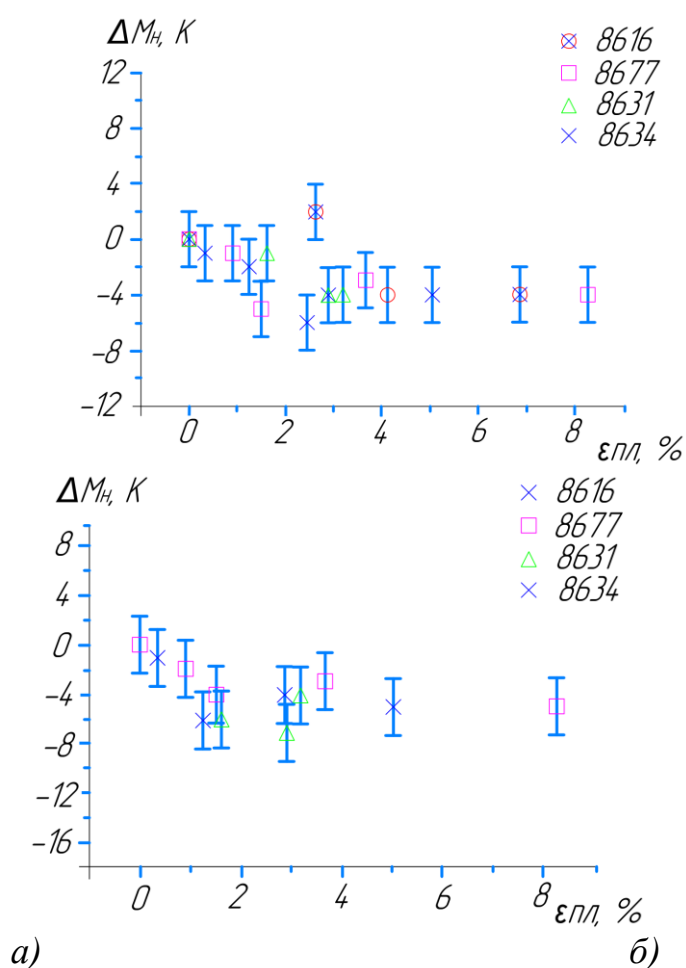


Рисунок 2 – Зависимость изменения характеристических температур сплава TiNi от предварительной пластической деформации для 4-х образцов

На одном из образцов порядок задания пластической деформации оставался тот же, но в режиме кручения изучали зависимость деформации пластичности превращения $\gamma_{пп}$ от приложенного касательного напряжения (рис. 3). Как видно на рисунке, эта зависимость линейна до $\tau = 50$ МПа.

Известны наблюдения как нелинейной, начиная с $\tau = 50$ МПа [6], так и линейной зависимости при напряжении до 150 МПа [7]. Отметим, что качественно вид кривой сохраняется и для деформированного образца, однако происходит снижение общего уровня накапливаемой деформации упп.

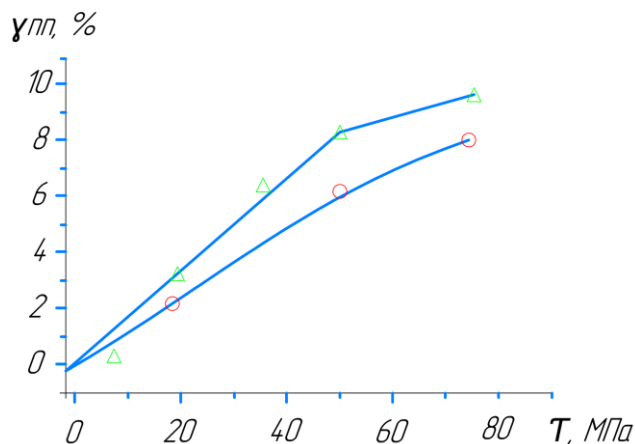


Рисунок 3 – Зависимость деформации, обусловленной пластичностью прямого мартенситного превращения, от приложенного напряжения до (1) и после (2) деформации растяжением на 8 %

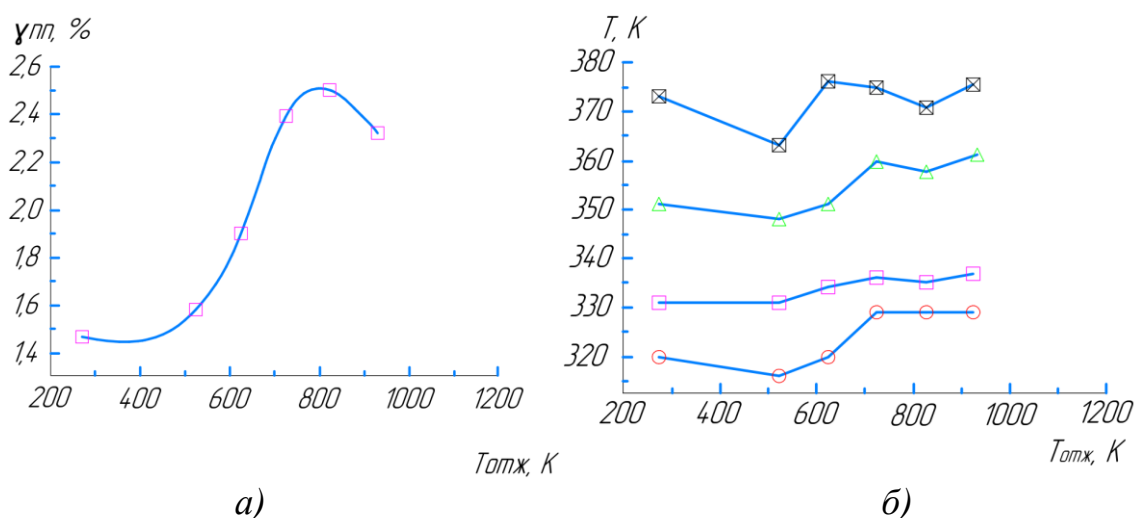


Рисунок 4 – Зависимости максимальной деформации, накапливаемой при охлаждении под напряжением $\tau = 20$ МПа, и температур превращения от температуры отжига

Как видно на рис. 2, 3, пластическая деформация частично подавляет способность материала накапливать деформацию и приводит к снижению температур превращения.

Насколько возможно восстановить эти свойства, должен был ответить эксперимент по изохронному отжигу. Образец предварительно деформировали растяжением на 8 %. Эффекты пластичности превращения и памяти формы

исследовали в режиме кручения. Температуру отжига варьировали от 523 до 923 К, время выдержки было постоянным – 20 минут.

В результате проведения отжига наблюдается частичное восстановление свойств материала. Как показано на рисунке 4а, наиболее выраженное улучшение происходит при температуре 823 К. Однако дальнейшее увеличение температуры отжига приводит к снижению пластической деформации превращения. На рисунке 4б представлена динамика изменения характеристических температур превращения в зависимости от температуры отжига. Полное восстановление свойств достигается после отжига при 723 К. Согласно некоторым исследованиям [8], именно в этом температурном диапазоне в TiNi происходят процессы рекристаллизации, которые сопровождаются значительным снижением плотности дефектов и полным устранением последствий пластической деформации. Это явление также подтверждается результатами данного эксперимента.

Список использованных источников

1. Гюнтер В.Э., Малеткина Т.Ю., Клопотов А.А. Влияние деформации и внешней нагрузки на характеристики мартенситных превращений и эффекты памяти формы в сплавах на основе никелида титана // Прикладная механика и техническая физика. 1998. Т. 39. № 2. С. 175-181.

2. Гюнтер В.Э., Малеткина Т.Ю. Влияние деформации на характеристики эффекта памяти формы в сплавах на основе TiNi // Исследование, разработка и применение сплавов с памятью формы в медицине. 1994. Вып. 1. С. 1-6.

3. Kovneristy Yu.K., Fedorov S.G., Matlakhova L.A. The influence of plastic deformation on the structure, shape memory effect and other properties of TiNi alloy // Proceeding of the International Symposium on Shape Memory Alloys. September 6–9. 1986. Guilin (China), 1986. P. 175-180.

4. Волков А.Е., Иночкина И.В. Влияние пластической деформации на характеристики памяти формы никелида титана // Матер. XXXV семинара «Актуальные проблемы прочности». Ч. 2. Псков, 13–18 сент. 1999. Псков, 1999. С. 619-622.

5. Ермолаев В.А., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А., Шиманский С.Р., Поныткин В.П. Влияние деформации и отжига на эффекты памяти формы и демпфирование в сплаве TiNiCu // Изв. вузов. Цвет. мет. 1985. № 1. С. 108-112.

6. Лихачев В.А., Шиманский С.Р. Исследование механических свойств и реактивных напряжений в сплаве TiNiCu // Деп. рук. Ред. журн. Вест. ЛГУ. Мат., мех., астроном. Л., 1984. Депонирована в ВИНТИ 10.12.84. № 7866.

7. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 216 с.

8. Saburi T. Ti-Ni shape memory alloys // Shape Memory Materials / Ed. by K. Otsuka, C.M. Wayman. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. P. 49-96.

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE FORMATION OF DEFECTS DURING ROLLING OF MATERIALS WITH SHAPE MEMORY. ANALYSIS OF THERMAL EFFECTS AND THEIR IMPACT ON THE QUALITY OF THE FINAL PRODUCT

E.V. Astakhov, N.N. Tatarnikov, A.D. Chernyshev

*Moscow Polytechnic University, Ryazan Institute (branch),
Ryazan, Russia*

The article discusses the effect of temperature on the formation of defects during rolling of materials with shape memory. The thermal effects that occur during processing and their impact on the quality of the final product are analyzed. The results of the study can be used to optimize technological processes and improve the quality of products made of shape memory materials.

Keywords: Materials with shape memory; rolling; temperature; defects; cracks; deformations; thermal effects.

УДК 621

ОСНОВЫ И ТЕОРИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

К.С. Бальцер

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

Рассматриваются теоретические основы к техническому обслуживанию и ремонту авиационных компонентов, поэтому анализируются современные концепции надежности, методы диагностики, стратегии обслуживания, а также организационные и технологические аспекты обеспечения летной годности воздушных судов.

Ключевые слова: авиация, эксплуатационные дефекты, Техническое обслуживание, ремонт, отказ.

Эксплуатация воздушных судов невозможна без выстроенной и постоянно совершенствуемой системы технического обслуживания и ремонта авиационных компонентов. Именно эти процессы обеспечивают не только поддержание летной годности, но и устойчивость всей авиационной инфраструктуры, ведь любой отказ авиационного компонента, даже незначительный, может повлечь за собой серьезные последствия, включая угрозу безопасности полетов.

Основная задача технического обслуживания и ремонта заключается в поддержании годности, предотвращении отказов и обеспечении заданных эксплуатационных характеристик воздушных судов. Таким образом, техническое

обслуживание авиационных систем является неотъемлемой частью их жизненного цикла и включает в себя комплекс мероприятий, направленных на предупреждение отказов, восстановление работоспособности и продление ресурса компонентов.

Фундаментом системы технического обслуживания является теория надежности, которая изучает закономерности отказов и долговечности технических систем, а сама надежность авиационных компонентов определяется способностью выполнять заданные функции в течение определенного времени при заданных условиях эксплуатации. Ключевыми показателями являются вероятность безотказной работы, средняя наработка на отказ и интенсивность отказов.

Особое значение имеет взаимосвязь между этапами проектирования, производства и последующей эксплуатации авиационной техники: информация, формируемая на стадии разработки, аккумулируется в технической документации и затем трансформируется в конкретные технологические процессы. Эти процессы охватывают как конструктивные решения, так и особенности сборки и обслуживания компонентов. Однако анализ жизненного цикла авиационной техники показывает, что одним из ключевых ограничений остается недостаточная готовность инженерных кадров к эффективной работе в условиях цифровизации. Несмотря на наличие современных программных средств, не всегда обеспечивается их полноценная интеграция в практическую деятельность, что снижает эффективность как проектирования, так и последующего обслуживания.

Авиационные системы подвергаются воздействию широкого спектра факторов, приводящих к ухудшению их технического состояния. К основным механизмам деградации относятся усталостное разрушение материалов, коррозионные процессы, температурные воздействия и механический износ. В условиях циклических нагрузок происходит накопление микрповреждений, которые со временем могут привести к разрушению элементов конструкции. Дополнительное влияние оказывают внешние факторы, такие как влажность, перепады температур и агрессивные среды. Эти условия особенно характерны для авиационной техники, эксплуатируемой в различных климатических зонах. В результате формируется сложная картина деградации, требующая комплексного подхода к диагностике и прогнозированию.

По итогу, теоретические подходы формируют основу для разработки стратегий технического обслуживания, среди которых выделяются планово-предупредительное обслуживание, обслуживание по состоянию и прогностическое обслуживание.

Реализация теоретических положений в практике осуществляется через многоуровневую систему технического обслуживания. Наиболее оперативный уровень представлен линейным обслуживанием, выполняемым непосредственно перед и после полетов и включающим визуальные осмотры, проверку систем и устранение незначительных неисправностей. Более глубокий уровень представлен базовым обслуживанием, в ходе которого осуществляется частичная разборка и детальная проверка компонентов. Наиболее трудоемким и ресурсозатратным является капитальный ремонт, направленный на полное восстановление ресурса агрегатов.

Сейчас же цифровые платформы обеспечивают доступ к актуальной технической документации, истории эксплуатации и аналитическим данным, способствуя принятию более обоснованных решений и снижению вероятности ошибок. Важным направлением является создание систем мониторинга, позволяющих в реальном времени отслеживать состояние авиационных систем.

В заключение, техническое обслуживание и ремонт авиационных компонентов представляют собой сложную и динамично развивающуюся область, объединяющую достижения теории надежности, инженерной практики и цифровых технологий, где современные подходы ориентированы на повышение эффективности, снижение затрат и обеспечение максимального уровня безопасности.

Список использованных источников

1. Костюков, В.Н. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин / В.Н. Костюков, А. П. Науменко. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 360 с.
2. Мышкин Л.В. Прогнозирование развития авиационной техники. Теория и практика. – Москва: Издательский дом "Наука", 2017. – 480 с.

FUNDAMENTALS AND THEORY OF MAINTENANCE AND REPAIR OF AVIATION SYSTEMS

K.S. Balzer

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

The theoretical foundations for the maintenance and repair of aircraft components are considered, therefore, modern concepts of reliability, diagnostic methods, maintenance strategies, as well as organizational and technological aspects of ensuring the airworthiness of aircraft are analyzed.

Keywords: aviation, operational defects, Maintenance, repair, failure.

УДК 621

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕРТОЛЕТНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ

К.С. Бальцер

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

Анализируются особенности аэродинамики вертолета, существующие методы измерения параметров воздушного потока.

Ключевые слова: авиация, аэродинамика, полет, вертолет, воздушная скорость.

Контроль полета является фундаментальной задачей безопасности при эксплуатации летательных аппаратов, ведь вертолет, как объект с существенно более сложной аэродинамической структурой по сравнению с самолетом, предъявляет более повышенные требования к системам измерения и интерпретации полетной информации. Сам вертолетный транспорт является важнейшим элементом авиационной системы, обеспечивающим выполнение широкого круга задач – от перевозки пассажиров и грузов до проведения поисково-спасательных и специальных операций.

Скорость полета определяет подъемную силу, устойчивость, маневренность, а также влияет на расход топлива и допустимые эксплуатационные режимы. В отличие от самолетов, где скорость в основном связана с поступательным движением, у вертолетов она имеет более сложную природу, поскольку связана как с движением аппарата в целом, так и с вращением несущего винта. Это делает задачу измерения скорости и ее использования для управления значительно более сложной и требует применения специализированных датчиков и методов обработки информации, а также постоянного контроля большого числа параметров.

Ключевым параметром, характеризующим состояние полета вертолета, является воздушная скорость. Она определяет условия обтекания несущего винта, влияет на формирование подъемной силы и распределение нагрузок по лопастям. При этом необходимо учитывать, что воздушная скорость для вертолета имеет двойственную природу: с одной стороны, она характеризует движение аппарата относительно воздушной среды, а с другой – определяет локальные условия взаимодействия лопастей с потоком. Именно второй аспект играет решающую роль в формировании опасных режимов полета.

В авиационной практике разработан широкий спектр приемников, предназначенных для определения параметров воздушного потока. Эти устройства могут устанавливаться в различных зонах вертолета и иметь разнообразные конструктивные решения, например, существуют системы, размещаемые непосредственно на лопастях несущего винта, а также датчики, устанавливаемые на выносных штангах или ориентируемые по направлению потока с помощью механических элементов. Традиционные системы измерения воздушной скорости основаны на использовании приемников воздушного давления, регистрирующих статическое и полное давление потока. Такие системы широко применяются и обеспечивают достаточную точность для большинства режимов полета. Однако в условиях сложной аэродинамики вертолета, особенно вблизи несущего винта, они не позволяют получить полную картину происходящих процессов. Это связано с тем, что измерения выполняются в ограниченном числе точек и не учитывают пространственную неоднородность потока.

Дополнительно применяются управляемые системы, использующие пневмомеханические и электромеханические приводы, а также автономные датчики, размещенные на фюзеляже.

Все эти устройства измеряют статическое и динамическое давление, формируя информацию о воздушной скорости, которая затем передается в бортовые системы управления.

Итак, датчики воздушной скорости могут предоставлять данные, необходимые для:

- расчёта подъёмной силы несущего винта;
- определения безопасных режимов полёта;
- функционирования автоматических систем управления;
- предупреждения критических состояний.

Но ошибки в показаниях датчиков могут привести к:

- неправильной оценке аэродинамического режима,
- ошибочным действиям пилота или автопилота,
- возникновению аварийных ситуаций.

Особую опасность для вертолетов представляют режимы, связанные с нарушением нормального обтекания лопастей. При увеличении угла атаки может происходить срыв потока, сопровождающийся резким снижением подъемной силы и увеличением аэродинамического сопротивления. Это явление особенно характерно для отстающей лопасти, где относительная скорость потока ниже. В условиях высокой нагрузки, например, при увеличении массы вертолета или полете на большой высоте, вероятность возникновения срывных явлений существенно возрастает. Дополнительную опасность представляет режим вихревого кольца, при котором вертолет попадает в собственный нисходящий поток, что приводит к потере эффективности несущего винта.

В связи с этим возникает необходимость в разработке методов, способных выявлять предсрывные состояния на ранних этапах.

Ключевым элементом данного подхода является размещение датчиков воздушной скорости на лопастях. Эти датчики регистрируют скорость движения отдельных участков лопасти относительно воздушной среды, что дает возможность анализировать распределение скоростей по диску винта. При этом особое внимание уделяется двум критическим факторам: приближению локальной скорости к звуковому барьеру и изменению положения лопасти относительно плоскости вращения. Эти параметры позволяют выявить потенциально опасные режимы, связанные как с высокими скоростями, так и с увеличением угла атаки на отстающей лопасти. И уже сигналы, получаемые от таких датчиков, преобразуются с помощью электронных блоков, которые переводят пневматические колебания давления в электрическую форму, что значительно упрощает передачу данных и их интеграцию в бортовые вычислительные системы. В результате пилот или автоматическая система управления получают оперативную информацию о текущем состоянии несущего винта. Таким образом, могут своевременно изменить параметры полета, такие как общий шаг лопастей или режим работы двигателя.

Но практическая реализация таких систем связана с рядом технических сложностей. Датчики, устанавливаемые на лопастях, должны выдерживать

значительные механические нагрузки, включая центробежные силы, вибрации и воздействие внешней среды. Кроме того, требуется обеспечение надежной передачи данных с вращающихся элементов на бортовые системы. Кроме того, необходима разработка эффективных алгоритмов обработки данных, способных в реальном времени анализировать поступающую информацию и формировать управляющие воздействия.

Список использованных источников

1. Солдаткин В.М. Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2001. 448 с.

ENSURING THE SAFETY OF HELICOPTER TRANSPORT BASED ON AIRSPEED MEASUREMENT

K.S. Balzer

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

The features of helicopter aerodynamics and existing methods for measuring air flow parameters are analyzed.

Keywords: aviation, aerodynamics, flight, helicopter, airspeed.

УДК 621

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АВИАЦИОННОМ ТРАНСПОРТЕ

К.С. Бальцер

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

Рассматриваются ключевые направления применения искусственного интеллекта в авиационной отрасли. Целью данной статьи является анализ основных направлений применения искусственного интеллекта в авиации, а также оценка его влияния на развитие отрасли.

Ключевые слова: авиация, искусственный интеллект, современные технологии, цифровизация.

Одним из ключевых направлений искусственного интеллекта является исследование безопасности полётов. Именно поэтому современные авиационные системы генерируют огромные объёмы данных, включая параметры работы

двигателей, показания датчиков и поведенческие характеристики экипажа, а алгоритмы машинного обучения выявляют скрытые закономерности в этих данных, прогнозируя возможные отказы оборудования и своевременно предупреждая о потенциальных рисках.

Таким образом, формируется переход от реактивного обслуживания к предиктивному, что значительно повышает уровень безопасности.

Все сводится к основной цели – созданию и развития искусственного интеллекта для повышения качества жизни человека, а также увеличение эффективности и степени автоматизации производственных процессов.

Искусственный интеллект представляет собой способность компьютерных систем или управляемых ими устройств выполнять задачи, требующие интеллектуальной деятельности. К таким задачам относятся анализ информации, логическое рассуждение, обучение на основе опыта и принятие решений в условиях неопределённости. Так, современные системы ИИ создаются с целью воспроизведения когнитивных процессов человека. Они могут обобщать информацию, находить закономерности и адаптироваться к новым условиям, благодаря чему искусственный интеллект становится универсальным инструментом, применимым как в научных исследованиях, так и в прикладных задачах.

Современные технологии ИИ уже активно используются непосредственно в кабине пилотов, например, интеллектуальные системы способны выполнять функции вспомогательного члена экипажа, помогая управлять радиосвязью, предоставляя навигационную информацию и анализируя погодные условия. Такие решения повышают осведомлённость пилотов и снижают нагрузку на экипаж. Таким образом, ИИ способны анализировать множество факторов, включая погодные условия, загруженность воздушного пространства и характеристики маршрутов, предлагая оптимальные решения. Это позволяет снижать задержки, повышать пропускную способность и улучшать координацию между различными элементами авиационной системы.

Тесно связанным с этим направлением является применение ИИ в техническом обслуживании и ремонте воздушных судов, например, использование предиктивной аналитики позволяет заранее выявлять неисправности и оптимизировать графики технического обслуживания, что не только снижает эксплуатационные затраты, но и минимизирует время простоя авиационной техники. А в сочетании с технологиями интернета вещей, обеспечивающими непрерывный сбор данных, ИИ формирует основу для интеллектуальных систем мониторинга состояния воздушных судов.

Одним из важных направлений является обеспечение безопасности при посадке. Для этого разработаны системы, способные анализировать параметры полёта и условия взлётно-посадочной полосы. Примером является система предотвращения выкатывания самолёта за пределы взлётно-посадочной полосы. Она постоянно рассчитывает, сможет ли воздушное судно безопасно остановиться на оставшейся длине полосы. Такая система включает два ключевых механизма: предупреждение о возможном выкатывании и защиту от него. В случае возникновения риска экипаж получает рекомендации либо уйти на второй круг, либо

применить дополнительные меры торможения. Для этого система использует множество параметров, включая скорость, массу самолёта, погодные условия и характеристики полосы.

Особое место занимает развитие автономных и полуавтономных систем управления.

Помимо технических аспектов, искусственный интеллект активно применяется в сфере обслуживания пассажиров. Авиакомпании используют интеллектуальные системы для персонализации услуг, автоматизации процессов регистрации и обработки запросов клиентов, где такой анализ пользовательских данных позволяет формировать индивидуальные предложения, повышая уровень удовлетворённости пассажиров и конкурентоспособность компаний. Также искусственный интеллект активно применяется и в наземной инфраструктуре аэропортов, например, используется для автоматизации процессов обслуживания воздушных судов, включая заправку, загрузку багажа и противообледенительную обработку. Также ИИ внедряется в системы безопасности, где он помогает анализировать пассажирские потоки и улучшать процедуры досмотра. Это способствует повышению уровня безопасности и ускорению обслуживания.

Внедрение искусственного интеллекта в авиацию сопровождается значительными преимуществами, среди которых следует выделить повышение уровня безопасности, снижение эксплуатационных затрат и улучшение точности прогнозирования. Автоматизация сложных процессов позволяет повысить эффективность функционирования авиационных систем и снизить нагрузку на персонал.

В то же время существуют и определённые ограничения.

Одной из основных проблем является необходимость длительных и дорогостоящих процессов разработки, тестирования и сертификации. Особенно это актуально для авиационной отрасли, где любые ошибки могут привести к серьёзным последствиям. Кроме того, существует проблема субъективности данных, используемых для обучения алгоритмов, что может влиять на качество принимаемых решений.

Тем не менее, использование ИИ уже существенно упростило выполнение многих задач, так как автоматизация процессов идентификации пассажиров, контроля багажа и обслуживания воздушных судов позволяет повысить качество работы аэропортов и авиакомпаний.

Список использованных источников

1. Самсонович О.О., Фокина Е.А. Искусственный интеллект – новые реалии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 5-1. – С. 257-263.
2. Потапов А.С. Искусственный интеллект и универсальное мышление. – Санкт-Петербург: Политехника, 2012. – 711 с.

MODERN ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN AVIATION TRANSPORT

K.S. Balzer

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

The key areas of application of artificial intelligence in the aviation industry are considered. The purpose of this article is to analyze the main applications of artificial intelligence in aviation, as well as to assess its impact on the development of the industry.

Keywords: aviation, artificial intelligence, modern technologies, digitalization.

УДК 658.512.2

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНАСТКИ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ ПРИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

В.А. Бармин

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт (филиал),
г. Набережные Челны, Россия*

В рамках данной работы, мы рассмотрим на примере проектирования оснастки для станка с ЧПУ то, какие возможности открываются благодаря цифровой трансформации, в частности, использованием различных программ CAD/CAE/PLM, позволяющие в наглядной форме произвести моделирование, расчет и прогнозирование поведения оснастки в работе.

Ключевые слова: модуль, системы, жесткость, ЧПУ, конструирование, оптимизация, инструмент, проектирование, SPDM, наладки.

Современный этап развития машиностроения характеризуется переходом к новой парадигме проектирования, которая заключается в переходе от дискретных инженерных практик к непрерывной цифровой цепочке, охватывающей все стадии жизненного цикла изделия. В этих условиях проектирование технологической оснастки для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) перестает быть исключительно эмпирической задачей и превращается в наукоемкий процесс, который интегрирует методы системной инженерии (MBSE), численного моделирования и искусственного интеллекта.

Данная трансформация приобретает особую значимость при разработке расточных инструментальных наладок, функционирующих в условиях высоких требований к точности и виброустойчивости. Модульный принцип построения

инструментальных систем, который является общепринятым стандартом современного машиностроения, требует глубокого анализа жесткостных характеристик соединений и применения цифровых методов для прогнозирования поведения конструкции на этапе проектирования.

Модульное конструирование основывается на создании инструментальных систем из ограниченного набора унифицированных узлов (державок, переходников, удлинителей, расточных головок), что обеспечивает гибкость производства и сокращает сроки технологической подготовки. Однако, как показывают исследования, податливость соединений между модулями может достигать 40-50% от общей податливости системы, что делает конструкцию стыков критически важным элементом.

Классификация модульных соединений включает:

1. Торцевые соединения с центрирующим конусом (HSK, KM, Capto) – обеспечивают высокую точность и жесткость за счет одновременного контакта по торцу и конусу.

2. Цилиндрические соединения с торцевым упором – более просты, но уступают по виброустойчивости.

3. Комбинированные соединения с дополнительными элементами фиксации.

Для расточных наладок, работающих с консольным вылетом, наиболее перспективными являются соединения типа HSK и Capto, которые обеспечивают симметричное замыкание сил и высокую повторяемость позиционирования.

Ключевым фактором повышения эффективности конструирования является создание единого инженерного контура, который объединяет CAD, CAE, CAM и PLM-системы на платформе управления расчетными данными (SPDM). Это позволяет перейти от ручной передачи данных между программами к автоматизированным расчетным цепочкам.

Современная методология основывается на концепции «цифровой нити» – сквозного процесса, синхронизирующего расчетные, конструкторские и производственные модели на всех этапах.

Процесс проектирования в едином контуре включает:

1. Формулирование требований (MBSE). Определение входных параметров: материал обрабатываемой детали, режимы резания, требуемая точность, максимальный вылет инструмента, допустимая виброустойчивость.

2. Генеративное проектирование. На основе заданных требований и граничных условий (точки приложения сил, зоны крепления) алгоритмы искусственного интеллекта генерируют множество вариантов топологии несущих элементов инструментального модуля. Целью данного процесса является минимизация массы при сохранении или повышении жесткости.

3. Верификация в системах компьютерного автоматизированного проектирования (CAE) включает в себя проверку сгенерированных вариантов с использованием метода конечных элементов. Это позволяет оценить напряженно-деформированное состояние, а также статическую и динамическую жесткость

конструкции. Важным аспектом является расчет собственных частот и форм колебаний для предотвращения возникновения резонансных режимов.

4. Интеграция в систему компьютерного проектирования (CAD) предполагает компоновку инструментальной наладки из оптимизированных модулей, а также проверку на наличие коллизий и возможность сборки.

5. Сохранение данных в системах управления жизненным циклом продукта (PLM/SPDM) обеспечивает централизованное хранение информации о вариантах конструкции, результатах расчетов и условиях эксплуатации, что способствует повторному использованию и прослеживаемости данных.

Согласно результатам практического внедрения подобных систем, переход на единый инженерный контур позволяет сократить время, затрачиваемое на расчетные обоснования и проектирование, до 30%, а также повысить производительность инженеров-расчетчиков на 15%.

Расчет жесткости модульной системы представляет собой ключевую задачу в процессе конструирования. Общая податливость (обратная жесткость) сборной конструкции определяется как сумма податливостей ее составных частей и податливостей их соединений.

$$\delta\Sigma = \Sigma \delta i + \Sigma \delta_{св} + \delta_z$$

где δi – податливость i -го модуля (определяется материалом и геометрией),

$\delta_{св}$ – податливость соединения между модулями,

δ_z – податливость закрепления инструмента в шпинделе.

Податливость соединения типа HSK может быть установлена на основе задачи контакта Герца, принимая во внимание реальную площадь контакта и шероховатость поверхностей. Для предварительных расчетов предлагается использовать упрощенную модель:

$$\delta_{св} = (k \times Rz) / (F_n \times \mu)$$

где k – коэффициент, зависящий от типа конуса (для HSK-A $k = 0,15...0,25$),

Rz – высота микронеровностей сопрягаемых поверхностей,

F_n – нормальная сила в соединении (сила затяжки),

μ – коэффициент трения.

С увеличением консольного вылета наблюдается значительное повышение податливости системы. Для расточных оправок с соотношением вылета к диаметру (L/D) более 4 необходимо учитывать не только упругие деформации изгиба, но и сдвиговые деформации, а также нелинейность жесткости соединений под нагрузкой. Обработка глубоких отверстий и растачивание с большими вылетами сопровождаются вибрациями, которые негативно влияют на качество поверхности и снижают долговечность инструмента. Современные методы борьбы с вибрациями включают как пассивные, так и активные системы.

Пассивные демпферы. Встраивание в конструкцию оправки элементов, способствующих гашению вибраций:

- Ударные демпферы (инерционные). Свободная масса, размещенная внутри полости, поглощает энергию колебаний за счет соударений.

- Эластомерные прослойки. Использование слоев материалов с высоким внутренним трением в соединениях модулей.

Активные системы. Пьезоэлектрические актуаторы, встроенные в корпус оправки, в реальном времени генерируют противофазные колебания, подавляя вибрации. Хотя такие системы пока являются дорогостоящими, они наиболее эффективны для прецизионной обработки.

Топологическая оптимизация. Генеративный дизайн позволяет создавать «скелетные» структуры внутри корпуса оправки, обеспечивающие максимальную жесткость при минимальной массе, что также способствует смещению резонансных частот за пределы рабочего диапазона.

Рассмотрим процесс проектирования наладки для растачивания отверстия диаметром 80 мм на глубину 400 мм ($L/D=5$) в корпусной детали из чугуна. Исходные данные: материал детали – СЧ20; режимы резания: $t=1,5$ мм; $S=0,15$ мм/об; $V=150$ м/мин; требуемая точность – IT7; допустимое отклонение оси – 0,02 мм.

Этапы проектирования:

1. Выбор базовой схемы. На основании условия $L/D>4$ принимается решение о применении сборной наладки на конусе HSK-A63.

2. Генеративный дизайн державки. В САД-системе задаются граничные условия: зона крепления в переходном модуле, зона крепления режущей головки, приложенная сила резания. Искусственный интеллект генерирует несколько вариантов внутренней структуры, из которых выбирается вариант с максимальным отношением жесткость/масса.

3. САЕ-анализ. Выполняется расчет статической жесткости (прогиб под нагрузкой) и модальный анализ (расчет собственных частот). Результаты показывают, что прогиб на конце оправки не превышает 12 мкм, а первая собственная частота (250 Гц) находится выше частоты возмущающей силы от процесса резания.

4. Выбор режущего модуля. Применяется расточная головка с микрометрической регулировкой и механическим креплением сменных пластин.

5. Верификация на цифровом двойнике. Собранный виртуальный модель наладки интегрируется в цифровой двойник обрабатывающего центра для проверки траекторий и отсутствия столкновений.

Конструирование современного технологического оборудования требует перехода на качественно новый уровень инженерной практики. Применение методологии единого инженерного контура, который интегрирует технологии генеративного дизайна, инженерного анализа и управления данными, способствует не только сокращению сроков проектирования, но и созданию конструкций с принципиально новыми характеристиками жесткости и виброустойчивости [4]. Развитие отечественного программного обеспечения в данной области (таких как САПР «Компас», «Т-Flex», платформы SPDM) делает эти технологии доступными для широкого круга машиностроительных предприятий.

Список использованных источников

1. Маслов А.Р., Смолкин Е.М., Тивирев Е.Г. Инновационные расточные инструментальные наладки // Справочник. Инженерный журнал. 2022. № 3.

2. Лучшие программы для машиностроения: обзор решений // Softline Store. 23.05.2025.

3. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986.

4. Компания «Моделирование и цифровые двойники» рассказала о возможностях инженерного контура нового поколения и генеративного проектирования // Ритм машиностроения. 28.07.2025.

5. Программы САПР: обзор лучших решений для проектирования в 2025 году // Snews.

6. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001.

KEY DESIGNING PRINCIPLES FOR CNC MACHINE TOOLS IN DIGITAL TRANSFORMATION

V.A. Barmin

*Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny Institute (branch),
Naberezhnye Chelny, Russia*

In this paper, we will examine the design of CNC tooling and the opportunities opened up by digital transformation, in particular the use of various CAD/CAE/PLM programs, visually executing small-scale modeling, and calculating and predicting tooling behavior in operation.

Keywords: module, systems, rigidity, CNC, design, optimization, tool, design, SPDM, setup.

УДК 621.01

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОПРЯЖЕНИЙ КОНСТРУКЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ С ПОМОЩЬЮ НАУКОЕМКИХ ТРИБОТЕХНОЛОГИЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ

В.А. Бармин

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт (филиал),
г. Набережные Челны, Россия*

Данная работа посвящена подробному рассмотрению темы совершенствования конструкции в машиностроении с помощью улучшения сопряжений, что становится возможным благодаря применению наукоемких триботехнологий комбинированной финишной обработки.

Ключевые слова: электромеханика, деформирование, микрогеометрия, триботехнологии, упрочнение, обработка, усталость, износостойкость.

Надежность и долговечность машин в значительной степени зависят от состояния поверхностного слоя ответственных деталей, функционирующих в условиях трения. Традиционные методы финишной обработки зачастую не позволяют в полной мере раскрыть потенциал материала. Концепция наукоемких триботехнологий предполагает разработку методов обработки, которые целенаправленно формируют поверхности с заданными фрикционными характеристиками, исключая необходимость длительной приработки и обеспечивая стабильность работы сопряжения на протяжении всего срока службы [4].

Современные исследования показывают, что наибольший эффект достигается при комбинировании различных видов энергетического воздействия на поверхностный слой, что позволяет сбалансировать прочностные, усталостные и антифрикционные свойства [1]. Плато-хонингование является наиболее эффективным методом финишной обработки гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Наибольший уровень механических потерь в ДВС наблюдается в трибосистеме «поршневое кольцо-цилиндр», что делает качество микрогеометрии рабочей поверхности критически важным [5].

Формирование микрогеометрии. В отличие от традиционного хонингования, которое создает однородную шероховатую поверхность, плато-хонингование формирует бифрактальный рельеф, состоящий из двух компонентов: несущих плато – сглаженных участков, принимающих основную нагрузку от поршневых колец, и маслоудерживающих канавок – относительно глубоких впадин, служащих резервуарами для смазочного материала и каналами для отвода продуктов износа. Процесс осуществляется в две или три стадии: предварительное хонингование, в ходе которого формируется основной профиль абразивными брусками с крупным зерном; плато-обработка (финишная), представляющая собой кратковременную обработку мелкозернистыми брусками, которая срезает вершины исходного микрорельефа, образуя плато; и, опционально, хонингование, которое включает кратковременную обработку мягкими брусками для удаления грата и формирования кромок маслоудерживающих канавок [2].

Алгоритм расчета параметров микрогеометрии. Для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик необходимо прогнозирование параметров микрогеометрии на этапе проектирования технологического процесса. Современные исследования предлагают алгоритм, в котором операция формирования топографии микрорельефа представлена как трансформация геометрии рабочей поверхности инструмента на исходную поверхность детали [5]. Основными нормируемыми параметрами для плато-хонингованной поверхности являются: R_k – глубина профиля сердцевины (характеризующая несущую способность при установившемся износе); R_{pk} – приведенная высота выступов (изнашиваемая часть профиля в период приработки); R_{vk} – приведенная глубина впадин (характеризующая маслосъемность); Mr_1 , Mr_2 – относительная опорная длина профиля на уровнях, разделяющих выступы, сердцевину и впадины [2].

Экспериментальные исследования демонстрируют, что оптимальные параметры для гильз современных двигателей внутреннего сгорания находятся в пределах: $R_k = 0,8\text{--}1,2$ мкм, $R_{pk} = 0,2\text{--}0,4$ мкм, $R_{vk} = 1,5\text{--}2,5$ мкм. Данная топография способствует минимизации времени приработки и повышению износостойкости.

Для компонентов, функционирующих в условиях высоких контактных нагрузок и циклического нагружения, таких как валы, оси и железнодорожные колеса, эффективным является применение электромеханической обработки (ЭМО). Этот метод основывается на высокоскоростном импульсном термодиформационном воздействии на поверхностный слой [1].

Механизм электромеханической обработки заключается в пропускании тока большой силы (до 1000 А) и низкого напряжения (2-6 В) через зону контакта инструмента (ролика или наконечника) с обрабатываемой деталью. Выделяемое тепло (до 800-900°C) локально нагревает поверхность, что приводит к снижению предела текучести и одновременно вызывает пластическое деформирование. В результате формируется упрочненный слой с мелкодисперсной структурой.

Тем не менее, как показывают исследования, высокоскоростное импульсное термодиформационное воздействие при ЭМО закаленных сталей может вызывать нежелательные последствия, такие как образование в поверхностном слое существенно неравновесных и неоднородных по химическому составу фаз, протекание процессов отпуска в приповерхностных объемах с образованием зон разупрочнения, а также формирование растягивающих остаточных напряжений. Вследствие этого, при увеличении микротвердости поверхности более чем на 50%, предел выносливости образцов может снижаться на 20-30% [5]. Это делает применение чистой ЭМО недопустимым для высоконагруженных деталей.

Для устранения этих негативных эффектов были разработаны комбинированные методы упрочнения, включающие дополнительные обработки методами поверхностного пластического деформирования (ППД) или безабразивной ультразвуковой финишной обработки (УФО) после ЭМО. Эти методы позволяют за счет интенсивной пластической деформации сгладить поверхность и устранить приповерхностные дефекты, скорректировать напряженно-деформированное состояние, трансформируя растягивающие остаточные напряжения в сжимающие, повысить микротвердость в зоне термического влияния (разупрочнения) на 20-25%, а также обеспечить увеличение предела выносливости образцов на 25-30%, что полностью компенсирует негативные эффекты ЭМО и даже превышает исходные характеристики [1].

В рамках финишной обработки роликов подшипников была разработана технология, использующая бесконечные ленты с регулируемым натяжением. Сила натяжения ленты позволяет формировать оптимальную бочкообразную форму роликов, что обеспечивает равномерное распределение давления по всей длине ролика, исключая концентрацию напряжений на краях (краевой эффект) и, как следствие, предотвращает возможность их разрушения [4]. Долговечность подшипников увеличивается в 1,5 раза.

Электрохимическая обработка поверхности катания железнодорожных колес. Для повышения долговечности поверхности катания железнодорожных колес была разработана технология импульсной электрохимической обработки, которая обеспечивает регулярное изменение степени упрочнения поверхностного слоя по профилю колеса [4]. Это позволяет достичь равномерного износа по всей ширине профиля, поскольку различные участки колеса (гребень, зона катания) функционируют в различных условиях и, при традиционной обработке, подвержены неравномерному износу. Межремонтные пробеги увеличиваются на 30-40%.

Проектирование технологического процесса финишной обработки должно основываться на системном подходе, учитывающем взаимосвязь между «материалом – технологией – структурой – свойствами».

Этапы конструирования включают:

1. Трибоанализ сопряжения, который включает определение доминирующих видов изнашивания (абразивное, адгезионное, усталостное), уровня контактных давлений, скоростей скольжения и условий смазки.

2. Формулирование требований к поверхностному слою, включая задание параметров шероховатости (R_a , R_z , R_k , R_{pk} , R_{vk}), микротвердости, глубины упрочнения, а также знака и величины остаточных напряжений.

3. Выбор базового метода обработки, основываясь на материале детали и заданных свойствах.

4. Комбинирование методов, при необходимости достижения противоречивых требований (например, высокая твердость и высокий предел выносливости) с назначением дополнительных операций (ППД, УФО, термообработка) [1].

5. Оптимизация режимов обработки, включая определение параметров (сила тока, усилие прижатия, скорость, зернистость абразива) с использованием методов математического моделирования и планирования эксперимента.

Конструирование современных технологических процессов финишной обработки должно основываться на принципах триботехнологии, направленных на целенаправленное формирование поверхностного слоя с заданными эксплуатационными свойствами. Плато-хонингование, электрохимическая обработка и их комбинации с ППД и ультразвуковой обработкой позволяют достигать уникальных сочетаний износостойкости и усталостной прочности. Ключевым фактором успеха является понимание физической сущности процессов, происходящих в поверхностном слое, а также применение системного подхода к проектированию технологии.

Список использованных источников

1. Багмутов В.П., Дудкина Н.Г., Захаров И.Н., Романенко М.Д., Чекунов В.В. Влияние структуры и свойств поверхностного слоя на усталостную прочность закаленных сталей, упрочненных комбинированной электрохимической обработкой // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2019. – Т. 62. – № 6.

2. Фундаментальные основы технологического обеспечения и повышения надежности изделий машиностроения / под ред. А.Г. Суслова. М.: Инновационное машиностроение, 2022.

3. Суслов А.Г., Горленко А.О. Повышение качества поверхностного слоя и эксплуатационных свойств деталей электромеханической обработкой // Naukaru.ru. 2019.

4. Suslov A.G., Gorlenko A.O., Shalygin M.G., Shohiyon A.N. Science behind of high-tech tribotechnologies developments // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2025. – № 5(168). – С. 3-10.

5. Левицких О.О., Лукьянов А.А., Табаков В.П., Бобровский И.Н., Мельников П.А., Бобровский Н.М. Алгоритм расчета параметров микрогеометрии рабочей поверхности гильзы блока цилиндров при платовершинном хонинговании // КиберЛенинка. 2016.

IMPROVING THE QUALITY OF STRUCTURAL MATCHES IN MECHANICAL ENGINEERING USING HIGH-TECH TRIBOTECHNOLOGIES OF COMBINED FINISHING

V.A. Barmin

*Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny Institute (branch),
Naberezhnye Chelny, Russia*

This paper is devoted to a detailed examination of the topic of improving designs in mechanical engineering by improving mating, which is made possible by the use of high-tech tribotechnologies of combined finishing.

Keywords: electromechanics, deformation, microgeometry, tribotechnology, hardening, machining, fatigue, wear resistance.

УДК 658.512.2

ПРЕИМУЩЕСТВА ЗАДЕЙСТВОВАНИЯ CAD/CAE В ОБЛАСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ

В.А. Бармин

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Набережночелнинский институт (филиал),
г. Набережные Челны, Россия*

CAD/CAE системы уже на сегодняшний день стали незаменимым инструментом для конструкторского проектирования в различных индустриях. Распространенность данного рода программного обеспечения сложно переоценить и знания о них являются чуть ли не самыми необходимыми для того, чтобы быть

специалистом в той или иной отрасли. Здесь мы рассмотрим, какие программы CAD/CAE существуют, какой они обладают спецификой и какие возможности появляются, благодаря их использованию.

Ключевые слова: CAE, проектирование, автоматизация, CAD, анализ, система.

Процесс автоматизированного проектирования включает в себя четыре ключевых этапа: этап предварительной обработки, этап анализа, этап постобработки и этап принятия окончательного решения. Внедрение автоматизированного проектирования в производственные процессы невозможно без использования CAD/CAE-систем – программных средств, предназначенных для автоматизации процессов разработки, предварительной обработки и анализа, что способствует оптимизации принятия конструкторских решений. Современные конструкторские бюро не могут обойтись без этих систем.

На первом этапе осуществляется разработка и формулирование первоначальной концепции конструкции. С помощью программ автоматизированного проектирования создается трехмерная модель. Инженеры определяют, каким воздействиям со стороны окружающей среды и другим факторам будет подвергаться модель на этапе анализа. За процесс предварительной концептуальной обработки в рамках рассматриваемого жизненного цикла отвечает CAD-система. Эти системы обеспечивают создание параметрических 3D-моделей изделий, автоматизацию построения чертежей и управление конструкторской документацией, что значительно ускоряет процесс проектирования и упрощает внесение изменений в конструкцию. CAD-модели служат основой для последующих инженерных расчетов и симуляций, позволяя оценивать функциональные характеристики изделия в виртуальной среде без необходимости создания физических прототипов.

В рамках жизненного цикла изделия используются CAD-системы различного уровня сложности – от инструментов базового черчения до комплексных платформ для multidisciplinary проектирования. К числу базовых решений относятся AutoCAD и DraftSight, которые ориентированы на разработку и оформление конструкторской документации, выполнение рабочих чертежей деталей и узлов, а также на внесение изменений в проектную документацию. Эти системы применяются преимущественно на стадиях детализации конструкции и сопровождения изделия, обеспечивая точность графических построений и стандартизированное оформление чертежей.

Следующий уровень составляют системы среднего класса, такие как SolidWorks, Autodesk Inventor и КОМПАС-3D. Они поддерживают параметрическое трехмерное моделирование, проектирование сборок, выпуск конструкторской документации и интеграцию с модулями инженерного анализа. Например, SolidWorks предоставляет инструменты для проектирования деталей и узлов с возможностью последующей проверки прочности в среде SolidWorks Simulation. Autodesk Inventor ориентирован на машиностроение и поддерживает цифровое

прототипирование, позволяя моделировать кинематику механизмов до их физического изготовления. КОМПАС-3D активно используется на российских промышленных предприятиях для разработки машиностроительной продукции и подготовки документации в соответствии с ЕСКД.

На этапе разработки сложных технических систем в таких отраслях, как авиационная, автомобильная и судостроительная промышленность, применяются высокоуровневые CAD-платформы, такие как CATIA и Siemens NX. Эти системы обеспечивают многодисциплинарный подход к проектированию, управление большими сборками, конфигурациями и интеграцию с PLM-средой. CATIA находит широкое применение в аэрокосмической индустрии; компания Dassault Systèmes утверждает, что данная система используется для проектирования самолетов и сложных промышленных изделий. Siemens NX объединяет инструменты CAD и CAE в единой цифровой среде и применяется в автомобильной промышленности для разработки кузовных элементов и силовых агрегатов.

Следует отметить, что многие современные CAD-системы зачастую сразу интегрируют базовые инструменты анализа. Современные системы автоматизации инженерных расчетов (CAE) применяются совместно с CAD-системами, что приводит к созданию гибридных CAD/CAE-систем, представляющих собой единое программное решение. Встроенные инструменты анализа, такие как Simulation в SolidWorks и KOMPAS-3D.APM FEM, интегрированы в CAD-системы для оперативной проверки проектных решений.

После завершения этапа трехмерного моделирования следующим шагом в процессе цифрового проектирования становится проведение инженерного анализа созданной конструкции. На данной стадии используются CAE-системы, которые позволяют оценить работоспособность изделия в виртуальной среде до изготовления опытного образца.

Современные CAE-платформы обеспечивают полный цикл расчетной подготовки, включая импорт и упрощение CAD-геометрии, построение расчетной сетки, выбор математической модели и последующую интерпретацию результатов. Визуализация полей напряжений, деформаций, температур или скоростей потока делает процесс анализа более наглядным и позволяет инженеру принимать обоснованные конструкторские решения. Подобная интеграция расчетов в процесс проектирования реализована, например, в среде ANSYS, которая поддерживает структурный, тепловой, гидродинамический и электромагнитный анализ, а также в решениях на базе MSC Nastran, используемых для расчетов методом конечных элементов в авиационной и машиностроительной отраслях.

Основные виды инженерного анализа и соответствующие программные решения можно классифицировать следующим образом:

1. Прочностной анализ (FEM). Данный метод используется для определения напряжений, деформаций, коэффициентов запаса прочности и оценки долговечности. Решения, такие как ANSYS и MSC Nastran, позволяют при проектировании авиационных конструкций выявить зоны концентрации напряжений еще до изготовления панели или лонжерона.

2. Гидрогазодинамический анализ (CFD). Моделирование потоков жидкостей и газов осуществляется в таких системах, как Fluent и OpenFOAM. Например, в автомобильной промышленности CFD-анализ применяется для оптимизации формы кузова с целью снижения аэродинамического сопротивления и расхода топлива.

3. Кинематический и динамический анализ. Программные средства MSC Adams и Simulink часто применяются в процессе разработки автомобильной подвески для моделирования движения рычагов и амортизаторов с целью оценки устойчивости и комфорта.

4. Тепловой анализ. Данный анализ используется для вычисления температурных полей и тепловых потоков в деталях и узлах. Например, моделирование охлаждения силового инвертора позволяет оптимизировать конфигурацию радиатора на этапе проектирования.

5. Электромагнитный анализ. Этот вид анализа применяется при разработке электрических машин, трансформаторов и электронных компонентов. Инструменты, такие как ANSYS Maxwell, используются для расчета магнитных полей и индукционных процессов.

Следует отметить, что большинство гибридных CAD/CAE-решений, таких как ранее упомянутые SolidWorks и КОМПАС-3D, обладают базовыми инструментами анализа для быстрой проверки. Интеграция этих инструментов позволяет реализовать принцип сквозного цифрового проектирования, при котором изменения в модели автоматически отражаются в результатах расчетов.

В отличие от них, специализированные комплексы, такие как Abaqus и LS-DYNA, ориентированы на высокоточный анализ сложных нелинейных и динамических процессов. Эти системы поддерживают расширенные модели материалов (пластичность, ползучесть, разрушение), контактные взаимодействия, ударные и взрывные нагрузки, а также выраженные нелинейности геометрии и граничных условий. Они применяются в задачах, где требуется высокая физическая достоверность результатов, например, при расчетах краш-тестов, моделировании композитных конструкций или анализе поведения изделий при экстремальных нагрузках.

Завершающим этапом цифрового проектирования является постобработка результатов анализа. Инженер интерпретирует полученные данные – поля напряжений, деформаций, температур и другие параметры. На основе этих данных формируются отчеты, графики и визуализации, которые позволяют оценить соответствие конструкции техническому заданию и нормативным требованиям.

После этого принимается окончательное конструкторское решение: при необходимости вносятся корректировки и выполняется повторный расчет, либо проект передается в производство. Таким образом, методы автоматизированного проектирования анализируют каждый этап жизненного цикла разработки продукта. Постобработка и принятие решений завершают итерационный цикл CAD/CAE-разработки и обеспечивают обоснованный переход от виртуальной модели к реальному изделию.

При выборе подходящих систем необходимо учитывать характер разрабатываемого продукта (конструкции) и основные критерии систем, такие как функциональные возможности, наличие уникальных функций, стоимость, простота интерфейса, легкость интеграции и обучения. Для более стандартизированного и промышленного, так называемого, конвейерного производства отлично подойдут гибридные CAD/CAE-решения от таких производителей, как Dassault Systèmes (SolidWorks) или АСКОН (КОМПАС-3D), которые рассчитаны на масштаб и дальнейшую автоматизацию (например, с системами PLM).

Список использованных источников

1. CAE-система [Электронный источник] // System Engineering Thinking WIKI – инженерная википедия., URL: <http://sewiki.ru/CAE-система> (дата обращения 03.03.2026);
2. What Everybody Needs to Know about CAE [Электронный источник] // SIMSCALE blog., URL: <https://www.simscale.com/blog/what-everybody-needs-to-know-about-cae/> (дата обращения 03.03.2026);
3. What is Computer-Aided Engineering? [Электронный источник] // Dassault Systèmes – официальный сайт разработчика., URL: <https://www.3ds.com/store/cad/computer-aided-engineering> (дата обращения 03/03/2026);
4. Влияние ИТ на системные функции предприятия. Автоматизация проектно-конструкторских работ (CAD/CAM/CAE) [Электронный источник] // Stydopedia – эл. сборник студенческих научных работ, 30.10.2014., URL: https://studopedia.ru/4_14841_tema--avtomatizatsiya-proektno-konstruktorskih-rabot-CADCAMCAE.html (дата обращения 03.03.2026);
5. «Введение в CAD/CAM/CAE» [Электронный источник] // ПИШКАИ – влог с сайта инженерной школы., URL: <https://pkai.ru/cadcamcae> (дата обращения 03.03.2026).

ADVANTAGES OF USING CAD/CAE IN DESIGN

V.A. Barmin

*Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny Institute (branch),
Naberezhnye Chelny, Russia*

CAD/CAE systems have already become an indispensable tool for design in various industries. The prevalence of this type of software is difficult to overestimate, and knowledge of them is one of the most essential tools for being a specialist in a given field. Here, we will examine the existing CAD/CAE programs, their specific features, and the opportunities they offer.

Keywords: CAE, design, automation, CAD, analysis, system.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОССИИ И БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

В.В. Беляев, Т.Н. Егорушкина, О.А. Серегина

*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Тульский филиал,
г. Тула, Россия*

В статье исследуются актуальные вопросы развития транспортно-логистического сотрудничества между Российской Федерацией и Республикой Беларусь в контексте углубления интеграционных процессов в рамках Союзного государства. Цель исследования заключается в определении ключевых направлений развития транспортной системы двух государств на среднесрочную перспективу и оценке их влияния на динамику грузовых и пассажирских перевозок. Методологическую основу работы составляют методы контент-анализа программных документов, сравнительно-правового анализа и системного логистического подхода. В результате исследования выделены пять приоритетных направлений интеграционного взаимодействия: либерализация разрешительной системы в автомобильных перевозках, развитие трансграничного железнодорожного сообщения, модернизация международных транспортных коридоров, цифровизация транспортной системы и гармонизация транспортного контроля. Обосновано, что реализация обозначенных мероприятий позволит снизить транзакционные издержки перевозчиков, увеличить объемы взаимных перевозок, повысить пропускную способность инфраструктуры и усилить транзитный потенциал региона.

Ключевые слова: Союзное государство, транспортно-логистическая интеграция, международные транспортные коридоры, цифровизация транспорта, либерализация перевозок, Россия, Беларусь.

Введение

Транспортная инфраструктура выступает фундаментальным элементом экономического взаимодействия между государствами. Для Российской Федерации и Республики Беларусь, образующих Союзное государство, глубокая интеграция в транспортной сфере является не только экономической необходимостью, но и важнейшим фактором обеспечения связанности территорий, устойчивости производственных цепочек и социальной мобильности населения [7]. От эффективности функционирования транспортной системы напрямую зависят темпы взаимной торговли, инвестиционная привлекательность регионов, а также реализация совместных промышленных и сельскохозяйственных проектов.

В последние годы геополитическая ситуация и трансформация глобальных логистических маршрутов поставили перед транспортным комплексом двух стран новые вызовы. Произошла переориентация грузопотоков с западного направления на восточное и южное, что потребовало перестройки сложившихся

цепочек поставок [8]. Одновременно усилилась необходимость импортозамещения в подвижном составе, дорожно-строительной технике и системах управления перевозками. Третьим важнейшим вызовом стала ускоренная цифровизация процессов: требования к прозрачности, безопасности и скорости оформления грузов существенно возросли [2]. В этих условиях согласованная транспортная политика приобретает особое значение, становясь одним из ключевых направлений интеграционной повестки Союзного государства.

Цель настоящего исследования – определить ключевые направления развития транспортной системы Союзного государства в среднесрочной перспективе и оценить их потенциальное влияние на параметры грузовых и пассажирских перевозок между Россией и Беларусью. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: анализ текущего состояния транспортного сотрудничества; выявление приоритетных направлений интеграции; характеристика механизмов реализации каждого направления; оценка ожидаемых эффектов для грузовых и пассажирских потоков.

Проведенный анализ программных документов и проектных материалов позволяет выделить пять ключевых направлений развития транспортной системы Союзного государства, каждое из которых оказывает существенное влияние на транспортно-логистические потоки.

В рамках интеграционных мероприятий предусматривается поэтапная отмена системы разрешений для международных автомобильных перевозок грузов между двумя странами. Данное направление предполагает замену административного механизма допуска на рынок принципом свободного доступа, что соответствует высшему уровню интеграции [5]. По расчетам экспертов, реализация данного шага позволит снизить транзакционные издержки перевозчиков на 12–15% и увеличить объем автомобильных грузоперевозок между странами на 8–10% в течение первых двух лет после полной отмены разрешений [3]. Дополнительным эффектом станет повышение прозрачности рынка и сокращение доли нелегальных перевозчиков. Для минимизации рисков демпинга и нагрузки на дорожную инфраструктуру предлагается внедрение системы мониторинга цен и использования навигационных пломб для контроля за соблюдением маршрутов.

Значительное внимание уделяется пригородному пассажирскому сообщению между сопредельными регионами. Опыт пилотных проектов на направлениях Орша – Смоленск и Витебск – Смоленск продемонстрировал устойчивый спрос со стороны населения: за период реализации пассажиропоток увеличился более чем на 30% [4]. Расширение этой практики на другие приграничные территории (Псковская, Брянская области и соответствующие области Беларуси) создаст прецедент для формирования регулярного пригородного сообщения на межгосударственном уровне. Ключевыми механизмами реализации выступают: унификация тарифов на пригородные перевозки, согласование расписания движения, внедрение единой билетной системы, модернизация пограничных переходов. В перспективе рассматривается также развитие высокоскоростного железнодорожного сообщения между крупными городами, что позволит сократить время в пути между Минском и Москвой до 3–4 часов.

Программные документы фиксируют необходимость продолжения работ по совершенствованию автомобильных дорог и модернизации действующей транспортной инфраструктуры [1]. Особое значение придается развитию международных транспортных коридоров (МТК), проходящих по территории двух стран. Среди приоритетных названы МТК «Север – Юг» (включая его западный маршрут через Беларусь и Россию), восточное направление «Беларусь – Россия – Казахстан – Узбекистан – Афганистан – Пакистан», а также коридор «Запад – Восток» (Брест – Минск – Москва – далее на восток) [8]. Ключевыми инфраструктурными проектами являются: реконструкция участков автомобильных дорог М-1 «Беларусь», М-3 «Украина», М-8 «Холмогоры»; модернизация пограничных переходов; строительство обходов крупных городов; развитие терминально-логистических центров. Участие в этих коридорах открывает для Союзного государства возможности роста транзитного потенциала и диверсификации экспортных маршрутов. По оценкам экспертов, потенциал увеличения транзитных перевозок через территорию Союзного государства составляет 15–20% к 2030 году [3].

Одним из наиболее перспективных направлений является цифровизация транспортной системы, включающая автоматизацию бизнес-процессов, развитие интеллектуальных транспортных систем и создание единых информационных платформ [2]. В практической плоскости это предполагает: внедрение электронных навигационных пломб для отслеживания грузов; создание единых информационных систем для оформления перевозок; автоматизацию контроля за соблюдением весовых и габаритных параметров; использование интеллектуальных систем управления дорожным движением [6]. Сопряжение национальных цифровых платформ на уровне протоколов обмена данными позволит создать единое цифровое пространство в сфере транспорта. Особое значение приобретает внедрение инструментов цифрового аудита – системы непрерывного автоматизированного контроля за соблюдением установленных требований к перевозочному процессу, основанной на использовании технологий удаленного мониторинга и анализа больших данных.

В рамках транспортного сотрудничества акцент сделан на продолжение интеграционных мероприятий в сфере транспортного контроля (надзора). Это предполагает унификацию подходов к контролю за соблюдением правил проезда по платным дорогам, весовых и габаритных ограничений, а также выработку механизмов взаимного признания задолженностей, возникающих при нарушении данных правил [1]. К механизмам реализации относятся: унификация нормативов допустимых нагрузок на ось в соответствии с международными стандартами; создание единого биллингового центра для учета платежей за использование инфраструктуры; взаимное признание решений о наложении штрафов и взыскании задолженностей; внедрение единой системы классификации и маркировки грузов [7]. Решение этих вопросов позволит создать полноценное правовое пространство в сфере транспорта и обеспечить равные условия доступа к транспортной инфраструктуре.

Реализация обозначенных направлений окажет комплексное влияние на параметры грузовых и пассажирских перевозок между Россией и Беларусью. Статистические данные за период 2020–2025 гг. свидетельствуют об устойчивом росте как грузовых, так и пассажирских перевозок между двумя странами. Объем грузовых перевозок увеличился с 115,1 млн т в 2020 году до оценочных 150,2 млн т в 2025 году, при этом автомобильные грузоперевозки выросли на 31,3%. Пассажирские перевозки за аналогичный период увеличились на 55,7%, что во многом обусловлено расширением приграничного сообщения и восстановлением деловой активности [4].

Либерализация разрешительной системы создаст дополнительные стимулы для роста автомобильных грузоперевозок. Снижение административных барьеров и сокращение времени оформления позволят повысить гибкость логистических цепочек и снизить себестоимость перевозок [5]. Развитие трансграничного железнодорожного сообщения обеспечит рост пассажирских потоков между приграничными регионами, способствуя углублению социально-экономических связей [4]. Модернизация международных транспортных коридоров повысит пропускную способность инфраструктуры и создаст условия для привлечения дополнительных транзитных потоков [8]. Цифровизация транспортной системы позволит сократить время контрольных процедур на пунктах пропуска до 40%, что эквивалентно значительной экономии для перевозчиков [2].

Проблемные зоны и перспективы дальнейшей интеграции

Несмотря на значительный потенциал, процесс транспортно-логистической интеграции сталкивается с рядом проблем, требующих решения. К числу основных относятся:

Различия в техническом регулировании. Несмотря на гармонизацию в рамках ЕАЭС, сохраняются национальные особенности в части допуска транспортных средств, экологических стандартов и правил дорожного движения [1]. В частности, различаются нормативы допустимых нагрузок на оси, а также подходы к взиманию платы за использование дорожной инфраструктуры (российская система «Платон» и белорусская BelToll) [7].

Финансирование инфраструктурных проектов. Развитие высокоскоростного сообщения и модернизация дорог требуют значительных инвестиций, источники которых в программных документах четко не определены [3]. Необходимо привлечение как государственных средств, так и частных инвестиций в рамках механизмов государственно-частного партнерства.

Унификация правоприменительной практики. Стороны не всегда едины в подходах к реализации контрольных функций, включая вопросы взаимного признания задолженностей за нарушения правил дорожного движения и весовых ограничений [5]. Это требует дополнительной проработки на межведомственном уровне.

Для преодоления выявленных барьеров представляется целесообразным: ускорить разработку единой методики расчета сквозных тарифов на мультимодальные перевозки; создать постоянно действующую рабочую группу по вопросам гармонизации транспортного контроля; разработать программу цифровой

трансформации транспорта Союзного государства с конкретными показателями эффективности [6]; сформировать единый инвестиционный фонд для реализации инфраструктурных проектов.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы. Транспортная политика Союзного государства России и Беларуси на среднесрочную перспективу ориентирована на углубление интеграции по пяти ключевым направлениям: либерализация автомобильных перевозок, развитие железнодорожного сообщения (включая пригородное и высокоскоростное), модернизация инфраструктуры и международных транспортных коридоров, цифровизация транспортной системы, гармонизация транспортного контроля [1; 2; 7].

Реализация этих направлений окажет комплексное влияние на транспортно-логистические потоки. Отмена разрешительной системы приведет к росту объемов автомобильных грузоперевозок и снижению издержек [5]; развитие пригородного сообщения повысит мобильность населения приграничных регионов [4]; модернизация международных транспортных коридоров усилит транзитный потенциал двух стран [8]; цифровизация создаст условия для автоматизации контроля и повышения эффективности управления перевозками [2; 6].

Ключевым фактором успеха выступает способность сторон обеспечить синхронизацию технических регламентов, унификацию правоприменительной практики и привлечение инвестиций в инфраструктурные проекты [3]. Наличие дискуссионных вопросов указывает на необходимость дальнейшего совершенствования правовой базы и разработки механизмов их практической реализации.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: количественная оценка экономического эффекта от отмены разрешительной системы, разработка моделей цифровой интеграции транспортных платформ, анализ инвестиционных потребностей для реализации проектов высокоскоростного сообщения.

Список использованных источников

1. Бородулина Н.А., Кузнецова Е.В. Транспортная интеграция в Евразийском экономическом союзе: достижения и перспективы // Евразийская экономическая интеграция. – 2024. – № 2 (51). – С. 42–55.
2. Гришин И.Ю. Цифровизация транспортного контроля в Союзном государстве: проблемы и решения // Вестник транспорта. – 2025. – № 1. – С. 28–35.
3. Ефремов А.В., Соколова Л.Г. Международные транспортные коридоры как фактор развития евразийской логистики // Логистика и управление цепями поставок. – 2024. – № 4. – С. 52–64.

4. Коваленко С.В., Петров В.И. Приграничное транспортное сообщение России и Беларуси: опыт и перспективы // Региональные исследования. – 2025. – № 3. – С. 18–29.

5. Миронов Д.А. Либерализация международных автомобильных перевозок в рамках Союзного государства: правовые и экономические аспекты // Транспортное право. – 2024. – № 2. – С. 33–41.

6. Парфенова Д.С., Сидоров А.А. Цифровая трансформация транспортной инфраструктуры в постсоветских государствах // Цифровая экономика. – 2025. – № 1. – С. 74–86.

7. Смирнов А.А. Транспортно-логистический потенциал Союзного государства в условиях геоэкономической трансформации // Российский внешнеэкономический вестник. – 2024. – № 6. – С. 90–103.

8. OECD (2024). International Transport Corridors in Eurasia: New Routes and Economic Implications. Paris: OECD Publishing. 210 p. DOI: 10.1787/9789264304589-en.

MODERN TRENDS IN TRANSPORT AND LOGISTICS INTERACTION BETWEEN RUSSIA AND BELARUS IN THE CONTEXT OF INTEGRATION PROCESSES

V.V. Belyaev, T.N. Egorushkina, O.A. Seregina

*Plekhanov Russian University of Economics, Tula Branch,
Tula, Russia*

The article examines current issues of transport and logistics cooperation between the Russian Federation and the Republic of Belarus in the context of deepening integration processes within the Union State. The purpose of the study is to identify key areas for the development of the transport system of the two states in the medium term and assess their impact on the dynamics of freight and passenger transportation. The methodological basis includes content analysis of program documents, comparative legal analysis, and a systematic logistics approach. As a result, five priority areas of integration interaction are identified: liberalization of the permit system in road transport, development of cross-border railway communication, modernization of international transport corridors, digitalization of the transport system, and harmonization of transport control. It is substantiated that the implementation of these measures will reduce transaction costs for carriers, increase mutual transportation volumes, enhance infrastructure capacity, and strengthen the transit potential of the region.

Key words: Union State, transport and logistics integration, international transport corridors, transport digitalization, liberalization of transportation, Russia, Belarus.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ

О.О. Бердников, Н.Ю. Капалин, Д.С. Реченко

*Омский государственный технический университет,
г. Омск, Россия*

В работе исследовано влияние физико-механических свойств обрабатываемых материалов на стойкость режущего инструмента при токарной обработке. Объектами исследования выступили материалы различных классов, широко применяемые в машиностроении: конструкционная легированная сталь 30ХГСА, коррозионно-стойкая аустенитная сталь 12Х18Н10Т, высоколегированные стали 14Х17Н2 и 13Х11Н2В2МФ-Ш, а также титановый сплав ВТ3-1. Экспериментальные исследования проводились на токарном станке с числовым программным управлением с использованием сменных твердосплавных режущих пластин различных производителей. Оценка стойкости инструмента осуществлялась по времени работы до достижения заданных значений износа при обеспечении требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности.

В ходе исследования проведён сравнительный анализ стойкости инструмента при обработке материалов с различными прочностными и теплофизическими характеристиками. Установлено, что физико-механические свойства материала существенно влияют на условия формирования зоны резания и механизм изнашивания режущей кромки. Показано, что при обработке конструкционных и высоколегированных сталей преобладает абразивный механизм износа, при обработке коррозионно-стойких сталей – адгезионный, связанный с наклёпом поверхностного слоя, тогда как при точении титановых сплавов значительную роль играют термические и диффузионные процессы.

Полученные результаты позволяют установить закономерности изменения стойкости режущего инструмента в зависимости от класса обрабатываемого материала и могут быть использованы при выборе рациональных режимов резания, разработки и автоматизации технологических процессов механической обработки.

Ключевые слова: стойкость режущего инструмента, токарная обработка, износ инструмента, физико-механические свойства материалов, режимы резания, титановые сплавы, коррозионно-стойкие стали.

Введение. Современное машиностроение характеризуется широким применением конструкционных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, а также титановых сплавов, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками. Повышенные требования к прочности, коррозионной стойкости, жаростойкости и долговечности деталей приводят к усложнению их механической обработки. В этих условиях одной из ключевых технологических проблем

является обеспечение достаточной стойкости режущего инструмента при сохранении требуемого качества обработанной поверхности. Стойкость инструмента определяется совокупностью факторов, среди которых важнейшее значение имеют физико-механические свойства обрабатываемого материала: прочность, твердость, теплопроводность, склонность к наклёпу, химическая активность и структура сплава [1]. Различия указанных свойств приводят к изменению температурно-силовых условий в зоне резания и, как следствие, к различному характеру изнашивания режущей кромки [2]. Для конструкционных легированных сталей характерен преимущественно абразивный износ, для аустенитных коррозионно-стойких сталей – выраженные адгезионные процессы и наклёп, тогда как при обработке титановых сплавов значительную роль играют термические и диффузионные механизмы разрушения инструмента. Анализ опубликованных исследований показывает, что большинство работ посвящено изучению стойкости инструмента при обработке отдельных материалов или узких групп сплавов [3]. При этом комплексные сравнительные исследования, позволяющие установить общие закономерности влияния физико-механических свойств различных классов материалов на стойкость режущего инструмента в сопоставимых технологических условиях, представлены недостаточно полно. В связи с этим возникает необходимость обобщения экспериментальных данных по обработке материалов различного класса с целью выявления устойчивых зависимостей между свойствами заготовки и характером изнашивания инструмента. Такой подход позволяет перейти от частных технологических рекомендаций к формированию системных принципов выбора рациональных режимов резания. Целью настоящей работы является установление закономерностей влияния физико-механических свойств обрабатываемых материалов различного класса на стойкость режущего инструмента при токарной обработке. В основе работы лежит предположение о том, что стойкость режущего инструмента при токарной обработке определяется не только режимами резания и характеристиками инструмента, но и комплексом физико-механических свойств обрабатываемого материала. При этом различия в прочности, твердости, теплопроводности, химической активности и склонности к наклёпу формируют различные температурно-силовые условия в зоне резания, что приводит к преобладанию определённых механизмов изнашивания режущей кромки [4]. Научная гипотеза исследования заключается в том, что существует устойчивая взаимосвязь между классом обрабатываемого материала и характером износа режущего инструмента, которая проявляется в изменении стойкости инструмента при сопоставимых режимах резания. Предполагается, что:

- для конструкционных легированных сталей основным фактором снижения стойкости является абразивный износ, обусловленный повышенной прочностью и структурной неоднородностью материала;
- для аустенитных коррозионно-стойких сталей определяющим является адгезионный механизм износа и интенсивный наклёп поверхностного слоя [5];

– для титановых сплавов решающую роль играют термические и диффузионные процессы, связанные с низкой теплопроводностью и высокой химической активностью материала [6].

Для проверки выдвинутой гипотезы в работе поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать физико-механические свойства исследуемых материалов различных классов.
2. Определить стойкость режущего инструмента при их токарной обработке в сопоставимых технологических условиях.
3. Установить характер и интенсивность изнашивания режущей кромки в зависимости от свойств материала.
4. Выявить закономерности изменения стойкости инструмента при переходе от одного класса материалов к другому.
5. Сформулировать обобщённые рекомендации по выбору рациональных режимов резания с учётом свойств обрабатываемого материала.

Материалы и методика исследования. В качестве объектов исследования использовались материалы различных классов, широко применяемые в машиностроении:

- конструкционная легированная сталь 30ХГСА;
- коррозионно-стойкая аустенитная сталь 12Х18Н10Т;
- высоколегированные стали 14Х17Н2 и 13Х11Н2В2МФ-Ш;
- титановый сплав ВТЗ-1.

Выбранные материалы отличаются по химическому составу, прочностным характеристикам, теплопроводности и склонности к наклёпу, что позволяет оценить влияние их физико-механических свойств на стойкость режущего инструмента.

Обработка заготовок осуществлялась в состоянии поставки без дополнительной термической обработки.

Оборудование и инструмент. Экспериментальные исследования проводились на токарном станке с числовым программным управлением DMG NEF 400.

В качестве режущего инструмента применялись сменные твердосплавные пластины следующих типов:

- CNMG (геометрии ML, SM, MF1);
- VBMТ (геометрии FG, MM, F1).

Использовались пластины ведущих производителей (TaeguTec, Sandvik, Seco), предназначенные для полустачевой и чистовой обработки. Во всех экспериментах применялась смазочно-охлаждающая жидкость с постоянным режимом подачи в зону резания, что обеспечивало сопоставимость условий обработки.

Исследования проводились при варьировании следующих параметров:

- скорость резания V , м/мин;
- подача F , мм/об;
- глубина резания t , мм.

Диапазоны режимов выбирались с учетом рекомендаций производителей инструмента и особенностей каждого материала. Для обеспечения сопоставимости результатов анализ стойкости проводился при достижении заданных значений шероховатости поверхности ($R_a = 0,8$ и $1,6$ мкм). Стойкость режущего инструмента определялась по времени работы до достижения предельного износа по задней поверхности. В качестве контрольных значений принимались допуски на износ: $0,03$ мм, $0,05$ мм, $0,10$ мм. Фиксация времени осуществлялась для каждого значения допуска, что позволяло оценить динамику изнашивания инструмента и сопоставить интенсивность износа при обработке различных материалов.

Обработка результатов. Анализ экспериментальных данных проводился методом сравнительного сопоставления стойкости инструмента при обработке материалов различных классов. Оценивались:

- влияние прочности и твердости материала на интенсивность износа;
- влияние теплопроводности на термическую нагрузку инструмента;
- характер преобладающего механизма изнашивания.

Полученные результаты позволили установить закономерности изменения стойкости режущего инструмента в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Результаты исследования. В ходе экспериментальных исследований получены данные о стойкости режущего инструмента при токарной обработке материалов различных классов в сопоставимых технологических условиях. Оценка проводилась по времени работы инструмента до достижения предельного износа при обеспечении заданного значения качества поверхности.

Для сопоставления результатов использован показатель стойкости при допуске на износ $0,05$ мм как наиболее технологически обоснованный критерий (табл.1).

Таблица 1 – Сравнительные показатели стойкости инструмента при обработке исследуемых материалов

Материал	R_a , мкм	Скорость резания V , м/мин	Подача F , мм/об	Стойкость T , мин
30ХГСА	1,6	60–100	0,03–0,04	46–94
12Х18Н10Т		60–100	0,03–0,04	46–94
14Х17Н2		55–100	0,03–0,04	83–84
13Х11Н2В2МФ-Ш		100	0,04	94
ВТ3-1		25	0,08	260

(При чистовой обработке $R_a = 0,8$ мкм стойкость снижалась для всех материалов.)

Анализ результатов показывает выраженную зависимость стойкости инструмента от физико-механических свойств обрабатываемого материала.

При обработке стали 30ХГСА наблюдается средний уровень стойкости инструмента. Основным фактором снижения ресурса является высокая прочность материала, вызывающая интенсивный механический и абразивный износ режущей кромки.

Для стали 12Х18Н10Т характерно снижение стойкости при увеличении скорости резания, что связано с интенсивным адгезионным взаимодействием и наклёпом поверхностного слоя.

Стали 14Х17Н2 и 13Х11Н2В2МФ-Ш демонстрируют стабильные показатели стойкости при умеренных режимах резания. Износ инструмента носит комбинированный термоабразивный характер.

Наиболее выраженная зависимость стойкости от скорости резания установлена при обработке титанового сплава. При низкой скорости резания обеспечивается высокая стойкость инструмента, однако при повышении скорости наблюдается резкое сокращение ресурса, обусловленное ростом температурной нагрузки и адгезионных процессов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что:

- материалы с высокой прочностью вызывают преимущественно абразивный износ;
- материалы с выраженной склонностью к наклёпу снижают стойкость инструмента за счёт адгезионных процессов;
- материалы с низкой теплопроводностью приводят к интенсивному термическому разрушению режущей кромки;
- повышение скорости резания для всех классов материалов сопровождается снижением стойкости инструмента, однако степень этого снижения зависит от физико-механических свойств материала.

Таким образом, подтверждена зависимость стойкости режущего инструмента от комплекса свойств обрабатываемого материала.

Обсуждение результатов. Полученные экспериментальные данные подтверждают выдвинутую гипотезу о существенном влиянии физико-механических свойств обрабатываемого материала на стойкость режущего инструмента. Анализ результатов показывает, что характер изнашивания и продолжительность работы инструмента определяются совокупностью прочностных, теплофизических и трибологических характеристик материала.

Материалы с повышенной прочностью (30ХГСА, 13Х11Н2В2МФ-Ш) формируют значительные силовые нагрузки в зоне резания. Это приводит к:

- росту контактных напряжений;
- увеличению механической составляющей износа;
- ускоренному абразивному разрушению режущей кромки.

Для аустенитной стали 12Х18Н10Т характерна выраженная склонность к наросту. В процессе резания формируется упрочнённый поверхностный слой, что приводит к:

- нестабильности силы резания;
- образованию нароста на режущей кромке;

– развитию адгезионного износа.

Это объясняет снижение стойкости инструмента при увеличении скорости резания, несмотря на сопоставимую твердость материала с конструкционными сталями. Наиболее ярко влияние теплофизических характеристик проявилось при обработке титанового сплава ВТЗ-1. Низкая теплопроводность материала приводит к концентрации тепла в зоне резания и в режущей кромке инструмента. В результате:

- резко возрастает контактная температура;
- усиливаются диффузионные процессы;
- активизируется адгезионный износ.

При этом установлено, что снижение скорости резания значительно повышает стойкость инструмента, что подтверждает термическую природу разрушения режущей кромки при обработке титана.

Результаты исследования позволяют сформулировать обобщённую закономерность: стойкость режущего инструмента определяется не отдельным свойством материала, а их совокупностью, формирующей специфический механизм изнашивания.

Можно выделить три доминирующих типа поведения материалов:

1. Механически нагруженные материалы – преобладание абразивного износа (30ХГСА).
2. Адгезионно-активные материалы – развитие нароста и наклёпа (12Х18Н10Т).
3. Термически нагруженные материалы – интенсивное тепловое разрушение (ВТЗ-1).

Высоколегированные стали занимают промежуточное положение, демонстрируя смешанный механизм изнашивания. Полученные результаты подтверждают научную гипотезу о существовании устойчивой взаимосвязи между физико-механическими свойствами обрабатываемого материала и стойкостью режущего инструмента. Установлено, что изменение класса материала приводит к изменению доминирующего механизма износа, что требует корректировки режимов резания для обеспечения максимальной стойкости и требуемого качества поверхности.

Заключение. В результате проведённого исследования установлена закономерная взаимосвязь между физико-механическими свойствами обрабатываемых материалов и стойкостью режущего инструмента при токарной обработке. Экспериментально подтверждено, что изменение класса материала приводит к изменению доминирующего механизма изнашивания режущей кромки и, как следствие, к различной интенсивности потери работоспособности инструмента.

Основные выводы исследования:

1. Материалы с повышенными прочностными характеристиками (конструкционные и высоколегированные стали) вызывают преимущественно абразивный и механический износ инструмента вследствие высоких контактных напряжений в зоне резания.

2. Аустенитные коррозионно-стойкие стали характеризуются выраженной склонностью к наклёпу и адгезионному взаимодействию, что снижает стойкость инструмента при повышенных скоростях резания.

3. Титановые сплавы, обладающие низкой теплопроводностью и высокой химической активностью, формируют термически напряжённую зону резания, что приводит к интенсификации диффузионных и адгезионных процессов и резкому сокращению ресурса инструмента при увеличении скорости резания.

4. Стойкость инструмента определяется не отдельным параметром материала, а комплексом его механических и теплофизических свойств, формирующих специфические условия контактного взаимодействия в зоне резания.

5. Рациональный выбор скорости резания является ключевым фактором обеспечения максимальной стойкости инструмента, причём рациональные значения существенно различаются для сталей и титановых сплавов.

Научная новизна работы заключается в комплексном сравнительном анализе влияния физико-механических свойств материалов различных классов (конструкционные, коррозионно-стойкие, высоколегированные стали и титановые сплавы) на стойкость режущего инструмента в сопоставимых условиях обработки. Установлена типизация механизмов изнашивания в зависимости от доминирующих свойств материала, что позволяет прогнозировать характер разрушения режущей кромки при переходе к обработке материалов другого класса.

Практическая значимость результатов заключается в возможности использования выявленных закономерностей при выборе рациональных режимов резания для материалов различных классов, прогнозировании стойкости инструмента на этапе технологической подготовки производства, снижении затрат на инструментальное обеспечение, повышении стабильности качества обработанной поверхности.

Полученные данные могут быть использованы при разработке и автоматизации технологических процессов механической обработки деталей машиностроения, авиационной и энергетической промышленности.

Список использованных источников

1. Кузнецова Е.М. Особенности микрорельефа шероховатости при токарной обработке закаленных сталей: Современные наукоемкие технологии / Е. М. Кузнецова, В.Е. Овсянников, И. М. Ковенский, Р.Ю. Некрасов. – 2023. №(8). – С.45-50. <https://doi.org/10.17513/snt.39729>

2. Сызранцева К.В. Оценка вероятности отказа при эксплуатации сборного режущего инструмента со сменными многогранными пластинами методами непараметрической статистики. Омский научный вестник / К.В. Сызранцева, Н.А. Василега. – 2023. – 2(186). – С.35–43 <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2023-186-35-43>

3. Pinca-Bretotean, A. Off-line Monitoring and Measurements of Tool Wear with Single Point Cutting Edge. B: 13th International Conference on Applied Sciences (ICAS2025) / Pinca-Bretotean, A & Miklos, I & Miklos, C & Preda, Cosmin.

Hunedoara, Romania: Published under licence by IOP Publishing Ltd; 2025. P. 1–8.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/3153/1/012004>

4. Даниловских М. Г. Зона резки и контроль температуры. Международный научный журнал «Символ науки» / М.Г. Даниловских, О.В. Летенков. – 2023. – №3(1). – С.16-21. ISSN 2410-700X

5. Григорьев В.В. Инструмент для токарной обработки торцов заготовок деталей, выполненных из труднообрабатываемой стали 12Х18Н10Т. Упрочняющие технологии и покрытия / В.В. Григорьев, В.Ю. Шелковников, А.А. Скрипилёв, С.Б. Марьин. – 2024. – №07. – С.291-294 <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2024-20-7-291-294>

6. Кочура Н.Н. Стойкость современного режущего инструмента при точении титанового сплава ВТ-3. Россия молодая: передовые технологии – в промышленность / Н.Н. Кочура, А.Ю. Попов, В.А. Сергеев, Д.С. Реченко. – 2011. – №1. – С. 44-45.

THE INFLUENCE OF THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF THE PROCESSED MATERIALS ON THE RESISTANCE OF THE CUTTING TOOL DURING TURNING.

O.O. Berdnikov, N.Y. Kapalin, D.S. Rechenko

*Omsk State Technical University,
Omsk, Russia*

The effect of the physico-mechanical properties of the processed materials on the durability of the cutting tool during turning is investigated. The objects of the study were materials of various classes widely used in mechanical engineering: structural alloy steel 30HGSA, corrosion-resistant austenitic steel 12H18N10T, high-alloy steels 14H17N2 and 13H11N2V2MF-Sh, as well as titanium alloy VT3-1. Experimental studies were carried out on a numerically controlled lathe using replaceable carbide cutting plates from various manufacturers. The durability of the tool was assessed by the operating time until the set wear values were reached, while ensuring the required roughness parameters of the treated surface.

In the course of the study, a comparative analysis of the durability of the tool was carried out when processing materials with different strength and thermophysical characteristics. It is established that the physical and mechanical properties of the material significantly affect the conditions of formation of the cutting zone and the mechanism of wear of the cutting edge. It is shown that the abrasive wear mechanism prevails in the processing of structural and high-alloy steels, while the adhesive mechanism associated with surface layer riveting prevails in the processing of corrosion-resistant steels, while thermal and diffusion processes play a significant role in the turning of titanium alloys.

The results obtained make it possible to establish patterns of changes in the durability of cutting tools depending on the class of material being processed and can be

used in choosing rational cutting modes, developing and automating technological processes of mechanical processing.

Keywords: cutting tool durability, turning, tool wear, physical and mechanical properties of materials, cutting modes, titanium alloys, corrosion-resistant steels.

УДК 631.15.01

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ СПЕЦИФИКАЦИЙ И ПАСПОРТОВ ОБОРУДОВАНИЯ В MS WORD С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАКРОСОВ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Н.С. Богаткин¹

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье исследуется подход к автоматизации процессов технической подготовки производства на машиностроительном предприятии посредством разработки и внедрения специализированных шаблонов MS Word с использованием макросов (VBA). Проанализированы возможности встроенных инструментов (поля форм, закладки, элементы управления содержимым, макросы) для автоматизации создания спецификаций и паспортов оборудования, минимизации ошибок ручного ввода и обеспечения строгого соответствия документации корпоративным и отраслевым стандартам. Рассмотрены практические аспекты интеграции решения в производственный цикл, включая вопросы организации централизованного хранилища шаблонов, обучения персонала и взаимодействия с внешними источниками данных (базы ERP, CAD-системы). Сделан вывод о том, что предложенное решение формализует процесс документирования, существенно снижает операционные и репутационные риски, связанные с ошибками в документации, и способствует повышению общей эффективности и технологической дисциплины в конструкторско-технологических службах.

Ключевые слова: машиностроительное предприятие, техническая документация, спецификации, паспорта оборудования, автоматизация, MS Word, макросы, VBA, стандартизация, операционные риски.

В современных условиях цифровизации промышленности особое значение приобретает эффективность управленческих и вспомогательных процессов, среди которых документооборот занимает одну из ключевых позиций. На машиностроительных предприятиях значительная часть рабочего времени инженерно-технического персонала тратится на создание, оформление и актуализацию технической документации: спецификаций, ведомостей материалов, паспортов на оборудование и сборочные единицы. Традиционно эта работа выполняется вручную в текстовых редакторах, преимущественно в MS Word. Такой

¹ Научный руководитель Нигматзянова Л.Р.

подход порождает ряд системных проблем: высокую трудоемкость, неизбежные ошибки при копировании данных, несоблюдение единых стандартов оформления, сложность контроля версий и внесения изменений. Эти проблемы напрямую влияют на скорость запуска изделий в производство, качество выпускаемой продукции и общую операционную эффективность предприятия.

Целью данной работы является разработка и апробация методики автоматизации формирования комплекта конструкторско-технологической документации на машиностроительном предприятии с помощью макросов MS Word. В задачи исследования входило: анализ типовых недостатков существующего ручного процесса; проектирование структуры интеллектуальных шаблонов ключевых документов; разработка алгоритмов и программного кода на VBA для автоматической подстановки данных и сборки документов; практическое внедрение и оценка экономической эффективности предложенного подхода.

Процесс подготовки спецификации или паспорта оборудования в условиях типичного машиностроительного предприятия можно представить как последовательность шагов: получение исходных данных (номенклатурные номера, наименования, масса, материалы) из систем проектирования или расчетных программ; открытие файла-шаблона или предыдущей версии аналогичного документа в MS Word; ручное копирование или ввод данных в соответствующие ячейки таблиц и текстовые поля; форматирование документа в соответствии с требованиями корпоративного стандарта или ЕСКД; проверка, сохранение и отправка на согласование.

Детальный анализ этого процесса, проведенный на одном из машиностроительных заводов, выявил следующие ключевые узкие места и риски. Во-первых, процесс характеризуется высокой долей рутинных, повторяющихся операций, что ведет к значительным временным затратам – подготовка одной сложной спецификации может занимать до нескольких часов. Во-вторых, ручное копирование данных из одной программы в другую является основным источником ошибок: от простых опечаток в обозначениях до критических несоответствий в указании материалов или массогабаритных характеристиках. Такие ошибки, выявленные на поздних стадиях (в производстве или, что хуже, у заказчика), ведут к прямым финансовым потерям и репутационным издержкам. В-третьих, отсутствие жестко заданного формата приводит к тому, что документы, подготовленные разными исполнителями, визуально различаются (разные шрифты, отступы, оформление таблиц), что снижает профессионализм восприятия документации партнерами и контролирующими органами. Наконец, процесс актуализации документов при изменении конструкции становится крайне трудоемким, так как требует ручного поиска и замены устаревших данных по всему тексту.

В основе предложенного решения лежит концепция «интеллектуального шаблона». Интеллектуальный шаблон – это файл MS Word (с расширением .dotx или .dotm), который представляет собой не просто пустую форму для заполнения, а структурированный документ со встроенной логикой. Его ключевые элементы – это статическая часть (неизменяемый текст, логотипы, рамки) и динамическая часть, предназначенная для автоматического заполнения. Для создания динамической части используются специальные инструменты MS Word.

Сердцем системы автоматизации являются макросы, написанные на языке VBA. Макрос – это программа, которая работает внутри среды MS Word и может управлять практически всеми аспектами документа. Для решения нашей задачи макросы выполняют несколько ключевых функций. Первая функция – это взаимодействие с внешними источниками данных. В простейшем случае таким источником является файл Microsoft Excel, где на отдельных листах структурированно хранится справочная информация: номенклатура деталей, стандартные изделия, применяемые материалы, данные по заказам. Макрос с помощью объектов Excel.Application открывает этот файл, находит нужные листы и считывает данные. В более продвинутой реализации источником может служить база данных SQL или выгрузка из CAD-системы, доступ к которым также осуществляется через VBA.

Важным преимуществом такого подхода является его гибкость и модульность. Для каждого типа документа (спецификация, паспорт, ведомость) создается отдельный шаблон и, при необходимости, отдельный макрос. При изменении требований к формату документа достаточно отредактировать один файл-шаблон, и все новые документы будут создаваться по обновленным правилам. Логика работы макросов также может быть изменена без переустановки всего программного обеспечения. Описанная методология была апробирована в конструкторско-технологическом отделе серийного машиностроительного завода. На первом этапе были проанализированы потоки документов и выбраны для автоматизации два наиболее массовых и критичных с точки зрения ошибок типа: «Ведомость покупных изделий» и «Паспорт на сборочную единицу». Для них были разработаны шаблоны в формате .dotm (шаблон с поддержкой макросов), размещенные в общей сетевой папке, доступной для чтения всем конструкторам. Источником данных был назначен сводный Excel-файл, который ежедневно обновлялся выгрузкой из корпоративной ERP-системы. В этом файле находились актуальные списки стандартных изделий с их кодами, наименованиями и характеристиками. Для каждого типа документа был написан макрос, сохраненный внутри соответствующего шаблона. Для удобства пользователей на ленту MS Word в загружаемый шаблон была добавлена собственная вкладка «Автоматизация» с крупными понятными кнопками «Создать ведомость» и «Создать паспорт». Процесс работы для конструктора свелся к четырем действиям: открыть шаблон из сетевой папки, нажать соответствующую кнопку на ленте, ввести в появившемся окне номер чертежа или шифр заказа, нажать «ОК» и сохранить готовый документ.

Проведенное исследование и практическая реализация проекта убедительно демонстрируют, что автоматизация процессов документооборота на машиностроительных предприятиях возможна и эффективна даже с использованием стандартных, неспециализированных инструментов. Предложенная методика, основанная на создании интеллектуальных шаблонов MS Word и макросах VBA, позволила решить ключевые проблемы ручного труда: высокую трудоемкость, ошибки при переносе данных и отсутствие единого стандарта. Основными преимуществами подхода являются его низкая стоимость, высокая скорость внедрения, минимальная потребность в обучении персонала (работа ведется в привычной среде Word) и значительный, быстро достижимый экономический

эффект. Система обладает необходимой гибкостью и может быть адаптирована под специфику любого предприятия, расширена для автоматизации других типов документов (технологических карт, ремонтных ведомостей, коммерческих предложений) и интегрирована с более сложными источниками данных. Таким образом, даже частичная автоматизация с помощью доступных средств представляет собой важный и оправданный шаг в цифровизации производства. Она не только повышает операционную эффективность и снижает риски, но и создает основу для дальнейшего развития информационной инфраструктуры предприятия, формируя культуру работы с данными и готовя персонал к использованию более сложных систем в будущем.

Список использованных источников

1. ГОСТ 2.106-96 «Единая система конструкторской документации. Текстовые документы». – М.: Стандартинформ, 2010. – 45 с.
2. Калянов, Г.Н. CASE-технологии. Консалтинг при автоматизации бизнес-процессов / Г.Н. Калянов. – 3-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 320 с.
3. Microsoft Corporation. Microsoft Visual Basic for Applications Language Reference. – Redmond: Microsoft Press, 2019. – 1102 с.
4. Оленев, Н.Н. Автоматизация офисной деятельности с использованием VBA / Н.Н. Оленев, А.В. Шевелев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 464 с.
5. Смирнова, Е.В. Совершенствование системы внутреннего контроля на промышленном предприятии / Е.В. Смирнова // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2021. – Т. 1, № 7(103). – С. 45–51.
6. Столяров, А.М. Программирование на VBA в Microsoft Office 2010 / А.М. Столяров. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 512 с.
7. Walkenbach, J. Excel 2019 Power Programming with VBA / J. Walkenbach. – Indianapolis: John Wiley & Sons, 2019. – 840 p.

AUTOMATION OF SPECIFICATIONS AND EQUIPMENT PASSPORTS CREATION IN MS WORD USING MACROS AT A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

N.S. Bogatkin¹

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

The article explores an approach to automating production engineering processes at a machine-building enterprise through the development and implementation of specialized MS Word templates using macros (VBA). The capabilities of built-in tools (form fields, bookmarks, content controls, macros) for automating the creation of

¹ Scientific Supervisor L.R. Nigmatzyanova

specifications and equipment passports, minimizing manual input errors, and ensuring strict compliance of documentation with corporate and industry standards are analyzed. Practical aspects of integrating the solution into the production cycle are considered, including the organization of a centralized template repository, personnel training, and interaction with external data sources (ERP databases, CAD systems). It is concluded that the proposed solution formalizes the documentation process, significantly reduces operational and reputational risks associated with documentation errors, and contributes to improving the overall efficiency and technological discipline in design and engineering departments.

Keywords: machine-building enterprise, technical documentation, specifications, equipment passports, automation, MS Word, macros, VBA, standardization, operational risks

УДК 657.13

СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ МАЛЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Д.И. Болдырев, С.В. Новикова

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

В статье рассматривается важность деятельности автотранспортного предприятия и их отличительные особенности. Описаны основные этапы и специфика создания малого автотранспортного предприятия.

Ключевые слова: малое автотранспортное предприятие, автомобильный транспорт, грузовые перевозки.

Одной из главных тенденций современного периода общественной жизни является высокая динамика роста автомобильного парка по всему миру. В связи с этим естественным является процесс стремительного увеличения числа автотранспортных предприятий. Создание малого автотранспортного предприятия (АТП) предполагает учёт законодательных требований, разработку бизнес-плана, организацию инфраструктуры и поиск источников финансирования. Малые предприятия действуют в определённой области рынка транспортных услуг, например, грузовые АТП малых размеров занимаются перевозками мелкопартийных грузов и разовыми перевозками [1].

Автомобильные транспортные предприятия в зависимости от их масштаба делятся на малые, средние и крупные. Малые АТП, с числом сотрудников до 100 человек, начали активно развиваться после рыночных реформ. Сегодня они выполняют значительную часть перевозок грузов и пассажиров, а также

предоставляют автосервисные услуги. Среди ключевых характеристик малых АТП можно выделить следующие особенности:

- минимальные требования к объему всех видов ресурсов, включая собственный капитал, для запуска и работы малых АТП;
- сокращенные сроки создания и запуска АТП с выходом на проектную мощность;
- быстрая окупаемость вложений и высокая оборачиваемость оборотных средств;
- гибкое реагирование на изменения спроса на услуги АТП;
- упрощенная организационная структура, обусловленная небольшой численностью персонала;
- высокая мотивация персонала, основанная на чувстве причастности к делу (для собственников) или прямой связи между качеством работы, результатами деятельности и материальным вознаграждением (для наемных сотрудников);
- простота управления деятельностью АТП, как правило, без излишней бюрократии, характерной для крупных организаций.

Малые АТП стали популярны благодаря своим преимуществам и большинство из них возникло в начале 1990-х годов, когда в РФ началась масштабная приватизация государственной собственности. АТП создавались путём выделения транспортных цехов и участков из крупных промышленных, строительных и прочих предприятий, а также за счёт разукрупнения уже существующих автотранспортных организаций.

Создание нового автотранспортного предприятия проходит, как правило, несколько этапов [2]:

- возникновении идеи о создании нового предприятия, необходимого для перевозок автомобильным транспортом, а также хранения, технического обслуживания и ремонта подвижного состава;
- изучение и определение возможностей использования новых технологий, средств и предметов труда;
- изучение рынка, на удовлетворение потребностей которого должно работать малое АТП;
- подбор поставщиков необходимых факторов производства (сырья, запасных частей, материалов, оборудования, энергетических ресурсов, информации и др.);
- подбор соучредителей предприятия;
- определение финансовых источников, необходимых для формирования уставного капитала, нужного для первоначального этапа функционирования предприятия. Размер уставного капитала регулируется законодательством;
- разработка учредительных документов. Так в зависимости от организационно-правовой формы собственности необходимы устав и учредительный

договор. Устав должен содержать сведения об организационно-правовой форме, наименовании, нахождении предприятия, размере уставного капитала и другие данные;

- разработка бизнес-плана;
- проведение организационных мероприятий по созданию предприятия в зависимости от организационно-правовой формы и формы собственности;
- осуществление государственной регистрации предприятия, получение необходимых счетов в банках;
- изготовление печатей и штампов;
- постановка на учет в органе государственной налоговой службы, в территориальном органе Пенсионного фонда РФ и др.

Особое внимание при создании малого АТП, как и любой другой организации должно уделяться учёту законодательных требований [3]. Так создание АТП регламентируется Гражданским кодексом РФ и законами об отдельных организационно-правовых формах юридических лиц. При этом следует учитывать, что малое АТП считается созданным только с момента прохождения государственной регистрации.

Важное место в процессе создания АТП имеет подбор руководящих работников предприятия, специалистов, определение их функций, прав, ответственности, наем на работу других сотрудников, построение системы мотивации персонала, создание регламента внутреннего распорядка в соответствии с действующим законодательством, формирование условий и подсистем для управления предприятием. Также при создании малого АТП необходимо:

1 Учитывать исходные данные – тип, количество, среднесуточный пробег подвижного состава, условий эксплуатации, режима работы подвижного состава и климатических условий. Исходные данные могут быть определены на основании планируемого объёма перевозок.

2 Производить расчёт производственного плана, включающего количество технических обслуживаний, запланированных на конкретный временной промежуток (год или сутки). Для расчёта можно применять различные методики, например, цикловой метод, при котором под циклом понимается пробег автомобиля с начала эксплуатации до капитального ремонта или до списания.

3 Учесть климатические условия – температуру окружающей среды, влажность, ветровую нагрузку и радиационный фон.

Грузовые перевозки автомобильным транспортом представляют собой обширную сферу услуг народного хозяйства современной страны. Автомобильный транспорт является решающим фактором в экономическом развитии страны, а повышение эффективности работы автомобильного транспорта в целом – важная государственная задача [4].

Следует отметить, что именно сектор малого предпринимательства обеспечивает большую часть ВВП любого развитого государства [5], а создание малых АТП важно для экономики, социальной жизни и экологии. Так малые АТП

выполняют услуги перевозки грузов и пассажиров, а также хранение, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и их деятельность имеет специфические особенности, которые влияют на эффективность перевозок и конкурентоспособность на рынке транспортных услуг. Деятельность АТП играет определенную экономическую роль в масштабах страны, поскольку они обслуживают определённый сектор рынка транспортных услуг (например, малые грузовые АТП выполняют перевозки мелкопартийных грузов и разовые перевозки) и способствуют активизации развития экономики за счет предоставления дополнительных рабочих мест и рационального использования ресурсов (например, на малом автотранспортном предприятии не может быть лишнего оборудования, избыточных запасов сырья и материалов, лишних работников). В целом, малые АТП играют значимую роль в удовлетворении потребностей населения в перевозка, поскольку транспортные услуги, которые предлагают малые АТП, обеспечивают полное и своевременное удовлетворение потребностей предприятий, организаций и населения.

Список использованных источников

1. Организация малого автотранспортного предприятия // Справочник от автор24: сайт. – URL: https://spravochnick.ru/logistika/organizaciya_malogo_avtotransportnogo_predpriyatiya/ (дата обращения 09.03.2026).

2. Основы теории управления [Электронный ресурс]: электронный учебно-методический комплекс. Ч. 1 / О.В. Дмитриева, Е.С. Корнев, Т.Н. Борисова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Электронные данные. – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – 1 электрон.опт. диск (CD-ROM)

3. Гражданский кодекс российской Федерации (части первая и вторая) от 30.11.1994 г. № 51-ФЗ (действ. ред.) // Консультантплюс: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/ (дата обращения 09.03.2026).

4. Дернава, К. К. Повышение эффективности грузовых перевозок автомобильным транспортом / К. К. Дернава, О. В. Князькина // Электроэнергетика сегодня и завтра: сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции, 24 марта 2023 г. – Курск: Университетская книга, 2023. – Т.1. – С. 192-195.

5. Сакнова, К.В. Управление развитием среднего и малого бизнеса в российской федерации / К.В. Сакнова, науч. рук. О.В. Князькина // Исследование инновационного потенциала общества и формирование направлений его стратегического развития: сборник научных статей 7-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (29-30 декабря 2017 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2017. – С. 364-367

METHODS OF CREATING SMALL TRANSPORT FIRMS

D.I. Boldyrev, S.V. Novikova

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia*

The article discusses the importance of the activities of a motor transport enterprise and their distinctive features. The main stages and specifics of creating a small motor transport enterprise are described.

Keywords: small motor transport enterprise, motor transport, cargo transportation.

УДК 621.983

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА КАК МЕТОД КАЛИБРОВКИ И СОЕДИНЕНИЯ ТРУБНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Д.Т. Бунтури

*Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия*

В статье рассматриваются основные принципы и технологические особенности магнитно-импульсной обработки применительно к операциям калибровки и соединения трубных деталей. Описаны физические основы процесса воздействия импульсного магнитного поля на токопроводящие заготовки, проанализированы преимущества данного метода по сравнению с традиционными способами обработки давлением. Рассмотрены факторы, влияющие на качество получаемых соединений и точность калибровки, включая параметры разрядного контура, геометрию индуктора и свойства материала заготовки.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка, калибровка труб, соединение трубных деталей, импульсное магнитное поле, индуктор, обработка металлов давлением.

Современное машиностроение предъявляет всё более высокие требования к точности изготовления трубных деталей и надёжности их соединений. Традиционные методы обработки, такие как, раздача, обжим, сварка, пайка во многих случаях не обеспечивают необходимого сочетания производительности, точности и качества. В этих условиях особый интерес представляет магнитно-импульсная обработка [1-5], основанная на силовом воздействии импульсного электромагнитного поля на токопроводящую заготовку.

Принцип действия магнитно-импульсной обработки основан на взаимодействии мощного кратковременного магнитного поля с вихревыми токами,

наведёнными в стенке токопроводящей заготовки. Источником энергии служит конденсаторная батарея, которая разряжается через специальную катушку - индуктор, расположенный вблизи обрабатываемой детали. Взаимодействие магнитного поля индуктора с вихревыми токами заготовки порождает объёмные электродинамические силы (силы Лоренца), которые и вызывают деформацию детали.

Калибровка представляет собой операцию по приведению геометрических параметров трубной заготовки, наружного или внутреннего диаметра, овальности, прямолинейности к заданным значениям с минимальными допусками. При магнитно-импульсной калибровке индуктор может располагаться как снаружи трубы (для операций обжима и уменьшения диаметра), так и внутри неё (для раздачи и увеличения диаметра). В первом случае применяется так называемый индуктор, охватывающий заготовку, а деформация направлена радиально к оси трубы. Во втором случае индуктор вводится внутрь трубы, и электродинамические силы действуют в направлении от оси наружу, прижимая заготовку к внешней матрице.

Особое преимущество магнитно-импульсной калибровки заключается в равномерности давления по окружности заготовки. Поскольку электромагнитное поле создаётся симметричным индуктором, распределение сил по периметру трубы оказывается значительно более однородным, чем при использовании механических инструментов, зажимов, роликов или сегментных матриц. Кроме того, отсутствие механического контакта между инструментом и заготовкой исключает появление задиров, царапин и других дефектов поверхности, что важно для деталей, работающих в условиях усталостного нагружения или агрессивных сред.

На точность калибровки влияет ряд технологических параметров. Важнейшими из них являются энергия, запасённая в конденсаторной батарее, частота разрядного тока и зазор между индуктором и заготовкой. Увеличение энергии разряда позволяет обрабатывать более толстостенные трубы и материалы с высоким пределом текучести, однако при этом возрастает нагрузка на индуктор, что ограничивает его ресурс.

Наряду с калибровкой, магнитно-импульсная обработка нашла широкое применение для создания неразъёмных соединений трубных деталей. Различают два основных типа таких соединений: механические (обжимные) и сварные (так называемая магнитно-импульсная сварка).

При механическом (обжимном) соединении наружная труба или муфта обжимается импульсным магнитным полем на внутреннюю деталь - трубу, штуцер, арматуру. В результате высокоскоростного удара происходит пластическая деформация наружной заготовки, которая плотно обхватывает внутренний элемент, создавая прочное герметичное соединение за счёт сил трения и механического зацепления. Для повышения прочности на внутренней детали часто выполняются кольцевые канавки, рифления или накатки, в которые вдавливаются материал наружной трубы. Такие соединения способны выдерживать значительные

осевые нагрузки и внутреннее давление, что подтверждено многочисленными экспериментальными исследованиями.

Магнитно-импульсная обработка обладает рядом существенных преимуществ. Прежде всего, это бесконтактность воздействия, исключая износ инструмента в традиционном понимании и повреждение поверхности заготовки. Высокая производительность, что означает, что один импульс длится доли секунды и делает метод актуальным для серийного и массового производства. Хорошая воспроизводимость результатов обеспечивается стабильностью параметров электрического разряда, которые легко контролируются и регулируются. Возможность автоматизации процесса и его экологическая чистота (отсутствие вредных выбросов, шума, высоких температур) также являются значимыми достоинствами.

Вместе с тем метод имеет определённые ограничения. Материал заготовки должен обладать достаточной электрической проводимостью для эффективного наведения вихревых токов. Для обработки плохо проводящих материалов (нержавеющих сталей, титановых сплавов) применяются промежуточные токопроводящие элементы - спутники, что усложняет технологию. Размеры обрабатываемых деталей ограничены мощностью оборудования и конструкцией индуктора. Ресурс индуктора является одним из важных факторов: при воздействии мощных импульсов в его обмотке возникают значительные механические и термические нагрузки, приводящие к постепенному разрушению.

Список использованных источников

1. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. 4-е изд. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. Л. : Машиностроение, 1979. 520 с.
3. Яковлев, С. С. Исследование температуры полуфабриката при продольном гофрировании обжимом / С. С. Яковлев, А. А. Шишкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 10. – С. 634-635.
4. Яковлев, С. С. Оценка температурных режимов гофрирования пластическим формоизменением / С. С. Яковлев, А. А. Шишкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 10. – С. 390-393.
5. Вобликов, Г. А. Сравнительный анализ применения композитных и штампованных металлических кузовных деталей для автомобильной промышленности / Г. А. Вобликов, С. С. Яковлев // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса : Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции, Пенза, 20–21 октября 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 35-38.

MAGNETIC PULSE PROCESSING AS A METHOD OF CALIBRATION AND CONNECTION OF PIPE PARTS

D.T. Bunturi

*Tula State University,
Tula, Russia*

The article discusses the basic principles and technological features of magnetic pulse processing in relation to the calibration and connection of pipe parts. The physical foundations of the process of exposure of a pulsed magnetic field to conductive workpieces are described, and the advantages of this method in comparison with traditional pressure treatment methods are analyzed. The factors influencing the quality of the obtained compounds and the accuracy of calibration, including the parameters of the discharge circuit, the geometry of the inductor and the properties of the workpiece material, are considered.

Keywords: magnetic pulse processing, calibration of pipes, connection of pipe parts, pulsed magnetic field, inductor, metal pressure treatment.

УДК 621.983

ФЕСТОНООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ВЫТЯЖКЕ КОРОБЧАТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Д.Т. Бунтури

*Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия*

Рассмотрены особенности образования фестонов при глубокой вытяжке коробчатых деталей из анизотропного листового материала. Проанализировано влияние плоскостной анизотропии на неравномерность высоты стенки в прямолинейных и угловых зонах коробчатой детали, а также на величину припуска на обрезку. Рассмотрены современные подходы к прогнозированию и компенсации влияния анизотропии, включающие конечно-элементное моделирование с использованием анизотропных критериев текучести.

Ключевые слова: глубокая вытяжка, коробчатые детали, фестонообразование, плоскостная анизотропия, текстура листового металла, неравномерность кромки, критерий текучести.

Образование фестонов при вытяжке коробчатых деталей имеет более сложный характер по сравнению с цилиндрическими изделиями. При вытяжке цилиндра фестоны распределяются равномерно по окружности и их количество и расположение однозначно определяются типом текстуры материала. Для

материала с текстурой. При вытяжке коробчатой детали взаимодействие геометрического фактора формы детали и кристаллографического фактора текстуры приводит к существенно более сложной картине.

На прямолинейных участках стенок коробки, где материал вытягивается в матрицу наиболее свободно, высота кромки и без учёта анизотропии оказывается больше, чем в угловых зонах. Анизотропия либо усиливает, либо ослабляет эту неравномерность в зависимости от ориентации конкретного участка стенки относительно направления прокатки. Если прямолинейный участок ориентирован в направлении с высоким значением плоскостной анизотропии, то эффект подтягивания материала усиливается, и высота кромки на этом участке дополнительно возрастает. Если же угловая зона совпадает с направлением минимального коэффициента анизотропии, то отставание подтягивания в углу становится ещё более выраженным. В результате перепад высоты кромки по периметру коробчатой детали может значительно превышать тот, который обусловлен только геометрией формы.

Наложение фестонов, вызванных анизотропией, на геометрически обусловленную неравномерность высоты кромки создаёт сложный волнистый профиль верхнего края вытянутой коробки. Для получения детали с ровной кромкой необходима последующая обрезка, величина которой определяется амплитудой неровности. Чем больше плоскостная анизотропия материала, тем больше припуск на обрезку и, соответственно, выше расход металла. В условиях массового производства даже небольшое увеличение припуска на обрезку приводит к значительным экономическим потерям, что делает задачу учёта и компенсации влияния анизотропии на формоизменение весьма актуальной.

Современные подходы к проектированию процессов глубокой вытяжки коробчатых деталей предполагают обязательный учёт анизотропии механических свойств исходного материала. Наиболее мощным инструментом в этой области является метод конечных элементов, позволяющий моделировать процесс формообразования с высокой степенью детализации. Для адекватного описания поведения анизотропного материала в конечно-элементных моделях используются специальные критерии текучести, учитывающие зависимость механических свойств от направления.

Классическим критерием текучести для анизотропных материалов является критерий Хилла, предложенный в 1948 году и с тех пор многократно модифицированный. В исходной формулировке Хилла квадратичная функция текучести содержит шесть независимых параметров, определяемых из механических испытаний образцов, вырезанных в различных направлениях. Этот критерий достаточно хорошо описывает поведение сталей, для которых характерна умеренная анизотропия, однако для алюминиевых сплавов и некоторых других материалов с более сложным характером анизотропии точность описания может быть недостаточной. Для таких случаев разработаны более совершенные модели, такие как критерий Барлата (Barlat), учитывающий особенности текстуры гранцентрированных кубических металлов, и ряд других неквадратичных критериев текучести.

Применение конечно-элементного моделирования с использованием анизотропных критериев текучести позволяет прогнозировать характер формоизменения заготовки, распределение толщины стенки, профиль кромки и предельную степень вытяжки с высокой точностью. На основе результатов моделирования можно оптимизировать форму и размеры исходной заготовки, подобрав такой контур, который компенсирует неравномерность втягивания материала, обусловленную анизотропией. Вместо традиционного кругового или прямоугольного контура заготовки используется специально рассчитанный криволинейный контур, обеспечивающий равномерную высоту стенки вытянутой детали и минимальный припуск на обрезку.

Помимо оптимизации формы заготовки, учёт анизотропии позволяет целенаправленно подбирать ориентацию заготовки относительно направления прокатки. Поворот заготовки на определённый угол может существенно изменить картину формоизменения, перераспределив направления с максимальным и минимальным значениями коэффициента анизотропии между прямолинейными и угловыми участками контура детали. В ряде случаев удаётся найти такую ориентацию, при которой влияние анизотропии на неравномерность кромки минимально, или при которой наиболее благоприятные направления совпадают с критическими угловыми зонами, повышая тем самым предельную степень вытяжки.

Стоит упомянуть, что современные прессы для листовой штамповки всё чаще оснащаются системами сегментного или зонального прижима, позволяющими задавать различное давление на разных участках периметра фланца. Такие системы делают возможным компенсацию влияния анизотропии путём ослабления прижима в направлениях с повышенным сопротивлением и усиления. Аналогичный эффект может быть достигнут за счёт применения перетяжных рёбер и порогов различной высоты и конфигурации, расположенных на рабочей поверхности прижима. Перетяжные рёбра создают дополнительное сопротивление течению материала и позволяют целенаправленно регулировать скорость подтягивания фланца на различных участках контура, выравнивая тем самым неравномерность, вызванную анизотропией.

Список использованных источников

1. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. 4-е изд. – Москва: Машиностроение, 1977. – 423 с.
2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. Л. : Машиностроение, 1979. – 520 с.
3. Яковлев, С. С. Исследование температуры полуфабриката при продольном гофрировании обжимом / С. С. Яковлев, А. А. Шишкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 10. – С. 634-635.
4. Яковлев, С.С. Оценка температурных режимов гофрирования пластическим формоизменением / С.С. Яковлев, А.А. Шишкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 10. – С. 390-393.

5. Вобликов, Г.А. Сравнительный анализ применения композитных и штампованных металлических кузовных деталей для автомобильной промышленности / Г.А. Вобликов, С.С. Яковлев // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса : Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции, Пенза, 20–21 октября 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 35-38.

FESTOON FORMATION DURING THE EXTRACTION OF BOX-SHAPED METAL PRODUCTS

D.T. Bunturi

*Tula State University,
Tula, Russia*

The features of festoon formation during deep drawing of box-shaped parts from anisotropic sheet material are considered. The effect of planar anisotropy on the uneven height of the wall in the rectilinear and angular zones of the boxed part, as well as on the amount of trimming allowance, is analyzed. Modern approaches to forecasting and compensating for the effects of anisotropy, including finite element modeling using anisotropic yield criteria, are considered.

Keywords: deep drawing, box-shaped parts, scalloping, planar anisotropy, sheet metal texture, edge unevenness, yield criterion.

УДК 656.11

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОН УСПОКОЕННОГО ДВИЖЕНИЯ В ИСТОРИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ ИРКУТСКА

И.А. Бянкина, А.П. Лопушанский, Т.Р. Кузнецов, А.Ю. Михайлов

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия*

В статье представлены результаты исследования скорости движения транспортных потоков в историческом центре Иркутска. По итогам исследования предложены зоны снижения скоростей движения транспортных потоков, позволяющие повысить безопасность дорожного движения и сформировать комфортную среду движения пешеходов.

Ключевые слова: успокоение дорожного движения, улиц успокоенного движения, зоны 30 км/ч.

В последние десятилетия успокоение движения (Traffic Calming) получило широкое распространение в мировой практике организации дорожного

движения. Успокоение дорожного движения [1]: «...термин, используемый для описания физических элементов, установленных вдоль дороги, чтобы побудить водителей снизить скорость. Эти элементы вводятся для обеспечения безопасности всех участников дорожного движения, особенно пешеходов и велосипедистов...».

Основные задачи успокоения движения определяют, как [2]:

- создание благоприятных условий для пешеходов и велосипедистов;
- учет и приоритет требований, которые предъявляют пользователи городской территории – горожане (проживание, работа, рекреация);
- создание безопасных и привлекательных улиц; снижение негативных эффектов от автомобильного транспорта (шум и загрязнение воздуха);

Успокоение движение применено в исторических центрах городов: Бордо, Дижон, Руан (Франция); Брюссель (Бельгия), Рим и т.д.) [3-5]. Отмечают эффект в виде снижения тяжести дорожно-транспортных происшествий (сокращение происшествий с ранениями на 50-60%). В российской практике примерами успешного применения успокоения дорожного движения являются ул. Большая Дмитровка и ул. Пушечная (г. Москва), ул. Малая Конюшенная (г. Санкт-Петербург).

Исторический центр г. Иркутска является местом концентрации памятников деревянного зодчества и находится в предварительном списке объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО [6]. В историческом центре сосредоточены места приложения труда и объекты массового тяготения. В последние годы в связи развитием внутреннего туризма центр Иркутска стал притягательным для туристов.

Исторический центр Иркутска перегружен транспортными потоками, в том числе транзитным по отношению к центру города движением транспорта. Этим обусловлены регулярно возникающие транспортные заторы на целом ряде участков улично-дорожной

Для обоснования мероприятий по успокоению дорожного движения было выполнено исследование интенсивности и скоростей движения в центральной части Иркутска (пиковые периоды 7:30–9:00 и 17:30–19:00). Оценка скорости выполнялась обработкой GPS-треков для перегонов улично-дорожной сети. По результатам исследования скорости движения на 308 перегонах улично-дорожной сети центра было установлено, что значения скорости подчиняются нормальному распределению (таблица 1).

Таблица 1 – Статистики распределения скорости движения на перегонах улично-дорожной сети г. Иркутска

Характеристика	Значение
Минимальная скорость сообщения, км/ч	6,00
Скорость сообщения 20% обеспеченности, км/ч	15,42
Скорость сообщения 40% обеспеченности, км/ч	19,04
Средняя скорость сообщения, км/ч	21,45
Медина скорости сообщения, км/ч	20,65

Характеристика	Значение
Мода скорости сообщения, км/ч	6,00
Скорость сообщения 60% обеспеченности, км/ч	22,76
Скорость сообщения 80% обеспеченности, км/ч	27,29
Максимальная скорость сообщения, км/ч	49,62

Полученные результаты указывают, что введение ограничений скорости 30 км/ч, 40 км/ч, 50 км/ч не окажет влияния на условия движения в историческом центре в пиковые периоды, но при этом значительно повысит безопасность движения в межпиковые периоды. В этой связи предлагается ввести (рисунок 1):

- ограничения скорости движения 50 км/ч на улицах: К. Маркса, ул. Ленина; ул. Тимирязева, ул. Дзержинского;
- зоны успокоенного движения 30 км/ч.



Рисунок 1 – Предлагаемые ограничения скорости движения в историческом центре Иркутска: улицы с ограничением скорости 50 км/ч и зоны успокоенного движения 30 км/ч

Предлагаемые ограничения скорости (рис. 1) также будут способствовать снижению транзитного движения через центр города.

Список использованных источников

1. <https://www.gov.uk/government/publications/know-your-traffic-signs/traffic-calming>
2. Михайлов А.Ю., Куприянова А.Б. Зоны успокоения движения https://transport.istu.edu/downloads/traff_calm_1.pdf (дата обращения 11.03.2026)

3. <https://eurocities.eu/latest/road-safety-fewer-accidents-in-brussels-30-km-h-city> (дата обращения 11.03.2026)

4. <https://te-cdn.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com/files/11-01-T30.pdf> (дата обращения 12.03.2026)

5. Yannis G.; Michelaraki E. Review of City-Wide 30 km/h Speed Limit Benefits in Europe. Sustainability 2024, 16, 4382. <https://doi.org/10.3390/su16114382>

6. <https://unesco.ru/news/41-irkutsk> (дата обращения 11.03.2026)

FORMATION OF CALM TRAFFIC ZONES IN THE HISTORICAL CENTER OF IRKUTSK

I.A. Byankina., A.P. Lopushansky, T.R. Kuznetsov, A.Yu. Mikhailov

*Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia*

This article presents the results of a study on traffic speeds in the historic center of Irkutsk. Based on these findings, speed-reducing zones are proposed to improve traffic safety and create a comfortable environment for pedestrians.

Keywords: traffic calming, traffic calming streets, 30 km/h zones.

УДК 621.314.222.6

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТРАНСФОРМАТОРА НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Б.А. Валеев, В.С. Басенко

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассматривается комплексный подход к подготовке специалистов для обеспечения надежной эксплуатации кабельных линий электропередачи (КЛ) 6–10 кВ. Обоснована необходимость формирования у персонала не только узкопрофильных технических компетенций, но и системного аналитического мышления для прогнозирования и предотвращения аварий.

Ключевые слова: остаточный ресурс, качество электроэнергии, бумажно-масляная изоляция, степень полимеризации, диэлектрические потери.

Обеспечение нормативных показателей качества электроэнергии в распределительных сетях является одной из приоритетных задач современной электроэнергетики. Качество электроэнергии непосредственно влияет на эффективность работы электроприемников, срок службы оборудования и надежность электроснабжения в целом. В то же время значительная часть парка силовых

трансформаторов в России эксплуатируется за пределами нормативного срока службы, составляющего 25-30 лет. По различным оценкам, около 30% силовых трансформаторов уже отработали установленный ресурс, при этом естественный износ оборудования опережает процессы реконструкции и замены. В этих условиях становится актуальной задача исследования взаимосвязи между техническим состоянием трансформаторов и показателями качества электроэнергии.

Остаточный ресурс силового трансформатора в значительной степени определяется состоянием его бумажно-масляной изоляции, которая подвергается необратимым изменениям в процессе эксплуатации. Основными факторами, ускоряющими деградацию изоляции, являются термическое старение, увлажнение, окислительные процессы и воздействие частичных разрядов. Каждые 6-8°C превышения температуры над номиналом сокращают ресурс целлюлозной изоляции вдвое. При температуре выше 95°C начинается активное термоокислительное старение трансформаторного масла: растет кислотное число, образуются шламы и осадки, снижается диэлектрическая прочность [1].

Ключевым показателем состояния твердой изоляции является степень полимеризации (СП) целлюлозы. У новых трансформаторов степень полимеризации составляет 1000-1200 единиц, при снижении до 450-500 единиц изоляция считается сильно изношенной, а при 250-300 единицах требуется срочная замена оборудования. В процессе деструкции целлюлозных цепей образуются фурановые соединения и вода, которые ускоряют дальнейшее старение. Важно отметить, что распределение степени полимеризации по объему изоляционной системы неравномерно: наиболее нагретые зоны обмоток стареют значительно быстрее.

Влияние стареющей изоляции на качество электроэнергии проявляется через несколько механизмов. Прежде всего, ухудшение диэлектрических свойств трансформаторного масла и твердой изоляции приводит к увеличению тангенса угла диэлектрических потерь, что означает дополнительные потери активной мощности и повышенный нагрев. Эти потери имеют нелинейный характер и могут генерировать высшие гармонические составляющие в кривой тока. Увлажнение изоляции даже в пределах 30-40 ppm при повышенной температуре резко снижает сопротивление изоляции и ускоряет гидролиз целлюлозы [2].

Существенное влияние на качество электроэнергии оказывает изменение индуктивных параметров трансформатора при старении. Деформация обмоток, возникающая в результате электродинамических воздействий при коротких замыканиях, приводит к изменению индуктивности рассеяния и, соответственно, реактивного сопротивления трансформатора. По статистике, около 30% отключений трансформаторов напряжением 110-500 кВ связаны с внутренними короткими замыканиями, причиной которых являются деформации обмоток и разрушение витковой изоляции. Такие изменения параметров влияют на распределение токов высших гармоник в сети и могут способствовать возникновению резонансных явлений [3].

Особую роль играют частичные разряды, которые развиваются в дефектных зонах изоляции. В месте деформации обмоток возможно образование очага

с ослабленной изоляцией, который может существовать много лет с интенсивным развитием частичных разрядов, приводящим в конечном итоге к пробое. Частичные разряды являются источниками высокочастотных помех и искажений формы напряжения, ухудшая электромагнитную совместимость в сети.

Важным аспектом является влияние старения изоляции на способность трансформатора демпфировать высшие гармоники. Современные сети характеризуются большим количеством нелинейных нагрузок: источников бесперебойного питания, преобразовательной техники, светодиодного освещения. Эти нагрузки генерируют высшие гармоники тока, которые, протекая через трансформатор, вызывают дополнительные потери и нагрев. Стареющая изоляция с пониженной электрической прочностью становится более чувствительной к воздействию высших гармоник, что может привести к ускоренному пробое.

Скорость относительного износа витковой изоляции зависит не только от нагрузки трансформатора, но и от наличия несимметрии и высших гармонических составляющих тока. Уточненные модели, учитывающие эти факторы, позволяют более точно прогнозировать остаточный ресурс и оценивать его влияние на качество электроэнергии.

Следует также отметить проблему феррорезонансных процессов, которые могут возникать в сетях с изношенными трансформаторами напряжения. Основная причина повреждения трансформаторов напряжения контроля изоляции в сетях 6-35 кВ связана с феррорезонансными явлениями, в результате которых через обмотки проходят токи, многократно превышающие номинальные значения. Такие режимы не только разрушают трансформаторы, но и вызывают глубокие искажения напряжения в сети.

Современные подходы к диагностике трансформаторов включают методы оценки состояния изоляции без отключения оборудования: хроматографический анализ масла, определение фурановых производных, тепловизионное обследование, измерение частотных характеристик диэлектриков. Комплексное применение этих методов позволяет своевременно выявлять дефекты на ранней стадии и прогнозировать их влияние на качество электроэнергии [4].

Практические рекомендации по обеспечению качества электроэнергии при эксплуатации изношенных трансформаторов включают: регулярный мониторинг степени полимеризации изоляции, контроль влагосодержания масла, измерение частичных разрядов, анализ гармонического состава токов и напряжений. Для трансформаторов с высокой степенью износа целесообразно ограничение нагрузочной способности и сокращение интервалов между диагностическими обследованиями.

Перспективным направлением является внедрение систем непрерывного мониторинга состояния трансформаторов. Такие системы позволяют в реальном времени отслеживать температуру обмоток и масла, влагосодержание, параметры частичных разрядов, а также косвенные признаки перегрузки через динамику изменения тангенса угла диэлектрических потерь. Интеграция систем мониторинга с автоматизированными системами управления технологическими

процессами позволяет своевременно корректировать режимы работы сети для предотвращения ухудшения качества электроэнергии [5].

Экономическая эффективность такого подхода подтверждается тем, что стоимость аварийного отключения на подстанции 110 кВ многократно превышает затраты на внедрение систем диагностики и мониторинга.

Таким образом, влияние остаточного ресурса трансформатора на качество электроэнергии проявляется через комплекс взаимосвязанных факторов: ухудшение диэлектрических свойств изоляции, изменение индуктивных параметров, развитие частичных разрядов, снижение демпфирующей способности по отношению к высшим гармоникам. Учет этих факторов необходим при оценке качества электроэнергии в сетях с высокой долей изношенного оборудования, а также при планировании ремонтных воздействий и выборе стратегии технического обслуживания.

Список использованных источников

1. Серебряков А. С. Определение оставшегося ресурса главной изоляции распределительных трансформаторов // *Электротехника*. – 2013. – № 6. – С. 2-8.
2. Водяников В. Т. Анализ динамики роста тарифов на электрическую энергию Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования // *Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина*. – 2012. – № 1 (52). – С. 124-127.
3. Воропай Н.И. Разработка оборудования и систем управления крупных энергетических систем // *Отчет о НИР № 02.527.11. 0004 от 23.06.2008* (Министерство образования и науки РФ).
4. Васин В.П. Оценки выработанного ресурса изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов // *Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*. – 2009. – № 2. – С. 37-41.
5. Вавилова Е.В. Топливо-энергетический комплекс России и его роль в позиционировании страны в системе мирового хозяйства // *Вестник Российского государственного торгово-экономического университета (РГТЭУ)*. – 2008. – №2.

THE EFFECT OF THE REMAINING TRANSFORMER LIFE ON THE QUALITY OF ELECTRICITY

B.A. Valeev, V.S. Basenko

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

The article considers an integrated approach to training specialists to ensure reliable operation of 6-10 kV cable transmission lines. The necessity of developing not only narrow-profile technical competencies among the staff, but also systematic analytical thinking for forecasting and preventing accidents is substantiated.

Keywords: residual resource, quality of electric power, paper-oil insulation, degree of polymerization, dielectric losses.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А.И. Ващенко

*Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия*

В настоящей статье рассматриваются основные подходы к организации технического обслуживания гидравлических прессов, применяемых в различных отраслях промышленности. Особое внимание уделено специфике обслуживания гидравлической системы. Рассмотрены типичные неисправности гидравлических прессов и причины их возникновения, а также предложены рекомендации по внедрению системы мониторинга технического состояния оборудования на основе современных диагностических методов.

Ключевые слова: гидравлический пресс, техническое обслуживание, гидравлическая система, рабочая жидкость, планово-предупредительный ремонт, диагностика, надёжность оборудования.

Гидравлические прессы занимают одно из центральных мест в системе технологического оснащения современных промышленных предприятий. Их широкое применение обусловлено рядом существенных преимуществ, среди которых следует выделить возможность создания значительных усилий при относительно компактных габаритах, плавность регулирования скорости и давления рабочего хода, а также универсальность конструкции, позволяющую адаптировать оборудование к выполнению разнообразных технологических операций [1-5]. Вместе с тем, надёжная и бесперебойная работа гидравлических прессов возможна лишь при условии грамотной организации их технического обслуживания, поскольку сложность гидравлической системы и высокие рабочие давления предъявляют повышенные требования к состоянию всех функциональных элементов оборудования.

В инженерной практике исторически сложились три основные стратегии организации технического обслуживания оборудования, каждая из которых имеет свои характерные особенности, достоинства и ограничения.

Реактивная стратегия, известная также как эксплуатация до отказа, предполагает выполнение ремонтных работ только после того, как произошёл отказ оборудования или обнаружена неисправность, делающая невозможным его дальнейшее использование. Применительно к гидравлическим прессам подобный подход может быть оправдан лишь для отдельных некритичных элементов, замена которых не требует значительных временных и материальных затрат. Использование реактивной стратегии в качестве основного подхода к обслуживанию сложного прессового оборудования недопустимо, поскольку внезапный отказ гидравлической системы, работающей под высоким давлением, способен

привести к серьёзным последствиям, например, от разрушения дорогостоящих комплектующих до аварийных разливов рабочей жидкости и травмирования персонала.

Планово-предупредительная стратегия технического обслуживания, получившая широкое распространение на отечественных промышленных предприятиях ещё в советский период, основана на проведении регламентных работ через заранее установленные интервалы времени или после выработки определённого ресурса. Данная стратегия реализуется посредством системы планово-предупредительных ремонтов, включающей ежедневное обслуживание, периодические осмотры, текущие и капитальные ремонты. Достоинством этого подхода является его системность и предсказуемость, позволяющая заблаговременно планировать потребность в запасных частях, материалах и трудовых ресурсах. Однако существенным недостатком планово-предупредительной системы является то, что межремонтные интервалы устанавливаются на основе усреднённых статистических данных и не учитывают фактическое техническое состояние конкретного экземпляра оборудования. Вследствие этого часть работ выполняется преждевременно, до того, как обслуживаемые элементы выработали свой ресурс, что ведёт к необоснованному увеличению эксплуатационных расходов. В то же время другие элементы могут выйти из строя ранее наступления срока планового обслуживания, если их фактический износ протекал интенсивнее, чем предполагалось нормативами.

Прогнозная стратегия, или обслуживание по фактическому техническому состоянию, представляет собой наиболее современный и экономически эффективный подход, сущность которого заключается в непрерывном или периодическом контроле параметров, характеризующих техническое состояние оборудования, и в выполнении обслуживающих и ремонтных операций только тогда, когда контролируемые параметры приближаются к предельно допустимым значениям. Для реализации данной стратегии применительно к гидравлическим прессам используется комплекс диагностических методов, включающий анализ проб рабочей жидкости, вибрационный контроль, термографическое обследование, измерение внутренних утечек гидроаппаратуры и мониторинг давления в различных точках гидравлической системы. Переход к прогнозному обслуживанию позволяет, с одной стороны, максимально полно использовать ресурс заменяемых элементов, а с другой - заблаговременно выявлять зарождающиеся дефекты и предотвращать внезапные отказы.

Таким образом, техническое обслуживание гидравлических прессов представляет собой комплексную задачу, требующую системного подхода и учёта специфических особенностей как самого оборудования, так и условий его эксплуатации.

Список использованных источников

1. Гребенщиков И.В. Снижение стоимости изделий машиностроительной промышленности путем применения альтернативных методов штамповки //

Евразийское пространство: экономика, право, общество. ГБУН «Юго-Осетинский научно-исследовательский институт». – 2025. – № 11. – С. 44-46.

2. Патент на полезную модель № 215915 U1 Российская Федерация, МПК В21D 26/14. устройство для магнитно-импульсной штамповки: № 2022122710 : заявл. 22.08.2022 : опубл. 09.01.2023 / В.А. Коротков, С.С. Яковлев, А.И. Гасанов, Л. В. Каркач ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тульский государственный университет".

3. Ващенко А.И., Касьянова И.В. Применение ресурсосберегающих экономически эффективных технологий обработки металлов давлением в производстве // Евразийское пространство: экономика, право, общество. ГБУН «Юго-Осетинский научно-исследовательский институт». – 2025. – № 4. – С. 28-30.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688357 Российская Федерация. Программа для расчета технологических параметров гибки листовых заготовок: № 2023687762 : заявл. 11.12.2023 : опубл. 21.12.2023 / Б.С. Яковлев, С.С. Яковлев, П. В. Пугаев, Д. И. Кондаков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет».

5. Шишкина, А.А. Исследование гофрирования трубчатой заготовки при использовании компьютерного моделирования / А.А. Шишкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 12. – С. 473-476.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF MAINTENANCE OF HYDRAULIC PRESSES IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

A.I. Vashchenko

*Tula State University,
Tula, Russia*

This article discusses the main approaches to the organization of maintenance of hydraulic presses used in various industries. Special attention is paid to the specifics of hydraulic system maintenance. Typical malfunctions of hydraulic presses and their causes are considered, and recommendations for the implementation of a system for monitoring the technical condition of equipment based on modern diagnostic methods are proposed.

Keywords: hydraulic press, maintenance, hydraulic system, working fluid, routine maintenance, diagnostics, equipment reliability.

ПЕРЕНОСНЫЕ УСТРОЙСТВА ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ОСМОТРА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

А.Н. Владимиров, А.Н. Шмойлов

*Приволжский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия*

В статье рассмотрена роль переносных устройств магнитного контроля как ключевого фактора повышения надежности осмотра грузовых вагонов. Обоснованы преимущества магнитных методов перед визуальным контролем, позволяющие выявлять усталостные трещины на ранней стадии. Приведена классификация переносных средств с акцентом на их эргономичность, автономность и адаптацию к геометрии вагонных узлов. Показано, что внедрение таких устройств повышает выявляемость дефектов, сокращает время осмотра и минимизирует влияние человеческого фактора. Отмечена необходимость интеграции приборов в цифровые системы документирования результатов контроля.

Ключевые слова: грузовые вагоны, магнитный неразрушающий контроль, переносные дефектоскопы, усталостные трещины, инструментальный осмотр.

В условиях экономических санкций и необходимости обеспечения технологического суверенитета страны, перед предприятиями железнодорожной отрасли остро встает вопрос обновления основных фондов. Эксплуатационные вагонные депо, являясь базовым звеном в системе обеспечения работоспособности вагонов, сталкиваются с невозможностью прямой замены импортного оборудования и высокой стоимостью новых отечественных комплексов. Выходом из сложившейся ситуации становится глубокая модернизация уже имеющегося оборудования с применением прогрессивных технологий.

Современная модернизация перестала быть просто заменой изношенных деталей. Сегодня это комплексный процесс, включающий интеграцию микропроцессорных систем управления и использование технологий, повышающих ремонтпригодность узлов. Такой подход позволяет адаптировать устаревшие станки и стенды под современные требования к ремонту грузовых и пассажирских вагонов без значительных капитальных вложений.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью поиска оптимальных путей обновления производственной базы депо в условиях ограниченных инвестиционных ресурсов [1].

Выявление трещин в боковых рамах грузовых вагонов на пунктах технического обслуживания (ПТО) сопряжено с рядом проблем, которые связаны с техническими, организационными и человеческими факторами.

Проблемы, связанные с условиями осмотра следующие: осмотр часто проводится на открытом воздухе при низких температурах, высокой влажности,

сильном ветре или осадках, что затрудняет визуальное обнаружение дефектов; В тёмное время суток или в плохо освещённых зонах вероятность пропуска трещин возрастает, даже при использовании фонарей; большой объём работы и необходимость быстро осматривать множество вагонов снижают внимательность и повышают риск пропуска дефектов; визуальный осмотр зависит от личного опыта и внимательности работника; усталость, монотонность работы, стресс могут снижать концентрацию внимания и точность осмотра [2].

В работе были проанализированы особенности конструкции и эксплуатации грузовых вагонов. Трещины чаще всего образуются в зонах повышенного напряжения: в буксовом проёме (особенно в радиусе R-55), в наружных углах буксового проёма, в вертикальном и верхнем поясах боковины, в технологическом окне. Эти зоны требуют особого внимания, но их осмотр технически сложен. Пик выявления изломов боковых рам приходится на период с октября по март, что связано с низкими температурами, увеличивающими хрупкость металла.

Для повышения эффективности выявления трещин необходимо комбинировать совершенствование методов контроля, повышение квалификации персонала, улучшение условий осмотра и внедрение автоматизированных систем диагностики.

Основной проблемой визуального осмотра является его субъективность. Трещины в элементах тележек (боковые рамы, надрессорные балки), колесных парах и автосцепке на начальной стадии имеют размер раскрытия менее 0,1 мм и часто скрыты под слоем краски, продуктов коррозии или в зонах концентраторов напряжений.

Магнитные методы основаны на анализе полей рассеяния. При намагничивании ферромагнитной детали в зоне нарушения сплошности металла (трещины) магнитные силовые линии выходят за пределы детали, образуя поле рассеяния. Задача переносного устройства – зафиксировать это поле и визуализировать его для оператора.

С точки зрения повышения надежности осмотра, переход к магнитным методам означает смену парадигмы: вместо поиска видимого дефекта глазом, оператор выявляет аномалию магнитного потока, что позволяет детектировать усталостные трещины на стадии их зарождения, когда длина трещины составляет 5–10 мм, а визуально она еще не различна [3].

Эффективность применения переносных устройств напрямую зависит от их эргономичности. Традиционная магнитопорошковая дефектоскопия требует громоздких источников питания, большого количества расходных материалов (магнитный порошок, масло, бензин) и трудозатрат на подготовку поверхности.

Современные переносные магнитные устройства решают следующие эргономические задачи, повышающие общую надежность осмотра:

- использование аккумуляторных батарей большой емкости (до 8-12 часов непрерывной работы) позволяет проводить осмотр в полевых условиях;

– отсутствие необходимости в зачистке поверхности «до металла» (допускается легкая зачистка от рыхлой окалины). Это снижает трудоемкость и исключает риск механического повреждения детали при подготовке;

– специализированные накладные датчики (сканеры), повторяющие форму гребня колеса, радиуса галтели оси или ребер жесткости боковой рамы, позволяют контролировать труднодоступные места, где возникает до 70% усталостных трещин.

Повышение надежности осмотра невозможно без методической базы. Внедрение переносных магнитных устройств требует корректировки технологических процессов технического обслуживания вагонов.

Ключевым аспектом является переход от «осмотра» к «инструментальному контролю». Если при визуальном осмотре ответственность за пропуск дефекта лежит исключительно на квалификации осмотрщика, то при использовании сертифицированных магнитных дефектоскопов с функцией регистрации, ответственность распределяется между оператором и объективными данными прибора.

Переносные устройства выявления трещин, функционирующие на основе магнитных методов контроля, сегодня являются не просто вспомогательным инструментом, а ключевым элементом системы обеспечения надежности грузовых вагонов.

Дальнейшее развитие данного направления должно идти по пути интеграции этих устройств в единые цифровые системы (АСК ПС), где результаты замеров в режиме реального времени будут передаваться на автоматизированные рабочие места (АРМ) осмотрщиков и операторов ПТО, формируя цифровой паспорт надежности грузового вагона.

Список использованных источников

1. Иванцов Д.П. Особенности технического осмотра грузовых вагонов // Молодежный научный форум: сборник статей по материалам ССLXX студенческой международной научно-практической конференции (Москва, 17 октября 2024 года). – Москва: Международный центр науки и образования, 2024. – С. 16–18. – EDN: OQKJIY.

2. Баятин В.Н. Особенности технического осмотра грузовых вагонов // Молодежный научный форум: сборник статей по материалам СССXIV студенческой международной научно-практической конференции (Москва, 25 сентября 2025 года). – Москва: Международный центр науки и образования, 2025. – С. 16–18. – EDN: SSEHPK.

3. Чернова А.В., Николаев Ю.Л., Шкатов П.Н., Прилепко М.Ю. Обнаружение и исследование аномалий магнитных полей над поверхностными дефектами сложнопрофильных деталей // Измерительная техника. – 2021. – № 10. С. 46–52. – EDN: FBKDFB.

PORTABLE CRACK DETECTION DEVICES AS A TOOL FOR INCREASING THE RELIABILITY OF CRANKAGE OF FREIGHT CARRIAGES

A.N. Vladimirov, A.N. Shmoilov

*Volga State Transport University,
Samara, Russia*

The article discusses the role of portable magnetic inspection devices as a key factor in improving the reliability of freight car inspections. It highlights the advantages of magnetic methods over visual inspection, which allow for the early detection of fatigue cracks. The article provides a classification of portable devices, emphasizing their ergonomics, autonomy, and adaptability to the geometry of car components. It demonstrates that the use of such devices enhances the detection of defects, reduces inspection time, and minimizes the impact of human error. The article also highlights the need for integrating these devices into digital systems for documenting inspection results.

Keywords: freight cars, magnetic non-destructive testing, portable flaw detectors, fatigue cracks, instrumental inspection.

УДК 656.1.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСИММЕТРИЧНОЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ РОДСТЕРА

A.A. Войнов, В.В. Мокшанцев

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье рассматривается разработка асимметричной пневматической подвески для заднеприводного родстера на базе ВАЗ-2101. Проведен анализ характеристик штатной пружинной подвески, выявлены недостатки, связанные с изменением плавности хода при разных вариантах загрузки. На основе расчета нагрузок предложена конструкция модернизированной подвески с пневморессорой на правом колесе и штатной пружиной на левом. Определены конструктивные параметры пневмоэлемента и диапазон рабочих давлений. Даны практические рекомендации по проектированию, позволяющие стабилизировать характеристики подвески и повысить комфорт водителя при переменной загрузке.

Ключевые слова: автомобильная подвеска, пневморессора, асимметричная подвеска, плавность хода, статический прогиб, частота колебаний.

При проектировании лёгких спортивных автомобилей типа родстер особое значение имеет обеспечение оптимальных характеристик подвески при различных режимах загрузки [3]. Основными параметрами, характеризующими работу подвески, являются статический прогиб и частота собственных колебаний подрессоренной массы [3, 4].

Особенностью рассматриваемого автомобиля является малый размер колесной базы и расположение водителя и пассажира непосредственно над задней осью, что приводит к существенному изменению распределения нагрузок на задние колеса при различных вариантах загрузки.

При частичной загрузке возникает значительная асимметрия распределения массы между левым и правым колесом, что приводит к ухудшению плавности хода и изменению динамических характеристик подвески [4].

Подвески с линейной характеристикой жёсткости обладают недостатком – при уменьшении нагрузки их частота собственных колебаний возрастает, что повышает жёсткость и снижает комфорт движения [1, 3]. Эффективным способом регулирования характеристик подвески является применение пневматических упругих элементов, позволяющих изменять жёсткость системы путём регулирования давления воздуха [1].

Пневматические подвески широко применяются в современных транспортных средствах благодаря возможности регулирования жёсткости и высоты кузова [5].

Предлагается модернизация задней подвески родстера путём применения асимметричной схемы подвески, при которой с левой стороны устанавливается штатная пружина, а с правой стороны устанавливается пневматический упругий элемент (рис. 1).

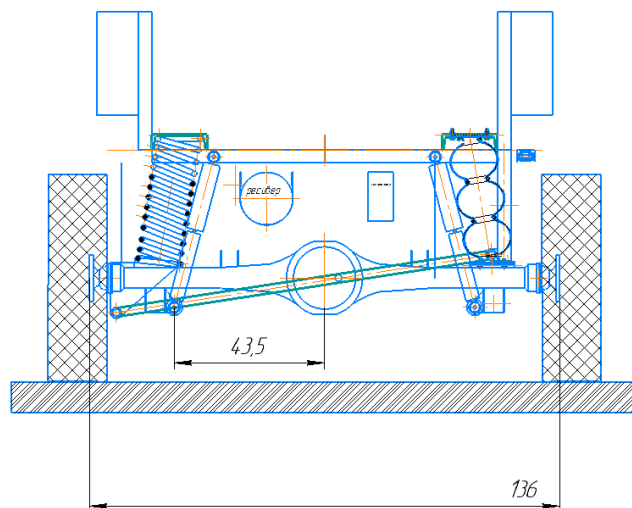


Рисунок 1 – Родстер с асимметричной подвеской

Такая конструкция позволяет компенсировать неравномерность распределения нагрузки между колесами и уменьшить изменение характеристик подвески при различных режимах эксплуатации.

В качестве пневматического элемента используется баллонная пневморессора промышленного типа, параметры которой выбраны на основе технических характеристик серийных изделий [6].

Для оценки эффективности предлагаемого решения первоначально был выполнен расчёт характеристик базовой пружинной подвески.

Жёсткость одной пружины задней подвески автомобиля ВАЗ-2101 принимается: $c=18,9$ Н/мм. Суммарная жёсткость подвески задней оси $C=2$

Подставляя значения, получаем:

$$C_{ось}=2 \cdot 18,9=37,8 \text{ Н/мм}$$

Статический прогиб подвески определяется по формуле

$$f = \frac{G}{C}$$

где G – нагрузка на подвеску;

C – жёсткость упругого элемента.

Нагрузка на заднюю ось при частичной загрузке:

$$f = \frac{G}{C} = \frac{2354}{37,8} = 62,3 \text{ мм}$$

Нагрузка на заднюю ось при частичной загрузке:

$$f = \frac{G}{C} = \frac{3090}{37,8} = 81,7 \text{ мм}$$

Нагрузка на заднюю ось при полной загрузке:

$$f = \frac{G}{C} = \frac{3238}{37,8} = 85,7 \text{ мм}$$

Частота собственных колебаний подвески определяется выражением

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m}}$$

где C – жёсткость подвески.

m – подрессоренная масса в килограммах

Жёсткость переводим в систему СИ: $37,8$ Н/мм = 37800 Н/м

Частичная загрузка при подрессоренной массе $m = 235$ кг:

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{37800}{235}} = 2 \text{ Гц}$$

Средняя загрузка при подрессоренной массе $m = 309$ кг:

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{37800}{309}} = 1,76 \text{ Гц}$$

Полная загрузка при подрессоренной массе $m = 324$ кг:

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{37800}{324}} = 1,72 \text{ Гц}$$

Данные зависимости широко применяются при расчёте систем подпрессоривания автомобилей [3].

Полученные значения показывают, что при частичной загрузке частота колебаний превышает оптимальный диапазон, что свидетельствует о повышенной жёсткости подвески.

Жёсткость пневматического упругого элемента определяется зависимостью

$$C = \frac{pA^2}{V}$$

где p – давление воздуха;

A – эффективная площадь;

V – объём пневматического элемента.

Подобные зависимости применяются при расчёте пневматических подвесок транспортных средств [1].

Для проектируемой подвески выбрана пневморессора промышленного типа с параметрами, соответствующими серийным изделиям фирмы Firestone [6].

Объём пневморессоры и эффективную площадь переведем в систему СИ:

$$A = 80 \text{ см}^2 = 0,008 \text{ м}^2$$

$$V = 1200 \text{ см}^3 = 0,0012 \text{ м}^3$$

Требуемая жесткость для частичной загрузки ($p = 175000 \text{ Па}$):

$$C = \frac{pA^2}{V} = \frac{175000 \cdot (0,008)^2}{0,0012} = 9,33 \text{ Н/мм}$$

Требуемая жесткость для средней загрузки ($p = 205000 \text{ Па}$):

$$C = \frac{pA^2}{V} = \frac{205000 \cdot (0,008)^2}{0,0012} = 10,93 \text{ Н/мм}$$

Требуемая жесткость для полной загрузки ($p = 218000 \text{ Па}$):

$$C = \frac{pA^2}{V} = \frac{218000 \cdot (0,008)^2}{0,0012} = 11,63 \text{ Н/мм}$$

Расчёт параметров асимметричной подвески

В модернизированной конструкции подвески: правая сторона – пневморессора, левая сторона – пружина

Жёсткость пружины $C_{\text{пруж}} = 18,9 \text{ Н/мм}$

Суммарная жёсткость подвески определяется, как: $C_{\text{сум}} = C_{\text{пруж}} + C_{\text{пневм}}$

При частичной загрузке $C_{\text{сум}} = 18,9 + 9,33 = 28,23 \text{ Н/мм}$.

При средней загрузке $C_{\text{сум}} = 18,9 + 10,93 = 29,83 \text{ Н/мм}$.

При полной загрузке $C_{\text{сум}} = 18,9 + 11,63 = 30,53 \text{ Н/мм}$.

С учетом приведенных данных можно посчитать статистический прогиб асимметричной подвески:

$$\text{При частичной загрузке } f = \frac{G}{C} = \frac{2354}{28,23} = 83,4 \text{ мм}$$

При средней загрузке $f = \frac{G}{C} = \frac{3090}{29,83} = 103,6 \text{ мм}$

При полной загрузке $f = \frac{G}{C} = \frac{3238}{30,53} = 106,1 \text{ мм}$

Схематичная работа задней подвески Родстера в трех положениях (рис. 2)

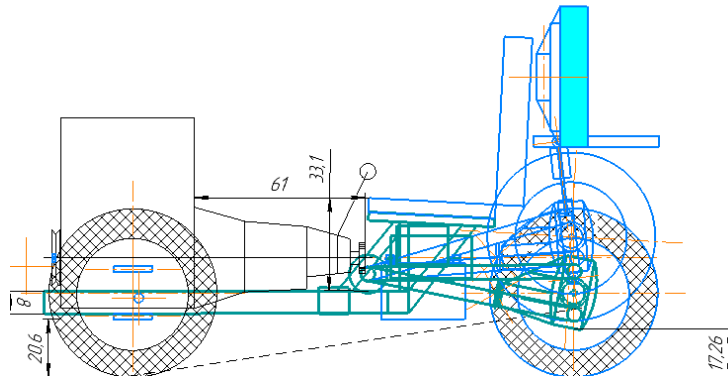


Рисунок 2 – Прогиб задней подвески Родстера

Расчёт параметров амортизаторов

Для подвески используются газомасляные амортизаторы КУВ 343098 (рис.

3)



Рисунок 3 – КУВ 343098

Коэффициент демпфирования определяется выражением $K = 2\zeta\sqrt{Cm}$

где ζ – коэффициент демпфирования (0.25–0.35);

C – жёсткость подвески;

m – поддрессоренная масса

Примем $\zeta=0.3$ и рассчитаем параметры амортизаторов в трех положениях загрузки:

Для частичной загрузки:

$$K = 2\zeta\sqrt{Cm} = K = 2 \cdot 0.3 \cdot \sqrt{28230 \cdot 235} = 1545 \text{ Н}$$

Для средней загрузки:

$$K = 2\zeta\sqrt{Cm} = K = 2 \cdot 0.3 \cdot \sqrt{29830 \cdot 309} = 1821 \text{ Н}$$

Для полной загрузки:

$$K = 2\zeta\sqrt{Cm} = K = 2 \cdot 0.3 \cdot \sqrt{30530 \cdot 324} = 1887 \text{ Н}$$

Требуемый коэффициент демпфирования амортизаторов находится в диапазоне 1500–1900 Н, что соответствует характеристикам серийных газомасляных амортизаторов КУВ. Это подтверждает возможность применения выбранной модели амортизатора в проектируемой подвеске.

Проведенные расчеты показали, что применение асимметричной подвески с пневморессорой на водительской стороне позволяет существенно улучшить характеристики плавности хода. При частичной загрузке статический прогиб увеличился с 62,3 до 75 мм, что соответствует росту на 19 %. Частота собственных колебаний снизилась с 2 до 1,82 Гц, что приближает параметры подвески к оптимальному диапазону. Кроме того, диапазон изменения прогиба при изменении загрузки уменьшился с 17,3 до 7 мм, что свидетельствует о стабилизации характеристик подвески.

Список использованных источников

1. Певзнер, Я. М., Горелик, А. М. Пневматические и гидропневматические подвески: справочно-учебное пособие. – Москва: Машгиз, 1963. – 319 с.
2. Ролле, В. Е., Красильников, А. А. Конструирование и расчёт автомобилей и тракторов. Расчёт амортизаторов подвески АТС: выставочные материалы. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 96 с. – ISBN 978-5-7422-3896-6.
3. Новиков, В. В., Чернышов, К. В., Поздеев, А. В. Расчёт систем поддрессирования автотранспортных средств: учебник. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 316 с. – ISBN 978-5-9729-1833-1.
4. Рейзина, Г. Н., Коробко, Е. В. Оценка мощности, затрачиваемой на колебания, при движении автомобиля // Грузовик &. – 2013. – № 8. – С. 41–43. – ISSN 1684-1298.
5. Патент № RU 2756139 С1 Российская Федерация, МПК F16F 9/04. Комбинированная система пневмоподушек. – 2021.
6. Firestone Industrial Products. Air Spring - 1 Solid Sleeve - 1T - Reversible Sleeve - 1T15M-2: технический каталог [Электронный ресурс] / Traction Truck Parts. – Режим доступа: <https://www.traction.com/en/p/air-spring-1-solid-sleeve-1t-reversible-sleeve-1t15m-2-firw01-358-8204> (дата обращения: 12.03.2026).
7. KYB Corporation. Амортизаторы для ВАЗ 2101-2107, НИВА. Рекомендации по сериям [Электронный ресурс] / КУВ Украина. – Режим доступа: <https://kyb.com.ua/novye-amortizatory-kyb/амортизаторы-ваз-2101-2107-нива> (дата обращения: 12.03.2026).
8. KYB Europe. KYB Excel-G Shock Absorber 343098: техническая спецификация [Электронный ресурс] / Demon Tweaks. – Режим доступа: <https://www.demon-tweaks.com/jp/kyb-excel-g-shock-absorber-kyb343098/> (дата обращения: 12.03.2026).

DESIGN OF AN ASYMMETRIC PNEUMATIC SUSPENSION FOR A ROADSTER

A.A. Voynov, V.V. Mokshantsev

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article discusses the development of an asymmetric rear suspension for a short-wheelbase roadster built on the basis of the VAZ-2101 vehicle units. An analysis of the characteristics of the standard spring suspension was carried out, and shortcomings related to changes in ride smoothness under different loading conditions were identified. Based on load calculations, a design for a modernized suspension is proposed, featuring a pneumatic spring element on the right side and a standard spring on the left side. The design parameters of the air spring and the operating pressure range were determined. Practical design recommendations are provided to stabilize suspension characteristics and improve driver comfort under variable load conditions.

Keywords: automotive suspension, air spring, asymmetric suspension, ride smoothness, static deflection, oscillation frequency.

УДК 629.027

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДКАЧКИ ШИН: ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ НА АВТОМОБИЛЯХ LADA С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ПРИВОДА

A.A. Войнов, Я.А. Миронов, Р.А. Улитин

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье рассматриваются современные системы автоподкачки шин, их конструкция и принципы работы. Выявлены недостатки, ограничивающие их применение на легковых авто. На основе анализа особенностей переднеприводных и полноприводных автомобилей Lada предложены пути адаптации системы для каждой компоновки. Даны практические рекомендации по проектированию и интеграции.

Ключевые слова: автоматическая подкачка шин, CTIS, система регулирования давления, передний привод, полный привод, Lada.

Поддержание оптимального давления в шинах является одним из ключевых факторов, определяющих безопасность, топливную экономичность и ресурс автомобильных шин. Снижение давления даже на 0,2 атмосферы от номинального значения ведет к росту сопротивления качению, увеличению расхода

топлива до 2,8%, ухудшению управляемости и неравномерному износу протектора [1]. Однако, как показывает практика, большинство водителей редко контролируют давление визуально, полагаясь на сезонные проверки.

Особую актуальность проблема приобретает для внедорожников, эксплуатируемых в условиях бездорожья. Снижение давления в шинах на песке, снегу или размокшей глине позволяет увеличить пятно контакта и кардинально повысить проходимость. Традиционно эта операция выполняется вручную с помощью компрессора и манометра, что требует времени и физических усилий [2].

Системы автоматической подкачки шин, изначально разработанные для военной и сельскохозяйственной техники, позволяют решить эту проблему, обеспечивая возможность изменения давления в шинах непосредственно во время движения без выхода водителя из кабины [2]. В данной статье проводится анализ возможности адаптации таких систем для автомобилей Lada с различными типами привода, рассматриваются конструктивные особенности и технические решения.

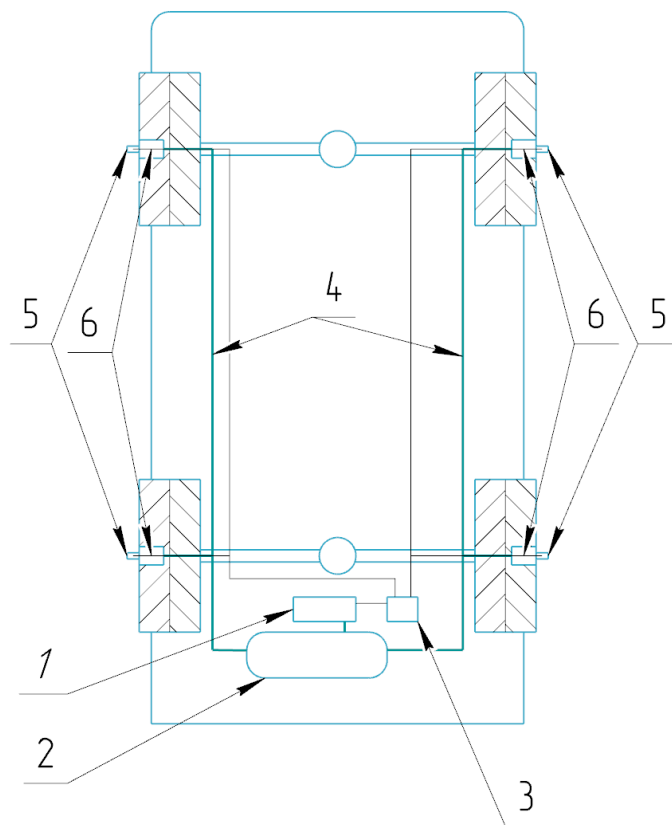


Рисунок 1 – Система автоматической подкачки шин

1. Система автоматической подкачки шин (рисунок 1) представляет собой комплекс устройств, обеспечивающих автоматическое поддержание заданного давления в шинах и его изменение по команде водителя или автоматически в зависимости от дорожных условий [3]. Типовая структура системы включает в себя компрессор 1, создающий запас сжатого воздуха производительностью не менее 50-60 литров в минуту при рабочем давлении 8-10 атмосфер. Для

снижения частоты включения компрессора и обеспечения быстрой накачки колес применяется ресивер 2 – накопительная емкость объемом 5-10 литров [2].

Управление работой системы осуществляет электронный блок управления 3 – программируемый контроллер, обрабатывающий сигналы от датчиков и управляющий исполнительными механизмами [3]. Распределение потока воздуха по трубопроводам 4 к колесам и сброс давления при необходимости обеспечивает пневмоблок с электромагнитными клапанами 5. Для непрерывного мониторинга давления в каждом колесе устанавливаются датчики давления с точностью измерения $\pm 0,1$ атмосферы [4].

Наиболее сложным узлом системы являются вращающиеся соединения 6, обеспечивающие передачу воздуха от неподвижных элементов подвески к вращающимся колесам. Именно этот элемент во многом определяет возможность практической реализации системы на легковом автомобиле [5].

1.1 Вращающееся соединение работает по принципу использования системы уплотнений, создающих герметичную кольцевую камеру вокруг вращающегося вала. В ступицу встраивается специальная втулка с двумя рядами высокоточных манжет. Между рядами уплотнений выполняется кольцевая проточка, в которую по радиальному каналу подается сжатый воздух. Из этой камеры воздух через отверстия в ступице и колесном диске поступает в шину [4].

К вращающемуся соединению предъявляется ряд жестких требований. Оно должно сохранять герметичность при частоте вращения до 1500 оборотов в минуту, что соответствует скорости 160-180 километров в час. Работоспособность должна обеспечиваться в диапазоне температур от минус 40 до плюс 120 градусов Цельсия. Конструкция обязана быть устойчивой к вибрационным и ударным нагрузкам, а ресурс должен составлять не менее 100 тысяч километров пробега [5].

В индийском исследовании 2018 года особое внимание уделяется вибрационному анализу вращающегося соединения. Авторы доказали, что собственная частота вращения системы «вал – вращающееся соединение» должна всегда превышать максимальную угловую скорость вращения колеса, в противном случае возникающий резонанс приведет к разрушению вала [1].

1.2 Анализ литературных источников позволяет выделить следующие преимущества систем автоматической подкачки шин. Прежде всего, это автоматическое поддержание оптимального давления, полностью исключая человеческий фактор. Достигается экономия топлива до 2,8% за счет снижения сопротивления качению, а ресурс шин увеличивается на 15-20% благодаря равномерному износу [2]. При движении по песку и снегу проходимость повышается на 30-40% за счет увеличения площади пятна контакта. Система также позволяет своевременно обнаруживать медленный спуск колеса [4].

Основными недостатками, ограничивающими массовое внедрение систем на легковых автомобилях, являются высокая стоимость компонентов, особенно вращающихся соединений, сложность монтажа, необходимость точной настройки и калибровки, а также потенциальное снижение надежности при эксплуатации в тяжелых условиях [5].

2. Автомобили Lada на сегодняшний день не оснащаются системами автоматической подкачки шин. Более того, даже базовые датчики давления в шинах доступны только для ограниченного числа комплектаций и в основном как опция [6].

Анализ технической документации показывает, что переднеприводные модели, включая Lada Vesta, Granta и XRAY, оснащаются современными системами активной безопасности: ABS, ESP, противобуксовочной системой TCS. Однако контроль давления остается зоной ответственности водителя. В максимальных комплектациях Люкс предусмотрена установка литых дисков диаметром 16-17 дюймов, но мониторинг давления в них отсутствует [7].

Для полноприводные внедорожников Lada Niva Legend и Lada Niva Travel ситуация аналогична. При этом именно эти автомобили наиболее нуждаются в возможности оперативного изменения давления, так как регулярно эксплуатируются в условиях бездорожья [7].

2.1 Переднеприводные автомобили Lada имеют следующую конструкцию. Передняя подвеска выполнена по независимой схеме типа Макферсон. Задняя подвеска – полунезависимая, с торсионной балкой. Силовой агрегат расположен поперечно [7].

Подвод воздуха к передним колесам сопряжен с наибольшими сложностями. Требуется обеспечить герметичность вращающегося соединения при одновременном вращении и повороте колеса. Углы поворота передних колес Lada Vesta достигают 35-38 градусов, что создает дополнительные нагрузки на уплотнения. Кроме того, пространство в колесной арке ограничено, и любые дополнительные элементы могут контактировать с элементами подвески или кузова при максимальном вывороте.

Задняя ось переднеприводных моделей представляет собой полунезависимую балку, не содержащую вращающихся элементов. Это создает иную проблему: необходимо подвести воздух к вращающимся ступицам, расположенным на концах неподвижной балки. Требуется либо прокладка магистралей внутри балки, что технически сложно, либо использование роторных муфт, встроенных непосредственно в ступичный узел [5].

2.2 Полноприводные автомобили Lada, к которым относятся Niva Legend, Niva Travel, а также классические модели, имеют принципиально иную конструкцию. Передняя подвеска здесь независимая, на поперечных рычагах. Задняя подвеска – зависимая, с неразрезным мостом. Силовой агрегат расположен продольно [7].

Для задних колес полноприводных моделей решение значительно проще. Воздушная магистраль из стальной трубки диаметром 8 миллиметров крепится вдоль балки моста штатными хомутами. В месте перехода на кузов устанавливается гибкий армированный шланг в защитной оплетке. На фланцах полуосей монтируются вращающиеся соединения упрощенной конструкции, обеспечивающие только вращение без поворота. Для защиты от грязи соединения закрываются гофрированными пыльниками [4].

Однако передние колеса остаются поворотными, поэтому проблема подвода воздуха к ним сохраняется в полном объеме. Более того, условия эксплуатации Niva, включающие грязь, воду, песок и удары, предъявляют повышенные требования к защите вращающихся соединений. Уплотнения должны быть выполнены из специальных грязестойких материалов и иметь дополнительную защиту в виде пыльников [5].

3. На основе анализа существующих технических решений и конструктивных особенностей автомобилей Lada предлагается следующая архитектура системы автоматической подкачки шин. Для всех моделей рекомендуется использовать поршневой компрессор производительностью 50-60 литров в минуту с рабочим давлением 10 атмосфер и напряжением питания 12 вольт. В качестве ресивера применяется емкость объемом 5-10 литров из нержавеющей стали или алюминия, оборудованная дренажным клапаном для слива конденсата. Ресивер устанавливается в моторном отсеке или под днищем в защищенном месте [3].

Блок управления может быть выполнен на базе программируемого контроллера или готового решения известных производителей. Для Lada Vesta возможна интеграция с CAN-шиной для получения информации о скорости и режимах движения [6]. Электромагнитные клапаны применяются нормально закрытые, с ручным дублером на случай отказа электроники (рисунок 2). Датчики давления используются беспроводные, работающие на частоте 433 МГц, с возможностью программирования порогов срабатывания. Вращающиеся соединения изготавливаются индивидуально под конкретную модель автомобиля [5].



Рисунок 2 – Электромагнитные клапаны нормально закрытые, с ручным дублером

3.1 Конструкция вращающегося соединения для передних колес должна учитывать ряд параметров. Посадочный диаметр ступицы составляет 60-75 миллиметров в зависимости от модели. Максимальная частота вращения достигает 1400-1500 оборотов в минуту, а угол поворота – 35-40 градусов. Рабочее

давление должно выдерживаться до 10 атмосфер при температуре эксплуатации от минус 40 до плюс 120 градусов Цельсия [5].

Предлагаемая конструкция включает в себя корпус из высокопрочной стали, запрессовываемый в ступицу. В корпусе устанавливаются два ряда уплотнений из фторопласта с пружинным поджимом, образующих кольцевую камеру. Радиальный канал обеспечивает подвод воздуха от неподвижного штуцера. Защитный пыльник предотвращает попадание грязи [4].

3.2 Система должна функционировать в нескольких основных режимах. В режиме автоматической компенсации утечек датчики давления непрерывно измеряют давление в каждом колесе. При падении давления ниже установленного порога, например на 0,2 атмосферы от номинала, электронный блок управления открывает соответствующий клапан и включает компрессор. Воздух из ресивера поступает в колесо до восстановления заданного давления, после чего клапан закрывается и компрессор отключается [2].

Режим ручного управления позволяет водителю с помощью кнопок на панели выбирать один из предустановленных режимов. Режим «Трасса» устанавливает давление 2,2 атмосферы спереди и 2,0 атмосферы сзади. Режим «Грунтовка» поддерживает 1,8 атмосферы на всех колесах. Режим «Песок или Снег» снижает давление до 1,0-1,2 атмосферы. Режим «Экстренное травление» обеспечивает быстрое снижение давления до 0,8 атмосферы для выезда из особо сложной ситуации. Система автоматически стравливает или накачивает все колеса до заданных значений [2].

В аварийном режиме, в случае отказа электроники, предусмотрена возможность ручного открытия клапанов для аварийного сброса давления или подкачки от внешнего источника [3].

3.3 Для шин размерностью 205/70R15, используемых на Niva, или 205/50R17, применяемых на Vesta, объем внутренней полости составляет примерно 35-40 литров. Для изменения давления с 1,0 до 2,0 атмосфер необходимо закачать дополнительно около 35-40 литров воздуха при нормальных условиях [7].

При производительности компрессора 50 литров в минуту время накачки одного колеса составит примерно 48 секунд. Накачка всех четырех колес с 1,0 до 2,0 атмосфер займет около 3,2 минуты, что является приемлемым для эксплуатации показателем. Для обеспечения быстрой накачки рекомендуется использовать ресивер объемом не менее 10 литров. При давлении в ресивере 10 атмосфер запасенного воздуха достаточно для подкачки двух колес с 1,0 до 2,0 атмосфер без включения компрессора [3].

4. При сравнении сложности установки системы автоматической подкачки шин на различные модели Lada выявляются существенные различия. Подвод воздуха к задним колесам на переднеприводных моделях Vesta и Granta является сложной задачей из-за наличия балки, не имеющей вращающихся элементов. На полноприводных моделях Niva Legend и Niva Travel эта задача решается относительно просто благодаря неразрезному мосту [4].

Подвод воздуха к передним колесам на всех моделях остается сложной задачей, требующей применения высококачественных вращающихся соединений. При этом для переднеприводных моделей, эксплуатируемых преимущественно в городских условиях, требования к защите от внешних воздействий оцениваются как средние. Для внедорожников Niva, работающих в условиях бездорожья, воды и грязи, требования к защите многократно возрастают [2].

Интеграция с электроникой на Lada Vesta возможна через CAN-шину, что позволяет получать информацию о скорости и режимах движения. Для остальных моделей требуется установка автономного блока управления [6].

4.1 Для переднеприводных моделей, таких как Vesta и Granta, установка системы автоматической подкачки шин является скорее элементом престижа и комфорта. Экономия топлива и увеличение ресурса шин, безусловно, важны, но вряд ли окупят затраты на установку в разумный срок. Такая система может быть интересна энтузиастам, которые ценят техническое совершенство и готовы инвестировать в комфорт [1].

Для полноприводных внедорожников Niva система автоматической подкачки шин представляет собой функционально необходимую систему. Возможность изменения давления на ходу кардинально повышает проходимость на сложных покрытиях. Для охотников, рыболовов, геологов и всех, кто регулярно выезжает на бездорожье, такая система может стать не роскошью, а инструментом, повышающим эффективность и безопасность [2].

Ориентировочная стоимость компонентов для переднеприводных моделей составляет 70-100 тысяч рублей, для полноприводных – 60-80 тысяч рублей [3].

Проведенное исследование показало, что системы автоматической подкачки шин являются эффективным средством повышения безопасности, топливной экономичности и проходимости автомобилей. Ключевым конструктивным элементом системы является вращающееся соединение, проектирование которого требует учета вибрационных нагрузок.

Список использованных источников

1. Разработка автоматизированной системы адаптации колесного движителя автомобилей и тракторов к почвенно-климатическим условиям: институт механики и энергетики имени в. П. Горячкина. – 2023. – сб. – [Электронный ресурс] – <https://elib.timacad.ru/dl/full/sbG-05-2023.pdf/en/info>
2. Анализ перспективных конструкций систем централизованной подкачки шин на примере патентов мировых производителей. Лещинский Д.Ю., Смирнов А.А., Ягубова Е.В. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – М.: МГТУ им. Баумана, 2013. – [Электронный ресурс]. – <https://engjournal.bmstu.ru/articles/1123/html/files/assets/basic-html/page1.html>
3. Разработка автоматизированной системы адаптации к почвенным условиям // РГАУ-МСХА. – 2023. – [Электронный ресурс]. – <https://elib.timacad.ru/dl/full/sbG-05-2023.pdf/view>

4. Патент US 12,485,709 B2 (Airdown, Inc.). Wheel end assembly for central tire inflation system. – 2025. – [Электронный ресурс]. – <https://patentsgazette.uspto.gov/week48/OG/html/1541-1/US12485709-20251202.html>

5. Автоматическая система регулирования давления воздуха в пневматических шинах колесных транспортных средств: пат. RU2589764C1 – 2015 – [Электронный ресурс]. – <https://patents.google.com/patent/RU2589764C1/ru>

6. Lada Vesta: Руководство по эксплуатации. – Тольятти: АВТОВАЗ, 2023. – 340 с. – [Электронный ресурс]. – <http://almarka.ru/lada-vesta-rukovodstvo-projekspluatacii-avtomobilja-i-ego-modifikacij-2023-g/>

7. Губарев А.В., Никифоров С.С. Конструкция автомобилей: конспект лекций. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – Ч. 1. – 107 с. – [Электронный ресурс]. – <https://files.student-it.ru/previewfile/145385>

AUTOMATIC TIRE INFLATION SYSTEMS: PROSPECTS OF INTEGRATION ON LADA VEHICLES WITH DIFFERENT DRIVE TYPES

A.A. Woiniov, Y.A. Mironov, R.A. Ulitin

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article discusses modern automatic tire inflation systems, their design and operating principles. Disadvantages limiting their application on passenger cars are identified. Based on the analysis of features of front-wheel drive and four-wheel drive Lada vehicles, ways to adapt the system for each layout are proposed. Practical recommendations for design and integration are given.

Keywords: automatic tire inflation, CTIS, tire pressure control system, front-wheel drive, four-wheel drive, Lada.

УДК 62-521

АВТОМОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ ПРИЦЕПА: КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

А.А. Волков, Д.С. Шишлов, Д.В. Беляков, А.А. Бутенко, Е.Е. Кузнецов

*Дальневосточный государственный аграрный университет,
г. Благовещенск, Россия*

В статье рассматриваются современные системы управления поворотом колес прицепа, применяемые в автопоездах. Проведена классификация известных решений по принципу действия (пассивные, принудительные, активные),

проанализированы их конструктивные особенности, преимущества и недостатки. Особое внимание уделено электронным системам управления, обеспечивающим повышение устойчивости и маневренности автопоездов. Представлены тенденции развития рассматриваемых устройств и конструкций, включая интеграцию с системами активной безопасности и адаптацию к условиям городской логистики.

Ключевые слова: автопоезд, управляемая ось прицепа, система подруливания, маневренность, устойчивость движения, электронное управление, эффективность.

Современные тенденции развития автомобильных перевозок характеризуются увеличением габаритных размеров автопоездов и ужесточением требований к их маневренности, особенно при движении в условиях плотной городской застройки. Длинномерные автопоезда, обладая высокой грузоподъемностью, сталкиваются с проблемой ограниченной маневренности, такими как увеличенный радиус поворота, «срезание» углов при прохождении перекрестков, сложность движения задним ходом.

Решение этих проблем возможно путем применения управляемых осей на прицепах и полуприцепах. Системы подруливания колес прицепа позволяют существенно улучшить маневренность автопоезда, снизить износ шин и повысить безопасность движения. В связи с чем, целью предлагаемой работы является проведение исследования современных конструкций систем управления поворотом прицепа в движении, их классификация и определение перспективных и малозатратных направлений развития.

Анализ технической литературы и патентных источников [1,3-5] позволяет выделить три основных типа систем управления поворотом колес агрегируемого прицепа:

1. Пассивные системы

Пассивные системы, также называемые самоустанавливающимися или самоподруливающими, являются наиболее простыми по конструкции. В таких системах колеса прицепа поворачиваются под действием сил, возникающих при движении автопоезда в повороте.

Конструктивно самоустанавливающаяся ось имеет специальные шкворневые узлы, позволяющие колесам отклоняться от нейтрального положения под действием боковых сил. При движении по прямой, управляющая колёсная ось удерживается в нейтральном положении за счет стабилизирующего момента, создаваемого качением колес или специальными возвратными пружинами.

Преимущества пассивных систем:

- простота конструкции, надёжность и низкая стоимость;
- отсутствие дополнительных энергозатрат или механизмов для осуществления подруливания;
- минимальное техническое обслуживание.

Недостатки:

- запаздывание реакции доворачивания при входе в поворот;

- склонность к колебаниям («вилянию») при движении на высокой скорости (особенно при пустом прицепе);
- необходимость принудительной блокировки при движении задним ходом и заездом в места стоянки.

2. Принудительные системы управления (англ. command-steer)

Принудительные системы обеспечивают поворот колес прицепа в зависимости от угла складывания автопоезда (угла между продольной осью движения тягача и прицепа). Управление может осуществляться механическими устройствами (через систему тяг) или при помощи дополнительных электрогидравлических устройств.

Механические принудительные системы используют возможности кинематических связей между поворотным кругом седельно-сцепного устройства и рычагами подруливания осей прицепа. Примером может служить патентная разработка Дальневосточного ГАУ «Буксирно-распределяющее устройство многозвенного тракторно-транспортного агрегата» по патенту РФ № 2739635 [2], в которой механизм подруливания выполнен в виде системы шарнирных направляющих, рычагов и тяг, обеспечивающих согласованный поворот переднего и задней колесных тележек, а также предоставляющий возможность коррекции поворота второго, дополнительного прицепа.

Электрогидравлические принудительные системы используют датчики угла поворота седельно-сцепного устройства и согласованные с ними гидравлические исполнительные механизмы. Преимуществом таких систем является отсутствие механических тяг, что упрощает компоновку, но повышает энергоёмкость устройства.

Характерной особенностью таких принудительных систем является их одновременная реакция на поворот тягача: они начинают подруливать колеса прицепа одновременно с началом поворота автомобиля-тягача, что обеспечивает существенное сужение коридора прохождения поворота.

Недостатки принудительных систем управления траекторией движения прицепа:

- повышенная сложность установки конструкции и её высокая стоимость;
- необходимость регулярного обслуживания и регулировки электро – или гидравлических механизмов;
- высокая масса, что снижает полезную грузоподъёмность прицепа.

3. Активные системы подруливания

Известные активные системы подруливания управляемой оси прицепа представляют собой наиболее современные конструкции систем управления поворотом прицепа. В отличие от принудительных систем, где угол поворота колес прицепа жестко связан с углом складывания автопоезда, рассматриваемые активные системы используют электронное управление с обратной связью на основе интеллектуальных информационных данных, передаваемых следящими устройствами, устанавливаемых на звеньях автопоезда, что позволяет адаптировать режим подруливания прицепа к текущим условиям поворота и состоянию поверхности движения.

Основными компонентами рассматриваемой активной системы являются:

- датчики угла поворота колес автомобиля и прицепа;
- гироскопические датчики с функциями инклинометра-акселерометра, позволяющие определить и рассчитать возможные параметры криволинейного движения звеньев автопоезда;
- электронный контрольно-расчётный блок управления;
- исполнительные механизмы (электрические, электрогидравлические, гидромеханические или электромеханические).

Примером известной активной системы подруливания может служить разработка компании Fliegl Agrartechnik – система ForCon 2010, внедряемая в современных автопоездах и тракторах CLAAS. В этой системе для измерения радиуса поворота используется гироскоп, установленный на тягаче. В ходе работы сигнал от гироскопа обрабатывается электронным блоком, который через гидравлические цилиндры устанавливает колеса прицепа под оптимальным углом, исходя от угла поворота тягача. Проведённый анализ позволил сформировать таблицу значимости систем управления поворотом прицепа от основных параметров агрегата.

Таблица 1 – Системы управления поворотом прицепа

Параметр	Пассивная	Принудительная	Активная
Ширина коридора при повороте	Максимальная	Минимальная	Минимальная
Запаздывание реакции	Значительное	Отсутствует	Отсутствует
Износ шин	Повышенный	Пониженный	Минимальный
Работоспособность при движении задним ходом	Требуется блокировка	Полная	Полная
Сложность конструкции	Низкая	Высокая	Очень высокая
Стоимость	Низкая	Высокая	Очень высокая
Необходимость обслуживания	Минимальная	Регулярная	Регулярная

Проведенный анализ позволяет сделать следующие обоснованные выводы:

1. В автомобильных системах управления поворотом прицепа возможно выделить три основных типа, отличных по конструкции и принципу воздействия на прицеп: пассивные, принудительные и активные.

2. Наиболее современными из рассмотренных конструкций являются активные системы с электронным управлением, которые способны обеспечить

оптимальное соотношение между маневренностью на малых скоростях движения и устойчивостью на высоких для всех звеньев автопоезда.

Таким образом, дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на разработку унифицированных низкозатратных пассивных устройств, а также совместимых с ними алгоритмов управления, предназначенных для применения в различных типах автопоездов, а также на достижение конструктивной надёжности при снижении стоимости систем, что позволит расширить сферы их применения.

Список использованных источников

1. Электронное принудительное подруливание ForCon [Электронный ресурс] // Promintel-agro.ru. – Режим доступа: <https://www.promintel-agro.ru/products/product510>

2. Патент RU 2739635 RU. Буксирно-распределяющее устройство для многозвенного транспортного агрегата / Е.Е. Кузнецов, А.И. Гончарук, А.Н. Кушнарёв // Заявка № 2020110487 от 11.03.2020 Опубликовано 28.12.2020 Бюл. № 1.

3. Власов Н.Д., Жилейкин М.М., Козелков О.А. Исследование устойчивости движения магистральных автопоездов с полуприцепами, имеющими поворотный управляемый опорноходовой модуль // Грузовик. – 2025. – № 1. – С. 3–9.

4. Посметьев В.И., Никонов В.О., Мануковский А.Ю., Посметьев В.В. Компьютерное моделирование работы рекуперативного поворотного коникового устройства лесовозного тягача с прицепом-ропуском // Известия вузов. Лесной журнал. – 2022. – № 5. – С. 85–99. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-5-85-99>

5. Ходовые системы энергетических средств и сельскохозяйственных агрегатов в зонах рискованного земледелия: монография / Е.Е. Кузнецов, С.А. Шишлов, Д.Н. Раднаев, Н.Н. Бережнов, А.И. Гончарук, Е.В. Маршанин, Р.О. Сурин, А.В. Михайлов; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2025. – 193 с.

AUTOMOTIVE TRAILER STEERING CONTROL SYSTEMS: CLASSIFICATION, OPERATING PRINCIPLES AND DEVELOPMENT TRENDS

A.A. Volkov, D.S. Shishlov, D.V. Belyakov, A.A. Butenko, E.E. Kuznetsov

*Far Eastern State Agrarian University,
Blagoveshchensk, Russia*

This article examines modern trailer wheel steering control systems used in road trains. A classification of known solutions based on their operating principle (passive,

forced, active) is carried out, and their design features, advantages, and disadvantages are analyzed. Particular attention is paid to electronic control systems that improve the stability and maneuverability of road trains. Development trends for the devices and designs in question are presented, including integration with active safety systems and adaptation to the conditions of urban logistics.

Keywords: road train, steered trailer axle, steering system, maneuverability, driving stability, electronic control, efficiency.

УДК 621.57

КАСКАДНЫЕ СУБКРИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТРАНСКРИТИЧЕСКИЕ БУСТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ПРИНЦИП ИХ РАБОТЫ, ПРИМЕНЕНИЕ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ В УСТАНОВКАХ

А.С. Галка¹

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

В данном материале описываются принцип работы двух холодильных систем: каскадных субкритических и бустерных транскритических. Рассказывается о контроллерах, применяемых в таких установках, применение в промышленных сферах человеческой жизни, а также используемые хладагенты.

Ключевые слова: субкритические, транскритические, хладагент, контроллер, каскад, теплообменник, компрессор, линия.

Каскадные субкритические холодильные установки.

Каскадные субкритические холодильные системы - это сложные установки, которые состоят из двух или более независимых холодильных циклов, или, как по-другому называют, каскадов. Каскады такой системы соединены через промежуточный теплообменник. Главной особенностью субкритического режима заключается в том, что все основные процессы, как испарение хладагента и его конденсация - происходят при давлениях и температурах, ниже критической точки хладагента.

Принцип работы.

Каскадная субкритическая холодильная машина работает посредством переноса тепла от нижнего «яруса» к верхнему. Нижний каскад и верхний отличаются даже заправляемым хладагентом. Нижний - обладает низкой температурой кипения, и заправляется обычно хладагентом R744 или R23. Он «забирает» тепло от охлаждаемого объема и переносит его в промежуточный теплообменник, где, в свою очередь, тепло от нижнего каскада парами хладагента, передается к

¹ Научный руководитель: В.В. Романов

верхнему каскаду. Пары нижнего, при этом, полностью конденсируются. Верхний каскад имеет более высокую температуру кипения и заправляется R717, R404A или R134A. Суть данного каскада заключается в том, что он «отводит» полученное тепло в окружающую среду через конденсатор. [1]

Контроллеры и применение.

Зачастую, в качестве контроллера производительности каскадной субкритической системы, выбирают «АК-РС 783». Такой контроллер включает в себя две группы всасывания (низкотемпературную и среднетемпературную), управление компрессором с частотным приводом, каскадным теплообменником, имеет около 4 модулей для аналоговых выходов и шаговых двигателей, а также графический дисплей. В качестве контроллера для каскадного теплообменника, зачастую выбирают «ЕКС-313». Его основное преимущество над другими «конкурентными» контроллерами заключается в том, что он автоматически поддерживает давление конденсации углекислого газа контура. Для испарителей холодильного торгового оборудования, принадлежащего каскадной субкритической системе, как правило, выбирают 3 самых наиболее распространенных контроллера: «АК-СС 750», «АК-СС 550А», и «АК-СС 450». Каждый из них обладает рядом преимуществ и применяется индивидуально под каждую конкретную потребность. Первый из вышеперечисленных контроллеров, применяется для управления двумя секциями в одном корпусе и совместим с «ETS» клапанами. «АК-СС 550А» применяется больше для охлаждения с ЭРВ (электронным расширительным клапаном), позволяет совершать потребителям адаптивное оттаивание, а также позволяет осуществлять адаптивное управление перегревом. «АК-СС 450» - более старый контроллер, применяется для потребителей с наличием терморегулирующего вентиля (ТРВ), позволяет осуществлять электрическую оттайку, часто применяется в системах для охлаждения насосной подачей хладагителя. Данный контроллер позволяет лучше других влиять на уменьшение энергопотребления всей холодильной системы.



*Рисунок 1 – Контроллер испарителя «АК-СС 450»
холодильного потребителя*

Субкритические каскадные холодильные системы позволяют достигать температур, порядка -60°C и за счет применения углекислого газа, в качестве хладагента, имеют давление около 35 бар, что является достаточно низким значением, особенно, по сравнению с транскритическими системами холода. [2]

Транскритическая бустерная система. Понятие и принцип работы.

Транскритические бустерные холодильные системы работают на одном цикле, применяются чаще всего в жарком климате, где температура окружающей среды довольно высокая. В ней, как хладагент используется чаще всего «R744» и система имеет самый высокий коэффициент экологичности, по сравнению с любыми другими разновидностями холодильных установок. Транскритическая система сочетает в себе среднетемпературный и низкотемпературный контуры, где низкотемпературные компрессора на линии нагнетания сжимают газ и подают его в промежуточный ресивер, затем на линии всасывания уже среднетемпературные компрессора «забирают» газ, сжимают его, увеличивают давление газа и направляют в газоохладитель. В результате чего, в нем углекислый газ охлаждается под высоким давлением, и идет через регулирующий вентиль высокого давления, где давление постепенно уменьшается, газ превращается в парожидкостную смесь, а она уже идет в ресивер среднего давления (по-другому, флэш-бак). Парожидкостная смесь затем превращается в жидкий CO_2 , и он из ресивера направляется через терморегулирующий вентиль в среднетемпературные испарители (потребители торгового оборудования) и низкотемпературные испарители. После этого, образовавшийся в ресивере, при сбросе давления, пар (флэш-газ), перепускается обратно на линию всасывания среднетемпературных компрессоров, чтобы не перегружать испарители, и цикл повторяется. Таким образом, происходит двухступенчатое сжатие и охлаждение воздуха.

Контроллеры производительности.

Для транскритических бустерных холодильных систем очень часто в качестве контроллера производительности встречается: «АК-РС 781А» и «АК-РС 782А». Первый используют, если в системе имеются параллельные компрессора, так как данный контроллер производительности, обладает свободным управлением параллельными компрессорами и системой возврата масла. Также, «АК-РС 781А» обладает управлением системой рекуперации и обладает графическим дисплеем, и общими PI-регуляторами, в количестве до 3-х штук. «АК-РС 782А» очень схож с первым вышеописанным контроллером, обладает всеми функциями, но вдобавок имеет функцию управления плавающей уставкой давления в ресивере и может управлять до 6 параллельными компрессорами, одновременно с 4-мя низкотемпературными. [3]

Применение данных систем.

Транскритические бустерные холодильные установки применяются в промышленном холоде. Например, широкое распространение данные системы

нашли в молокозаводах и пивоваренных компаниях. Так как они работают на углекислоте, то имеют возможность быстрого одновременного нагрева и охлаждения. Также имеют достаточно большую популярность в фармацевтике и на ледовых аренах. Так как на углекислом газе холодильные системы могут лучше всех поддерживать стабильную температуру, что обеспечивает ровную поверхность льда. Исходя из вышеприведенных примеров, можно понять, что такие установки имеют колоссальное значение в сфере промышленности. [4]

Список использованных источников

1. Субкритические каскадные системы с CO₂ // «Холодильная техника» // 2016, том 105, с.9.
2. Осокина А.Ю. Особенности контроля движения в субкритических фазах / А.Ю. Осокина // Ползуновский вестник, 2010.
3. Салманова Н.А. Транскритический цикл холодильной машины, работающей на углекислом газе / Н.А. Салманова // Universum: технические науки, электронный научный журнал, 2022.
4. Практика применения транскритических бустерных углекислотных холодильных установок в магазиностроении / Пищевая индустрия, 2019.

CASCADE SUBCRITICAL SYSTEMS AND TRANSCRITICAL BOOSTER SYSTEMS. THE PRINCIPLE OF THEIR OPERATION, APPLICATION, AND CONTROLLERS USED IN INSTALLATIONS

A.S. Galka¹

*Don State Technical University,
Rostov-On-Don, Russia*

This article describes the principle of operation of two refrigeration systems: cascade subcritical and booster transcritical. It also discusses the controllers used in these systems, their applications in various industrial sectors, and the refrigerants they use.

Keywords: subcritical, transcritical, refrigerant, controller, cascade, heat exchanger, compressor, and line.

1 Scientific supervisor: V.V. Romanov

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.Р. Гатиятуллин, А.Н. Шмойлов

*Приволжский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия*

В статье рассматривается проблема коррозионного разрушения деталей наземных транспортных комплексов (включая железнодорожный подвижной состав, автомобильную и специальную технику) под воздействием агрессивных сред. Потери от коррозии в транспортном секторе достигают 4–5% ВВП промышленно развитых стран, а традиционные методы антикоррозионной защиты (лакокрасочные покрытия, цинкование и т. д.) не всегда обеспечивают необходимую долговечность в сложных эксплуатационных условиях. Предложено перспективное решение – нанокompозитные покрытия, наносимые методом вакуумно-плазменного напыления. Для обеспечения стабильности их свойств разработана адаптивная автоматизированная система управления процессом нанесения.

Ключевые слова: коррозия наземные транспортные комплексы нанокompозитные покрытия адаптивное управление.

Наземные транспортные комплексы, включая подвижной состав железных дорог, автомобильную и специальную технику, эксплуатируются в условиях интенсивного воздействия агрессивных сред: перепадов температур, атмосферной влаги, дорожных реагентов, абразивного износа и механических нагрузок [1]. Коррозионные повреждения несущих элементов, кузовов, ходовых частей и систем трубопроводов приводят к снижению ресурса, увеличению простоев, росту затрат на ремонт и, в ряде случаев, создают угрозу безопасности движения. По данным отраслевых исследований, потери от коррозии в транспортном секторе составляют до 4–5% ВВП промышленно развитых стран, при этом значительная доля приходится на железнодорожную инфраструктуру и подвижной состав.

Традиционные методы антикоррозионной защиты – многослойные лакокрасочные покрытия, цинкование, использование нержавеющей стали – не всегда обеспечивают требуемую долговечность в условиях высоких циклических нагрузок, абразивного воздействия песка и щебня, а также постоянного увлажнения технической солями. Кроме того, нанесение защитных слоёв на крупногабаритные детали вагонов, локомотивов и спецтехники сопряжено с трудностями обеспечения равномерности толщины и адгезии на сложных поверхностях [2].

Перспективным направлением является применение нанокompозитных покрытий, формируемых методами вакуумно-плазменного напыления. Такие покрытия, благодаря сочетанию наноразмерных фаз (например, металл-керамика, металл-полимер, многослойные структуры), обладают уникальным комплексом свойств: высокой коррозионной стойкостью, повышенной твёрдостью, низким

коэффициентом трения и способностью к самовосстановлению при микроповреждениях. Однако процесс их получения является высокочувствительным к колебаниям технологических параметров (температура, состав газовой смеси, энергия ионной бомбардировки). Отклонения режимов приводят к нестабильности структуры, снижению адгезии и появлению дефектов, что в условиях серийного ремонта и производства недопустимо.

В связи с этим ключевой задачей становится создание адаптивных автоматизированных систем управления технологическим процессом нанесения покрытий. В отличие от жёстких программных контроллеров, адаптивные системы способны в реальном времени отслеживать возмущающие факторы (изменение состояния мишеней, флуктуации давления, тепловые инерционности) и корректировать управляющие воздействия для обеспечения стабильности структуры и, как следствие, коррозионной стойкости покрытий. Разработка таких систем для условий транспортного машиностроения, где номенклатура деталей широка, а требования к надёжности особенно высоки, является актуальной научно-технической задачей.

Разрабатываемая адаптивная автоматизированная система (ААС) предназначена для управления процессом вакуумно-плазменного нанесения нанокompозитных покрытий на детали наземных транспортных комплексов (в том числе железнодорожного подвижного состава). Система построена по распределённому принципу с использованием промышленных контроллеров и интеллектуальных датчиков, объединённых в единую сеть.

В работе была разработана архитектура адаптивной автоматизированной системы для нанесения нанокompозитных покрытий и аппаратная платформа.

Предлагаемая система содержит широкополосные оптические эмиссионные спектрометры (для анализа состава плазмы в реальном времени), волоконно-оптические пирометры (контроль температуры подложек и деталей), манометры (ёмкостные и ионизационные), масс-расходомеры рабочих газов (Ar, N₂, реактивные газы), датчики тока и напряжения дуги/магнетрона.

В предлагаемую систему предлагается оснастить источники питания магнетронов с возможностью быстрого регулирования тока и напряжения, генераторы импульсного смещения (bias) для подложки, пропорциональные клапаны управления давлением, системы перемещения деталей (планетарные вращатели с регулируемой скоростью).

Ключевая особенность предлагаемой системы – применение адаптивных регуляторов, способных подстраивать параметры управления под текущее состояние процесса и возмущения [3].

Идентификатор параметров процесса: на основе рекурсивного метода наименьших квадратов дапнепрерывно оцениваются переменные параметры объекта управления (тепловая инерционность детали, скорость распыления мишени, эффективность ионизации). Идентификация выполняется по данным спектроскопии плазмы (интенсивности характерных линий Ti, Al, Si, Cr, N₂) и тепловизионного контроля.

Адаптивный регулятор: для контура стабилизации температуры подложки применяется каскадная структура с эталонной моделью, компенсирующая изменения теплоёмкости и теплопроводности крупногабаритных деталей; для контура управления составом покрытия (стехиометрия нитридов) используется нечёткий регулятор с настройкой коэффициентов на основе базы знаний, сформированной по результатам предварительных экспериментов. Входные переменные – отношение интенсивностей спектральных линий металлов и азота, давление, ток разряда.

Разработка системы велась в соответствии с методологией V-модели, обеспечивающей параллельное проектирование, верификацию и валидацию на всех уровнях.

Произведен сбор и анализ данных о коррозионных повреждениях деталей подвижного состава (рамы тележек, элементы кузова, тормозная арматура). Определены критические зоны, требования к адгезии, допустимая толщина покрытия (5–15 мкм), ресурс (не менее 15 лет в условиях умеренно-агрессивной среды).

Сформулированы требования к адаптивной системе: диапазоны регулирования параметров, точность стабилизации, быстродействие, интерфейсы взаимодействия.

Разработанная адаптивная автоматизированная система обеспечивает повышение коррозионной стойкости деталей в 3–5 раз и стабильность свойств покрытий при серийном нанесении, снижая разброс показателей адгезии и толщины на 30–40%. Внедрение системы позволяет сократить время переналадки оборудования и снизить эксплуатационные затраты за счёт уменьшения простоев подвижного состава, связанных с коррозионными разрушениями.

Список использованных источников

1. Довгяло, В.А. Эксплуатация путевых машин и оборудования : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов» / В.А. Довгяло, В.Л. Моисеенко, К.В. Максимчик, Е.М. Масловская, Н.В. Письменная. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2024. – 401 с. – EDN: OFANDE.

2. Гарашко В.В. Антикоррозионная защита шпунтовых ограждений: технологии, материалы и перспективы // Молодой исследователь Дона. – 2025. – Т. 10, № 3 (54). – С. 17–21. – EDN: UTSLHL.

3. Опейко О.Ф. Синтез дискретного адаптивного управления с пид-регулятором // Системный анализ и прикладная информатика. – 2025. – № 4. – С. 36–40. – DOI: 10.21122/2309-4923-2025-4-36-40. – EDN: FCHNYY.

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE AUTOMATED SYSTEM FOR APPLYING NANOCOMPOSITE COATINGS

A.R. Gatiyatullin, A.N. Shmoilov

*Volga State Transport University,
Samara, Russia*

The article discusses the problem of corrosion damage to parts of ground-based transport systems (including railway rolling stock, automotive, and special equipment) under the influence of aggressive environments. Corrosion losses in the transport sector reach 4-5% of the GDP of industrialized countries, and traditional methods of anti-corrosion protection (such as paint coatings, galvanization, etc.) do not always provide the necessary durability in challenging operating conditions. The article proposes a promising solution: nanocomposite coatings applied using vacuum-plasma spraying. An adaptive automated application process control system has been developed to ensure the stability of their properties.

Keywords: corrosion ground transport complexes nanocomposite coatings adaptive control.

УДК 004.932:629.3

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБРАБОТКИ ВИДЕОДАННЫХ В БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

А.Т. Гафиятуллин, Г.Р. Сибеева

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассматривается недостаточная проработанность построения программно-аппаратной архитектуры системы нейросетевой обработки видеоданных в беспилотных транспортных средствах, ориентированной на работу в режиме реального времени при ограниченных вычислительных ресурсах. Предложен архитектурный подход, основанный на потоковой обработке видеоданных в реальном времени, включающая видеосенсоры, периферийные вычислительные узлы, модуль нейросетевой обработки, брокер сообщений и аналитический уровень. Рассмотрены современные алгоритмы компьютерного зрения, протоколы передачи данных и технологии ускорения вычислений. Проведено экспериментальное исследование, включающее сравнение нейросетевых моделей по показателям точности, производительности и задержки обработки.

Ключевые слова: архитектура системы, потоковая обработка данных, компьютерное зрение, беспилотные транспортные средства.

Вопросы развития беспилотных транспортных систем активно рассматриваются в работах, посвященных их перспективам [1] и технологической базе [2], а также в исследованиях современных интеллектуальных автономных систем. Ряд публикаций анализирует технологии и аппаратные решения для беспилотных комплексов, методы компьютерного зрения и алгоритмы навигации [3], а также вопросы передачи видеоданных и сетевых протоколов [4] и применения edge-вычислений. Однако существующие исследования преимущественно фокусируются либо на алгоритмах компьютерного зрения, либо на коммуникационных технологиях и аппаратных средствах, не предлагая комплексного программно-аппаратного архитектурного решения для нейросетевой обработки видеоданных в составе беспилотных транспортных средств. Недостаточно проработанными остаются вопросы распределения вычислений между бортовым и облачным уровнями, обеспечения масштабируемости, снижения задержек и интеграции нейросетевого инференса в модульную IT-инфраструктуру. В связи с этим авторы стремились восполнить недостаточную проработанность программно-аппаратной архитектуры системы нейросетевой обработки видеоданных, ориентированной на работу в режиме реального времени в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Современные исследования подтверждают эффективность применения нейронных сетей и edge-вычислений в автономных системах, однако архитектурная интеграция данных технологий в рамках единой программно-аппаратной платформы остается фрагментарной. Полученные результаты уточняют влияние архитектурных решений на производительность и масштабируемость системы и могут быть использованы при проектировании отказоустойчивых и адаптивных IT-инфраструктур для беспилотного транспорта. Работа носит прикладной исследовательский характер и направлена на проектирование и анализ архитектуры распределенной системы обработки видеопотоков.

Предлагаемая архитектура системы нейросетевой обработки видеоданных (рис. 1) построена по принципу потоковой обработки и включает следующие функциональные компоненты: видеосенсоры, edge-узел, модуль нейросетевого инференса, брокер сообщений и аналитический уровень. Видеосенсоры формируют непрерывный видеопоток, передаваемый по протоколу RTSP на периферийный вычислительный узел. Edge-узел выполняет первичную обработку видеоданных, включая декодирование потока, изменение разрешения и формирование кадров для подачи на вход нейросетевой модели. Размещение инференса на edge-уровне позволяет существенно снизить задержки, связанные с передачей больших объемов видеоданных в облачные сервисы. Модуль нейросетевого инференса реализует распознавание дорожных сцен и объектов. Результаты инференса представляются в виде структурированных сообщений, содержащих классы объектов, координаты ограничивающих рамок и вероятности распознавания. Передача результатов нейросетевой обработки осуществляется с использованием асинхронных механизмов обмена данными, таких как протокол MQTT, а для сервисного взаимодействия между компонентами системы может использоваться gRPC. При выборе брокера сообщений рекомендуется отдавать

предпочтение легковесным инструментам, таким как Eclipse Mosquitto – его архитектура, малые требования к вычислительным ресурсам и поддержка последних версий протокола делают его оптимальным выбором для IoT-приложений. Такой подход обеспечивает асинхронное взаимодействие компонентов системы и повышает ее масштабируемость [5]. Аналитический уровень агрегирует данные от одного или нескольких edge-узлов, выполняет их временное хранение. В последующем данные отправляются на облачные сервера для более длительного хранения. На основе собранных данных возможно формирование выборок для дообучения нейросетевых моделей, а также проведение экспериментов по сравнению различных алгоритмов и конфигураций системы. Сравнение edge- и cloud-подходов показывает, что перенос инференса на периферию позволяет сократить сетевой трафик на 50–70% и уменьшить среднюю задержку обработки видеопотока.

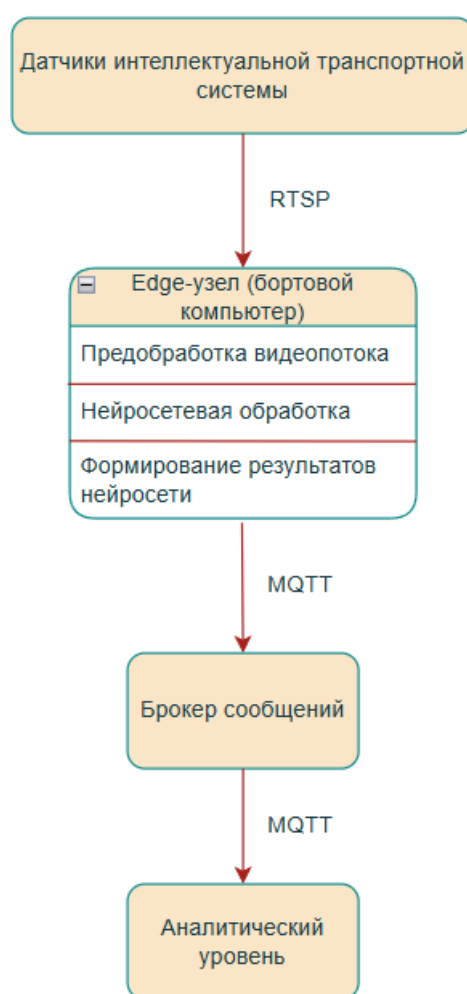


Рисунок 1 – Архитектура системы нейросетевого распознавания дорожных ситуаций

В системе используются современные алгоритмы компьютерного зрения для задач детекции и классификации объектов. В качестве базовых моделей рассмотрены Yolo, Faster R-CNN и Vision Transformer. Модели семейства Yolo ориентированы на высокую скорость инференса и подходят для систем реального

времени [6]. Faster R-CNN обеспечивает более высокую точность распознавания, однако требует больших вычислительных ресурсов. Vision Transformer демонстрирует устойчивость к сложным сценам, но характеризуется повышенной вычислительной сложностью. Процесс обучения нейронных сетей выполняется вне бортового вычислительного устройства, после чего оптимизированные модели загружаются на edge-узлы для выполнения распознавания в реальном времени. Для повышения производительности используются методы квантизации и pruning, позволяющие снизить размер модели и ускорить вычисления без значительной потери точности. Разделение этапов обучения и инференса позволяет гибко масштабировать систему и адаптировать модели под конкретные аппаратные платформы. Дополнительным преимуществом предлагаемой архитектуры является ее модульность и масштабируемость.

Каждый функциональный компонент системы реализуется в виде отдельного программного модуля, что позволяет независимо обновлять и модифицировать отдельные части без остановки всей системы. Такой подход особенно важен для беспилотных транспортных средств, где требования к надежности и непрерывности работы являются критическими. Кроме того, использование асинхронных механизмов обмена данными снижает связность компонентов системы и повышает ее отказоустойчивость [7]. При временной недоступности аналитического уровня edge-узлы продолжают выполнять распознавание и буферизацию результатов, что предотвращает потерю данных и нарушение функционирования ключевых модулей. Данный подход соответствует современным принципам построения распределённых IT-систем и хорошо масштабируется [8] при увеличении числа источников видеоданных.

Экспериментальная оценка системы проводилась на тестовом стенде с edge-устройством. В ходе экспериментов сравнивались нейросетевые модели по показателям accuracy, precision и recall. Для оценки производительности измерялись FPS и end-to-end задержка обработки видеопотока. Результаты показали, что модели Yolo обеспечивают наибольшую производительность, достигая 30–45 FPS при разрешении 1280×720. Faster R-CNN демонстрирует более высокую точность, но снижает скорость обработки до 12–18 FPS. Vision Transformer показывает стабильные результаты при высоком разрешении, однако требует оптимизации для применения в реальном времени. Использование edge-инференса позволило снизить среднюю задержку обработки на 25–40% по сравнению с облачным вариантом архитектуры. Нагрузочные тесты показали устойчивую работу системы при увеличении числа видеопотоков до заданных пределов аппаратной платформы. Анализ экспериментальных данных показывает, что выбор архитектуры и алгоритмов оказывает существенное влияние на характеристики системы. Увеличение разрешения видеопотока приводит к снижению FPS, однако использование оптимизированных моделей и аппаратного ускорения позволяет компенсировать данный эффект. Сравнение моделей подтверждает целесообразность применения лёгких нейросетевых архитектур для задач реального времени, где критичны задержка и пропускная способность системы.

Таким образом, в работе рассмотрена информационная система нейросетевой обработки видеоданных в беспилотных транспортных средствах с акцентом на архитектурные и алгоритмические решения. Предложенная архитектура потоковой обработки, использование edge-вычислений и оптимизированных нейросетевых моделей позволяют обеспечить высокую производительность и низкую задержку обработки. Полученные результаты подтверждают эффективность выбранных IT-подходов и их применимость для систем автономного транспорта.

Список использованных источников

1. Жмудь В.А. Перспективы развития беспилотных наземных транспортных средств / В.А. Жмудь // Автоматика и программная инженерия. – 2021. – С. 17-35. – EDN PNHUDO.
2. Андреев Н.А. Перспективы применения беспилотного транспорта в России / Н.А. Андреев // Отходы и ресурсы. – 2023 – Т. 10 – № 1 – С. 1-10. – DOI 10.15862/42ECOR123. – EDN QIUGFB.
3. Катаев М.Ю. Методика сегментации изображений беспилотных летательных аппаратов с помощью нейронных сетей / М.Ю. Катаев, Е.Ю. Карташов, В.В. Рябухин, Е.В. Макаров, О.А. Пасько // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса – 2023. – Т. 20 – № 1 – С. 55-66. – DOI 10.21046/2070-7401-2023-20-1-55-66. – EDN ANGNDZ.
4. Kariyamin K., Riadi I., Herman H. Performance analysis of real time streaming protocol (rtsp) and real time transport protocol (rtp) using vlc application on live video streaming Conference “Jurnal Teknik Informatika”. 2023, pp. 769-778. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2023.4.4.698>.
5. Kumar R.A., Magesh S., Manikandan R., Ramakrishnan A.B., Madavan M. Incorporation of Computer Vision and Metaverse Analysis Using UAV Communications for Healthcare Applications Conference “Advances in medical technologies and clinical practice book series”. 2024, pp. 252-274. <http://doi.org/10.4018/979-8-3693-2268-0.ch012>.
6. Небаба С.Г. Сверточные нейронные сети семейства Yolo для мобильных систем компьютерного зрения / С.Г. Небаба, Н. Г. Марков // Компьютерные исследования и моделирование – 2024. – Т. 16 – № 3 – С. 615-631. – DOI 10.20537/2076-7633-2024-16-3-615-631. – EDN PGWJMW.
7. Хохлов Т.Е. Интеллектуальная система мониторинга и управления энергопотреблением предприятия / Т.Е. Хохлов, Г.Р. Сibaева // Инициативы молодых - науке и производству: Сборник статей X Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Пенза, 29–30 ноября 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 1324-1330. – EDN INFHNP.
8. Development of the online monitoring system of public transport / A. R. Miftakhova, G. R. Sibaeva, D. M. Lysanov, A. N. Karamyshev // Journal of Advanced

HARDWARE AND SOFTWARE ARCHITECTURE OF A NEURAL NETWORK VIDEO DATA PROCESSING SYSTEM IN UNMANNED VEHICLES

A.T. Gafiyatullin, G.R. Sibaeva

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

This article examines the insufficient development of a hardware and software architecture for a neural network-based video processing system in unmanned vehicles, designed for real-time operation with limited computing resources. An architectural approach based on real-time streaming video processing is proposed, including video sensors, edge computing nodes, a neural network processing module, a message broker, and an analytical layer. Modern computer vision algorithms, data transfer protocols, and computational acceleration technologies are considered. An experimental study is conducted, including a comparison of neural network models based on accuracy, throughput, and processing latency.

Keywords: information system architecture, streaming data processing, computer vision, unmanned vehicles.

УДК 631.15.01

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Е.В. Герасимов

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

В статье рассматривается применение технологии интернета вещей для решения проблем пассажирского транспорта в условиях интенсивного роста городов и увеличения мобильности населения. В этих условиях актуально модернизировать системы пассажирского транспорта. Наиболее перспективным направлением развития является использование технологий интернета вещей (IoT), который обеспечивает сбор, анализ и передачу информации в настоящий момент.

Ключевые слова: Интернет вещей (IoT), пассажирский транспорт, интеллектуальные транспортные системы, цифровизация транспорта.

В нынешнее время мегаполисы плотно насыщены жителями, следовательно, растет транспортная нагрузка и мобильность граждан. Стандартные способы регулирования пассажирскими перевозками основываются на фиксированных расписаниях и не обеспечивают требуемой эффективности. Из-за этого возникает ряд проблем в системе пассажирского транспорта: нерегулярность движения, перегруженность отдельных маршрутов, неравномерное распределение подвижного состава, увеличение времени ожидания и снижение удовлетворенности пассажиров [1, 5, 6].

Цифровая трансформация транспортной отрасли необходима в современной жизни. Ключевой технологический инструмент модернизации является интернет вещей IoT, который является совокупностью устройств и датчиков для сбора и передачи информации через коммуникационные сети. Относительно пассажирского транспорта IoT способствует организовывать постоянный мониторинг транспортных средств, инфраструктуры и потока пассажиров, создавая информационную базу для принятия управленческих решений в реальном времени [5,6].

Функционирование IoT-системы строится по многоуровневому принципу и включает в себя четыре уровня взаимосвязанных компонентов.

Первый уровень – физическая инфраструктура. Он представлен датчиками, которые устанавливаются на транспортных средствах и других объектах инфраструктуры. Эти датчики обеспечивают фиксацию значений движения и эксплуатации транспортных средств. К ним можно навигационные модули GPS/ГЛОНАСС, датчики контроля скорости, расхода топлива, состояния двигателя, открытия дверей, а также устройства подсчета пассажиров.

Второй уровень – коммуникационная среда. Передача данных осуществляется через мобильные сети (4G/5G), специализированные протоколы передачи данных или городские беспроводные сети.

Надежность и устойчивость связи играют важную роль, поскольку от качества передачи информации зависит оперативность управления, например онлайн слежение за транспортом с возможностью просмотра маршрутов движения автомобилей и мест остановок (стоянок), ведение контроля за работой транспортных средств: учет реального пробега, простоев, начала и окончания работы транспорта.

Третий уровень – система для организации, обработки и хранения данных. Информация, поступающая от датчиков, объединяется на сервере или в облачной среде для получения общих показателей. Использование более общих, совокупных показателей позволяет анализировать пассажиропоток, эффективность работы транспорта, а также планировать нагрузку на маршруты.

Четвертый уровень – прикладные сервисы. Они помогают автоматизировать процессы: на основе аналитических данных корректируется расписание транспортного движения, изменение интервалов движения, перераспределение подвижного состава. Одновременно разрабатываются мобильные приложения для пассажиров с возможностью просмотра маршрута движения и местоположения транспорта, временем прибытия и уровня пассажиропотока [2, 3, 4]

Таким образом, IoT-система представляет собой интегрированную цифровую систему, соединяющую транспортные средства, инфраструктуру и прикладные сервисы.

Одним из наиболее важных направлений использования IoT является диспетчерский контроль транспортных средств. Благодаря данным системы мониторинга транспорта ГЛОНАСС возможно отслеживание движения и местоположения автобусов, трамваев и троллейбусов с высокой точностью. Это позволяет оперативно решать вопросы по отклонению от графика, аварийные ситуации, пробки.

Система мониторинга помогает повышению качества движения и снижению количества нарушений отклонений от графика. Кроме того, данные о фактическом времени прохождения маршрута транспортных средств могут использоваться для корректировки нормативов и оптимизации транспортной сети [1, 2]

Датчики для фиксации количества пассажиров, установленные в салонах транспортных средств, позволяют осуществить сбор информации о количестве входящих и выходящих пассажиров на остановках. Сбор и обобщение данных позволяет выявлять загруженность участков маршрута, сезонный спрос пассажиропотока, часы пик [3, 4]

Совершенствование маршрутов позволит снизить эксплуатационные расходы, сократить время простоя и эффективно использовать подвижной состав.

IoT-технологии также используются для контроля технического состояния транспортных средств. Системы диагностики показывают данные работы двигателя, тормозной системы и иных элементов, что способствует своевременно выявлять неисправности в техническом состоянии транспортных средств. Это сокращает вероятность аварийных ситуаций и повышает качество и безопасность перевозок.

Также возможно установить камеры видеонаблюдения и специальные датчики, которые сразу сообщат о любой чрезвычайной ситуации. Все данные сразу поступают в диспетчерский центр, что значительно сокращает время реагирования.

Реализация IoT-технологий предполагает оснащение и вложение в оборудование, программное обеспечение и подготовка сотрудников. Цифровизация способствует оптимизации расходов, маршрутов, уменьшению расхода топлива, сокращению простоев и недопущению поломок [2,3].

Организационные улучшения делают управление транспортными предприятиями более открытым. Теперь у руководства транспортных предприятий есть доступ к точным данным, что помогает принимать решения, основываясь на анализе фактических данных [6].

Улучшение качества предоставляемых услуг не только укрепляет доверие граждан к системе общественного транспорта, но и стимулирует увеличение числа пассажиров. Это, в свою очередь, благоприятно сказывается на финансовых показателях транспортных компаний.

Несмотря на то, что Интернет вещей (IoT) предлагает много хорошего, его внедрение не обходится без трудностей. Главные из них: нужно

усовершенствовать старое оборудование; устройства разных фирм не всегда работают вместе; важно защищать данные от несанкционированного доступа; есть риск взлома систем управления транспортом; а также сотрудники не всегда достаточно разбираются в цифровых технологиях [5].

Очень важно заботиться об информационной безопасности, когда речь идет об IoT-системах. Они обрабатывают много данных, в том числе о том, куда едет транспорт и кто в нем находится. Поэтому нужно использовать шифрование и разные уровни защиты [5].

Перспективным направлением является создание единой городской системы, которая свяжет вместе транспорт, коммунальные услуги и безопасность. Когда все это работает вместе, общественный транспорт становится частью более крупного плана по управлению городом с помощью цифровых технологий.

Чтобы максимально раскрыть потенциал Интернета вещей в пассажирском транспорте, необходимо интегрировать эти технологии с другими элементами городской цифровой инфраструктуры. Сегодня транспорт не может работать в отрыве от города: он должен быть связан с дорогами, видеонаблюдением, экстренными службами и городскими информационными системами.

Создание единой цифровой системы для управления городом позволяет собрать вместе все важные данные: что показывают датчики на дорогах, где сейчас пробки, где идет ремонт, какая погода и какие мероприятия проходят. Когда все эти данные обмениваются между собой, мы можем гораздо точнее предсказывать, как будет двигаться транспорт, и принимать решения, которые учитывают все, что происходит в городе [4].

Внедрение IoT в пассажирском транспорте выходит за рамки чисто экономических выгод, оказывая глубокое социальное влияние. Пассажиры ощущают снижение стресса благодаря более точному соблюдению расписания и доступности прозрачной информации. Способность отслеживать свой транспорт в реальном времени через мобильные приложения не только информирует, но и вселяет уверенность, укрепляя доверие к эффективности и надежности системы общественного транспорта [5].

Цифровизация приобретает особую актуальность в контексте улучшения качества жизни маломобильных граждан. Внедрение интеллектуальных информационных систем, способных предоставлять голосовые оповещения, актуальные данные о низкопольном транспорте и условиях посадки, является ключевым фактором в повышении инклюзивности городской инфраструктуры [4].

Важно отметить, что применение IoT-решений также приносит пользу экологии. Благодаря более эффективному планированию маршрутов и сокращению ненужных остановок, мы экономим топливо и уменьшаем вредные выбросы. Это, в свою очередь, ведет к улучшению экологической обстановки в городах в долгосрочной перспективе [6].

Кроме того, активно развиваются системы, которые предсказывают поломки. Они помогают обнаружить возможные неисправности оборудования ещё до того, как они реально возникнут. Благодаря этому, мы переходим от ремонта

по факту поломки к обслуживанию, которое предотвращает их, что заметно уменьшает затраты на эксплуатацию [3].

Таким образом, применение технологий Интернета вещей создает прочную основу для полной модернизации пассажирского транспорта. Результатом становится повышение эффективности управления, улучшение качества обслуживания и устойчивое развитие транспортной инфраструктуры, что достигается благодаря интеллектуальным системам мониторинга и аналитики в рамках цифровой экономики.

Датчик сбора и передачи информационного потока данных представлен на рисунке 1:

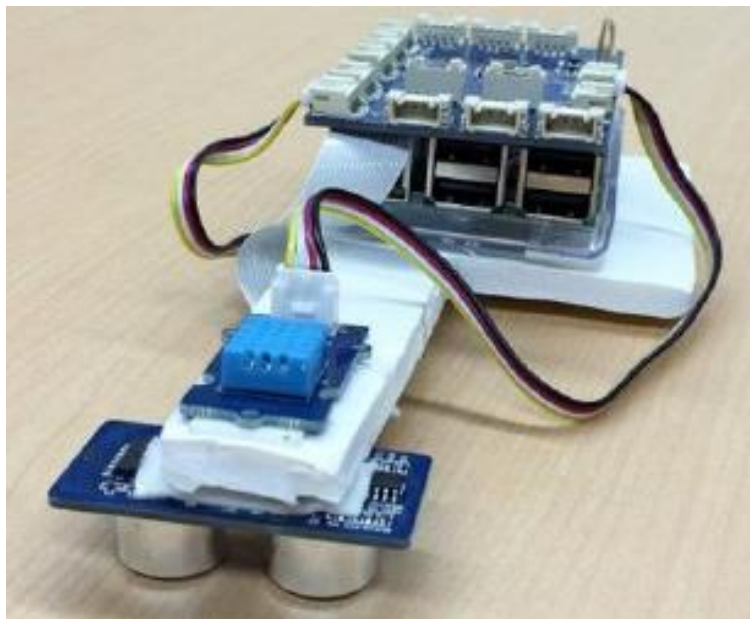


Рисунок 1 – Датчик сбора и передачи потока данных. [7]
Список использованных источников

Список использованных источников

1. Медникова О.В. IoT в транспорте: как интернет вещей помогает избежать катастроф, аварий и загруженности крупных городов // Научная электронная библиотека CyberLeninka – 2019. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iot-v-transporte-kak-internet-veschey-pomogaet-izbezhat-katastrofy-avarii-i-zagruzhennost-krupnyh-gorodov>

2. Боровков А.О. Внедрение элементов системы интернета вещей в транспортную отрасль: возможности, архитектура, практика // elibrary.ru – 2021. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46416649>

3. Иргашев Н.Н., Жураев А.М., Ганиханов С.С. Эффективность применения IoT на железнодорожном транспорте // Молодой ученый – 2023. – № 21(468). – С. 122–125. – URL: <https://moluch.ru/archive/468/103255>

4. Степанченко В. С., Чеснокова Е. А., Шационок П. В. Перспективы развития интеллектуальных транспортных систем с использованием IoT //

Транспортное дело России – 2025. – № 4(181). – URL: <https://morvesti.ru/izdaniya/tdr/archive/2025/04.php>

5. Авдошин С. М., Песоцкая Е. Ю. Интернет вещей: транспорт // Публикации ВШЭ (Высшая школа экономики) / Информационные технологии – 2018. – Т. 24, № 2, С. 131–138. – URL: <https://publications.hse.ru/view/212653996>

6. Кирсанова К. Д. Исследование технологии интернета вещей (IoT) и её применения в различных областях (в т.ч. транспорте) // Современные научные исследования и инновации – 2023. – № 6. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2023/06/100402>

7. Вестник Академии знаний №33(4), 2019. <https://academiyadt.ru/zhurnal-vestnik-akademii-znanij-vaz-33-4-iyul-avgust-2019-2/>

APPLYING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY TO SOLVE PASSENGER TRANSPORT PROBLEMS

E.V. Gerasimov

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

The article discusses the application of Internet of Things technology to solve the problems of passenger transport in the context of intensive urban growth and increased population mobility. In this context, it is relevant to modernize passenger transport systems. The most promising area of development is the use of Internet of Things (IoT) technologies, which provide real-time collection, analysis, and transmission of information.

Keywords: Internet of Things (IoT), passenger transport, intelligent transport systems, and digitalization of transport.

УДК 631.15.01

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Е.В. Герасимов

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

В статье рассматриваются возможности использования технологии цифровых двойников для обеспечения контроля состояния путей сообщения. Это актуально в свете растущих требований к безопасности, надежности и общей эффективности транспортной инфраструктуры. В статье также разъясняется концепция цифрового двойника, представляющая собой динамическую виртуальную

модель объекта, которая поддерживается в актуальном состоянии путем синхронизации с его физическим аналогом посредством данных, получаемых от сенсоров, систем мониторинга и геоинформационных платформ.

Ключевые слова: технология цифровых двойников; пути сообщения; транспортная инфраструктура; мониторинг технического состояния.

Развитие транспортной инфраструктуры сегодня характеризуется усложнением инженерных решений, увеличением эксплуатационных нагрузок и строгими требованиями к безопасности. Это вынуждает отказываться от привычных методов обследования и планово-предупредительного ремонта в пользу передовых цифровых технологий. Одним из наиболее перспективных инструментов является технология цифровых двойников – интегрированная виртуальная модель, которая постоянно отражает состояние реального физического объекта.

Для управления путями сообщения создаётся цифровой двойник – динамическая, многослойная модель, которая интегрирует все ключевые параметры: от геометрии и конструкции до эксплуатационных характеристик и нагрузок. Его главное отличие от традиционных информационных моделей – способность к непрерывному обновлению. Данные, поступающие от датчиков, систем диагностики и внешних источников, позволяют двойнику отражать актуальное состояние объекта. В результате формируется единое цифровое пространство, где можно анализировать текущую ситуацию и предсказывать развитие событий [1].

В контексте инфраструктуры путей сообщения (включая железнодорожные, автомобильные, метрополитены и городские транспортные сети), цифровой двойник служит комплексным решением для мониторинга. Он позволяет эффективно интегрировать инженерные данные, геопространственную информацию и результаты технического контроля, обеспечивая целостное представление о состоянии системы.

Создание цифрового двойника транспортной инфраструктуры обусловлено необходимостью внедрения многоуровневой архитектуры, включающей следующие компоненты:

1. Физический уровень – представляет собой совокупность материальных компонентов инфраструктуры, таких как рельсовые пути, дорожные покрытия, инженерные сооружения и стрелочные переводы.

2. Уровень сбора данных – сбор данных осуществляется с помощью разнообразных средств: датчиков (деформации, вибрации, температуры, влажности), систем видеонаблюдения, лазерных профилометров и мобильных диагностических комплексов.

3. Коммуникационный уровень – отвечает за обеспечение связи и обмен данными. Он включает в себя различные каналы передачи, такие как оптоволоконные линии для высокоскоростной связи, беспроводные сети для мобильности, передовые мобильные технологии 4G/5G, а также специализированные протоколы для устройств Интернета вещей.

4. Аналитический уровень – используются инструменты для обработки больших данных, методы машинного обучения для извлечения ценной информации и системы прогнозирования.

5. Уровень визуализации и управления – используются интерфейсы диспетчерских центров, интерактивные панели мониторинга, а также возможности интеграции с ГИС и BIM-средой, обеспечивая комплексный обзор и контроль [1,4].

Для эффективного управления состоянием пути критически важно объединять данные, полученные из множества источников: от точных измерений приборной диагностики и спутниковых снимков до детального лазерного сканирования. Дополнительно учитываются реальные нагрузки и климатические условия. Все эти сведения ложатся в основу создания цифровой модели, которая дает возможность наглядно отслеживать любые изменения в геометрии пути сообщения, оценивать износ его элементов, а также контролировать состояние основания и земляного полотна.

Технология цифровых двойников обеспечивает комплексный контроль состояния путей сообщения. С помощью мобильных диагностических комплексов мы можем детально изучать геометрию и параметры пути, фиксируя ширину колеи, уровень, перекосы и неровности. Для автомобильных дорог применяются передовые системы лазерного профилирования и дефектоскопии покрытия. Полученные в результате измерений данные мгновенно загружаются в цифровую модель, где происходит их автоматическое сопоставление с нормативными показателями, обеспечивая оперативное выявление отклонений [3,8].

Применение беспилотных авиационных систем и технологий дистанционного зондирования Земли обеспечивает оперативное обнаружение деформаций, просадок и нарушений целостности инфраструктурных объектов. Технология LiDAR позволяет создавать детализированные трехмерные модели, которые интегрируются в цифровые двойники для последующего анализа динамики изменений.

Встроенные сенсоры в инфраструктуре обеспечивают непрерывный мониторинг нагрузок, вибраций и температуры. IoT-технологии позволяют создать распределённую сеть с централизованной обработкой данных [7].

Для анализа огромных массивов информации, выявления скрытых закономерностей, своевременного обнаружения неисправностей и предсказания срока службы конструкций необходимо использовать методы машинного обучения.

Существенное достоинство цифровых двойников заключается в их способности трансформировать стратегию обслуживания. Мы переходим от простого устранения неисправностей к проактивному управлению, основанному на прогнозах. Используя накопленные данные и актуальные показатели, система выявляет потенциальные дефекты, оценивает темпы их прогрессирования и предлагает наиболее эффективные сроки для проведения профилактических или ремонтных работ [2].

Применение предиктивной аналитики обеспечивает следующие преимущества:

- Избежать внезапных поломок: Реже сталкиваться с необходимостью срочного ремонта.
- Экономить деньги: Сократить расходы на эксплуатацию.
- Сделать инфраструктуру более стабильной: Обеспечить ее постоянную работоспособность.
- Предотвратить аварии: Снизить риск возникновения нештатных ситуаций.

Функционал цифрового двойника охватывает весь жизненный цикл объекта, начиная с фазы проектирования и заканчивая этапом вывода из эксплуатации. Благодаря интеграции с информационными моделями зданий (BIM), обеспечивается полная прослеживаемость всех модификаций конструкции и систематическое накопление данных об эксплуатационной истории [1,5]. Применение технологии цифровых двойников обеспечивает беспрецедентную ясность в управлении инфраструктурными объектами и позволяет принимать более обоснованные решения. Финансовая отдача от этой инициативы формируется благодаря:

- Более эффективному планированию и выполнению ремонтных работ;
- Существенному сокращению расходов на диагностические процедуры;
- Уменьшению времени вынужденного простоя транспортных систем;
- Продлению общего срока службы ключевых конструктивных элементов [6].

Реализация данной технологии потребует значительных первоначальных ресурсов, включая инвестиции в цифровую инфраструктуру, подготовку персонала и совершенствование систем связи. Кроме того, критически важно обеспечить надежную информационную безопасность и защиту данных от несанкционированного доступа.

Наиболее популярные программные комплексы и их сравнение представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Программные комплексы для создания цифровых двойников

ПО	Доступность	Стоимость	Поддержка облаков точек	Время обработки	Особенность
WebODM	Свободный доступ	Бесплатно	Есть	Средняя	Автоматическая обработка
Agisoft Metashape	Коммерческое ПО	Высокая	Есть	Быстро	Высокая точность
Pix4D	Ограничено (требует VPN)	Высокая	Есть	Очень быстро	Продвинутая аналитика

Перспективы развития включают интеграцию технологию искусственного интеллекта, расширение облачных платформ и внедрение 5G для высокоскоростной связи. В дальнейшем, цифровые двойники будут играть центральную роль в

формировании интеллектуальных транспортных систем, обеспечивая автономность управления и автоматизацию контроля инфраструктуры.

Таким образом, контроль состояния путей сообщения с помощью цифровых двойников – это стратегически важный шаг в цифровизации транспортной отрасли. Такой подход, включающий полный мониторинг, предсказание проблем и объединение всей информации, позволит сделать транспортную инфраструктуру намного безопаснее, надёжнее и стабильнее в будущем.

Список использованных источников

1. Батурин Ю.М., Кравченко А.И. Цифровые двойники в управлении жизненным циклом инфраструктурных объектов // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 3. – С. 12–18.
2. Баранов А.В., Ковалёв С.Н. Применение технологий больших данных при диагностике транспортной инфраструктуры // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2022. – № 2. – С. 55–63.
3. Сапожников В.В., Писаренко В.Н. Мониторинг состояния железнодорожного пути на основе интеллектуальных систем диагностики // Вестник транспорта. – 2020. – № 5. – С. 34–41.
4. Соловьёв В.И., Трофимов А.С. Интеллектуальные транспортные системы: учебное пособие. – Москва: Транспорт, 2019. – 256 с.
5. Гусаков А.А., Гинзбург А.В. Информационное моделирование в строительстве (BIM): теория и практика. – Москва: Издательство АСВ, 2016. – 328 с.
6. Лapidус А.А., Абрамов И.В. Цифровая трансформация строительной отрасли: технологии и управление. – Москва: МГСУ, 2020. – 240 с.
7. Кузнецов С.М., Куликов А.В. Применение геоинформационных систем для мониторинга транспортной инфраструктуры // Геодезия и картография. – 2021. – № 4. – С. 45–52.
8. Ерофеев В.Т., Михайлов А.Ю. Диагностика и мониторинг состояния автомобильных дорог. – Москва: Академия, 2018. – 272 с.

APPLICATION OF DIGITAL DOUBLE TECHNOLOGY TO MONITOR THE CONDITION OF COMMUNICATION ROUTES

E.V. Gerasimov

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

The article discusses the possibilities of using digital twin technology to ensure the monitoring of the condition of transportation routes. This is relevant in light of the growing requirements for the safety, reliability, and overall efficiency of transportation infrastructure. The article also explains the concept of a digital twin, which is a dynamic virtual model of an object that is kept up-to-date by synchronizing it with its

physical counterpart using data from sensors, monitoring systems, and geoinformation platforms.

Keywords: digital twin technology; communication routes; transport infrastructure; technical condition monitoring.

УДК 658.589

ИННОВАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ С ПОМОЩЬЮ ИНДУСТРИИ 4.0

Ю.И. Гришина

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
г. Казань, Россия*

Эта статья посвящена подробному рассмотрению концепции Индустрии 4.0. Были рассмотрены, какие инструменты предполагает данная концепция, в чем заключается ее работа, в чем глобально заключается ее направление. Вместе с этим, было рассмотрено то, какие инновации способна привнести Индустрия 4.0 в промышленность.

Ключевые слова: производство, интернет, ИИ, Индустрия 4.0, технологии, системы.

Концепция четвертой промышленной революции, известная как 4IR или Индустрия 4.0, представляет собой новый этап эволюции промышленного производства. Ее суть заключается в переходе от традиционных производственных систем к интеллектуальным и высокоавтоматизированным предприятиям. Формирование так называемого «умного производства» с использованием современных технологий является основополагающим аспектом Индустрии 4.0. Данное производство обладает способностью самостоятельно адаптироваться к изменяющимся условиям, оптимизировать ресурсы и повышать эффективность производственной деятельности с минимальным вмешательством человека.

Индустрия 4.0 поднимает традиционные системы автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП) на новый уровень, трансформируя их в сложную цифровую инфраструктуру, известную как промышленный интернет вещей (IIoT), который служит основой «умного производства». IIoT базируется на сети взаимосвязанных промышленных устройств, способных в реальном времени собирать, передавать и анализировать данные без постоянного участия человека. Эти данные поступают из различных источников, включая датчики, АСУ ТП и корпоративные системы управления (ERP, MES), что обеспечивает предприятиям доступ к обширным массивам информации для анализа и принятия решений.

Для функционирования промышленного интернета вещей используются специализированные цифровые платформы, которые организуют сбор, обработку и аналитическую обработку данных. Среди наиболее распространенных решений можно выделить Atos Codex IoT, Hitachi Lumada, IBM Watson IoT Platform, Microsoft Azure IoT, Oracle IoT Cloud, PTC ThingWorx, SAP Leonardo IoT, Schneider Electric EcoStruxure, Siemens MindSphere и Software AG Cumulocity IoT. Кроме того, ключевую роль в Индустрии 4.0 играют киберфизические системы (CPS), которые представляют собой интеграцию физических объектов (станков, роботов, транспортных средств, энергетических установок) с цифровыми технологиями для мониторинга, управления и анализа процессов. В то время как IIoT обеспечивает сбор и передачу данных, CPS используют эти данные совместно с программным обеспечением для автоматизации и оптимизации производственных процессов, формируя основу интеллектуального предприятия.

В рамках этих процессов осуществляется обработка данных, выполняются алгоритмы управления, функционируют системы машинного обучения и искусственного интеллекта, которые также отражают технологические направления Индустрии 4.0. Искусственный интеллект становится ключевым элементом промышленной автоматизации, применяясь для автоматической обработки данных, оптимизации производственных процессов и принятия решений без непосредственного участия человека. Алгоритмы машинного обучения позволяют прогнозировать техническое обслуживание оборудования, повышать качество продукции и оптимизировать производственные цепочки. Перспективность данного направления подтверждается значительным потоком инвестиций. По оценкам PwC, к 2030 году искусственный интеллект сможет добавить в мировую экономику до 15,7 триллиона долларов.

Технологии, такие как облачные вычисления, обеспечивают централизованное хранение и обработку значительных объемов производственных данных с возможностью удаленного доступа к системам управления. В сочетании с методами анализа больших данных предприятия получают возможность интегрировать данные с датчиков, автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и информационных систем ERP/MES, что позволяет выявлять закономерности, прогнозировать сбои и оптимизировать производственные процессы. Это, в свою очередь, способствует снижению затрат на инфраструктуру и ускорению цифровой трансформации, а также помогает принимать более обоснованные решения на основе анализа больших объемов данных.

На текущем этапе развития промышленности активно внедряется концепция цифрового двойника, которая подразумевает создание виртуальной копии реального изделия, технологического процесса или всей производственной системы. Данная модель постоянно обновляется благодаря информации, поступающей от датчиков и корпоративных информационных систем, что позволяет

проводить анализ, прогнозирование и оптимизацию работы оборудования в цифровой среде без непосредственного вмешательства в функционирование реального производства. Согласно данным аналитической компании Gartner, к 2027 году более 40 % крупных промышленных предприятий будут использовать подобные решения. В то же время исследования MarketsandMarkets показывают, что мировой рынок цифровых двойников демонстрирует устойчивый рост, превышающий 30–35 % ежегодно.

Комплексное внедрение технологий Индустрии 4.0 формирует единый цифровой контур функционирования интеллектуального производства. Данные собираются с помощью промышленного интернета вещей и передаются в облачные платформы и системы обработки больших данных. На основе полученной информации алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения выполняют анализ, выявляют закономерности и формируют рекомендации для управления производственными процессами. Результаты затем используются в киберфизических системах и цифровых двойниках для регулирования работы реального оборудования. В процессе эксплуатации вновь генерируются данные, которые возвращаются в систему анализа, замыкая цикл непрерывного совершенствования производства.

Такой подход обеспечивает высокую степень адаптивности, способность системы к самообучению и значительное повышение эффективности функционирования современного «умного» предприятия. Другими важными направлениями Индустрии 4.0, с точки зрения развития промышленности, являются аддитивные технологии и промышленная робототехника.

К аддитивным технологиям относится 3D-печать, которая предоставляет возможность оперативного создания прототипов и малых серий деталей в соответствии с индивидуальными требованиями. Данная технология позволяет производить изделия сложной геометрии, которые невозможно изготовить традиционными методами. Согласно оценкам отчета Wohlers Report, применение аддитивных технологий в промышленности ежегодно увеличивается на 25–30%, особенно в авиакосмическом и автомобильном секторах.

Робототехника является ключевой технологией в контексте Индустрии 4.0, поскольку она обеспечивает масштабируемость производства за счет интеграции робототехнических систем, информационных и коммуникационных технологий, что позволяет производить различные модели с высокой производительностью. Однако, в силу своей технологической сложности и высокой стоимости, данное направление наименее распространено в промышленности и доступно преимущественно крупным производителям.

Оценить преимущества ключевых технологических направлений Индустрии 4.0 достаточно сложно. Исследование, проведенное Всемирным экономическим форумом совместно с McKinsey & Company на основе анализа практики так называемых «компаний-маяков», демонстрирует значительный эффект от внедрения технологий четвертой промышленной революции. Применение

решений Индустрии 4.0 способствует увеличению объемов производства на 10–200%, повышению производительности на 5–160% и улучшению общей эффективности оборудования на 3–50%.

Кроме того, цифровизация производства позволяет снизить затраты на обеспечение качества на 5–40%, повысить энергоэффективность на 2–50% и сократить продолжительность производственного цикла на 10–90%. Также наблюдается ускорение вывода новых продуктов на рынок на 30–90% и уменьшение размеров производственных партий на 50–90%, что содействует развитию более гибкого и ориентированного на потребителя производства.

Индустрия 4.0 открывает новые возможности для развития промышленности, затрагивая не только производственные технологии, но и организацию компаний, бизнес-процессы, модели получения прибыли и взаимодействие с клиентами. Внедрение цифровых технологий, автоматизации и анализа данных позволяет предприятиям быстрее реагировать на изменения на рынке, повышать производительность и снижать издержки. Это создает условия для более гибкого и персонализированного производства, выпуска продукции в режиме реального времени и ускоренного распределения товаров.

Кроме того, возрастает значение эффективного взаимодействия между участниками производственной цепочки. Вместо прежней стратегии снижения затрат через аутсорсинг и перенос производства в страны с дешевой рабочей силой, предприятия все чаще ориентируются на внедрение интеллектуальных технологий и устойчивых цифровых систем управления. В результате, Индустрия 4.0 способствует развитию гибкого массового производства, оптимизации цепочек создания стоимости и повышению общей эффективности промышленности.

Внедрение технологий Индустрии 4.0, включая промышленный интернет вещей (IIoT), большие данные, искусственный интеллект и цифровые платформы, приводит к значительной цифровой трансформации промышленных предприятий. Согласно международным исследованиям [4] [7], приблизительно половина руководителей промышленных компаний уже реализовала решения в области «умного производства», в то время как многие другие находятся на этапе проведения пилотных проектов. Более того, 59 % производителей применяют датчики IIoT как минимум в половине своих операций, что подчеркивает активное внедрение цифровых инструментов в промышленности.

Эффективность этих технологий подтверждается показателями производительности и уровня автоматизации. По данным McKinsey, использование цифровых решений и аналитики данных позволяет сократить внеплановые простои оборудования на 30–50 % [4]. Прогнозы PwC указывают на то, что доля предприятий с высокоавтоматизированными процессами вырастет с 18 % до 50 % к 2030 году [7], а 72 % компаний планируют активные инвестиции в цифровизацию, включая IIoT, искусственный интеллект и цифровые двойники. Более 80 % предприятий ожидают, что цифровые технологии значительно ускорят разработку новых продуктов и модернизацию производственных процессов, что

подтверждает их ключевую роль в повышении инновационного потенциала промышленного сектора [7].

Список использованных источников

1. Трачук А.В., Линдер Н.В. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУСТРИИ 4.0 НА ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТРАНСФОРМАЦИЮ ИННОВАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПАНИЙ. Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2020. – №11(2). – С.132-149.
2. Wohlers Associates – Wohlers Report: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry. URL: <https://wohlersassociates.com/wohlers-report/> (дата обращения 11.03.2026).
3. McKinsey & Company – Capturing the true value of Industry 4.0. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/capturing-the-true-value-of-industry-four-point-zero> (дата обращения 11.03.2026).
4. Gitnux – Digital Transformation in the Industrial Industry Statistics (2026). URL: <https://gitnux.org/digital-transformation-in-the-industrial-industry-statistics/> (дата обращения 10.03.2026).
5. Дмитриева С. В. ИНДУСТРИЯ 4.0 И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ: ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИННОВАЦИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ // Инновации и инвестиции. 2023. №6.
6. Сергей Рылов. Индустрия 4.0. URL: https://finestart.school/media/industry_4.0 (дата обращения 10.03.2026).
7. PwC – Global Industrial Manufacturing Sector Outlook (2026). URL: <https://www.pwc.com/gx/en/news-room/press-releases/2026/pwc-global-industrial-manufacturing-sector-outlook.html> (дата обращения 11.03.2026).

INNOVATIONS IN THE INDUSTRIAL SECTOR WITH INDUSTRY 4.0

Y.I. Grishina

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russia*

This article is devoted to a detailed examination of the concept of Industry 4.0. We examined the tools it encompasses, its operation, and its overall direction. We also examined the innovations Industry 4.0 can bring to industry.

Keywords: manufacturing, internet, AI, Industry 4.0, technologies, systems.

МЕНЕДЖМЕНТ ИННОВАЦИОННЫХ РИСКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Ю.И. Гришина

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
г. Казань, Россия*

Цифровая трансформация, как правило, вносит в дела промышленного предприятия некоторую неопределенность. Эта самая неопределённость порождает необходимость в эффективном управлении рисками, в связи с чем был выявлен адаптивный подход к управлению рисками, который сочетает в себе как поэтапное финансирование, так и гибкие методики управления - этот адаптивный подход, в рамках данной работы, был подробно изложен.

Ключевые слова: трансформация, управление, предприятия, инновации, методологии, индустрия, проект.

Современный этап экономического развития характеризуется переходом к шестому технологическому укладу, в рамках которого скорость внедрения цифровых технологий становится определяющим фактором конкурентоспособности. Для промышленных предприятий это подразумевает необходимость инвестирования в сложные и капиталоемкие инновационные проекты, включая создание «умных цехов» и внедрение предиктивной аналитики состояния оборудования [1, с. 22].

Тем не менее, высокая капиталоемкость и новизна подобных проектов порождают значительное противоречие. С одной стороны, отказ от цифровизации может привести к технологическому отставанию. С другой стороны, внедрение инноваций связано с рисками, уровень которых значительно превышает таковой при осуществлении текущей операционной деятельности. Традиционные методы управления рисками, основанные на экстраполяции предшествующего опыта, часто оказываются неэффективными в условиях цифровой неопределенности [2, с. 115].

Целью данной работы является систематизация специфических рисков цифровой трансформации промышленных предприятий и разработка рекомендаций по применению современных методов их управления. Анализ научной литературы и практики реализации инновационных проектов позволяет выделить четыре основные группы рисков, характерных для эпохи Индустрии 4.0 (Таблица 1).

Таблица 1 – Группы рисков при внедрении цифровых технологий на производстве

Категория риска	Примеры проявления	Факторы возникновения
Технологические	Сбои в работе ПО, несовместимость протоколов IoT, кибератаки на АСУ ТП.	Сложность интеграции новых решений с устаревшим парком оборудования (броуновское движение).
Организационные	Саботаж со стороны персонала, нехватка компетенций для работы с новыми системами.	Отсутствие цифровой культуры, страх потери рабочих мест.
Экономические	Рост стоимости проекта, недостижение запланированного ROI, кассовые разрывы.	Ошибки в ТЭО, валютные колебания при закупке импортного софта/железа.
Рыночные	Отсутствие спроса на новую услугу/продукт, появление более дешевого аналога.	Неверная оценка потребностей клиентов, быстрое устаревание технологии.

Представленная в таблице классификация рисков иллюстрирует особенности, присущие переходу предприятий к модели Индустрии 4.0. В отличие от традиционных производственных рисков, таких как поломка оборудования или сбои в поставках, цифровые риски обладают синергетическим характером: они редко проявляются изолированно и способны быстро вызывать проблемы в смежных областях.

Анализ групп рисков в их логической взаимосвязи демонстрирует, что цифровая трансформация представляет собой не линейный, а циклический процесс, насыщенный множеством обратных связей. Технологический сбой на начальном этапе может усугубить организационное сопротивление на следующем, что, в свою очередь, приведет к экономической неэффективности на третьем этапе и, как следствие, к рыночной неудаче на четвертом.

Эффективное управление в таких условиях требует перехода от статического риск-менеджмента, ориентированного на выявление и хеджирование рисков, к динамическому, предполагающему управление через итерации и быструю адаптацию. Важнейшим навыком становится не столько предсказание рисков, сколько создание организационной и технологической архитектуры, способной поглощать отклонения и быстро восстанавливаться после сбоев, что подразумевает формирование антихрупкой производственной системы.

Характерной особенностью данных рисков является их взаимосвязь: технологический сбой может привести к невыполнению ключевых показателей эффективности (KPI), что, в свою очередь, вызывает недовольство заказчика и, как следствие, экономические потери.

Традиционный каскадный метод управления проектами оказывается неприменимым для цифровых инноваций из-за невозможности точно спланировать результат на начальном этапе. В качестве альтернативы предлагается комбинированный подход.

Внедрение методологий Scrum или Kanban на уровне проектных команд способствует снижению организационных рисков. Разделение проекта на короткие итерации (спринты) позволяет:

- Быстро получать обратную связь от заказчика;
- Корректировать техническое задание в процессе разработки;
- Снизить риск создания ненужного продукта.

Для контроля экономических рисков рекомендуется использовать модель поэтапного выделения финансирования. Суть данного метода заключается в разделении инновационного проекта на фазы, в конце каждой из которых устанавливаются «ворота» – точки принятия решения о дальнейшем финансировании.

Пример расчета: предприятие планирует внедрить систему цифровых двойников.

Этап 1 (Бюджет 1 млн руб.): Разработка технического задания и пилотного прототипа на одном станке. Результат: прототип функционирует, однако точность модели ниже запланированной. Решение (ворота): доработать проект, выделить бюджет на этап 2, но с новыми условиями.

Этап 2 (Бюджет 5 млн руб.): Внедрение на участке и обучение персонала. Данный подход позволяет избежать полного исчерпания бюджета проекта в случае неудачи технической концепции на ранней стадии.

Для минимизации организационных рисков необходимо создать систему непрерывного обучения. Инвестиции в переобучение персонала должны осуществляться параллельно с инвестициями в программное обеспечение. Рекомендуется создание проектных офисов с привлечением внешних технологических партнеров (аутсорсинг компетенций).

Управление инновационными рисками в контексте цифровой трансформации требует отказа от устаревших моделей планирования. Внедрение предложенного комплекса мер, включающего гибкие методологии, поэтапное финансирование и развитие компетенций, способствует снижению вероятности неудачи инновационных проектов на промышленных предприятиях. Согласно экспертным оценкам, системный подход к управлению рисками может увеличить успешность реализации цифровых решений на 25-30% за счет своевременной остановки убыточных инициатив и концентрации ресурсов на перспективных направлениях. Будущие исследования должны быть сосредоточены на разработке количественных методов оценки предельно допустимого уровня риска для предприятий различных отраслей.

Список использованных источников

1. Смирнов А.Б. Риски Индустрии 4.0: новые вызовы для экономической безопасности // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – № 2. – С. 112-125;

2. Николаев Д.В. Развитие персонала как фактор снижения рисков цифровизации // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. – 2024. – № 1. – С. 42-48;
3. Кузьмин М.С. Управление жизненным циклом наукоемкой продукции. – М.: Машиностроение, 2022. – 312 с.;
4. Иванов В.В. Цифровая трансформация промышленности: теория и практика управления. – СПб.: Питер, 2023. – 250 с.;
5. Петрова Е.А., Сидоров К.Л. Модели управления рисками в инновационных проектах // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 7. – С. 85-91.

MANAGING INNOVATION RISKS IN INDUSTRY DURING DIGITALIZATION

Y. I. Grishina

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russia*

Digital transformation typically introduces a certain amount of uncertainty into the affairs of industrial enterprises. This uncertainty generates the need for effective risk management. Consequently, an adaptive approach to risk management was identified that combines both phased financing and flexible management methods. This adaptive approach is described in detail in this paper.

Keywords: transformation, management, enterprises, innovation, methodologies, industry, project.

УДК 001.895

УСКОРЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЧЕРЕЗ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ УНИВЕРСИТЕТА

Ю.И. Гришина

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
г. Казань, Россия*

В какой-то степени, университеты можно воспринимать, как место создания инновационных решений и это не будет ошибочным суждением. инновации, зарождаемые в институтах, необходимо выйти за пределы ВУЗа и перейти в сектор реальной экономики, вот с этим, зачастую, и возникают сложности. здесь мы рассмотрим подробнее то, как можно совершенствовать инновационную

экосистему университета, таким образом, ускорив процесс перехода инноваций за пределы стен ВУЗа.

Ключевые слова: технологии, обучение, университет, инновации, коммерциализация, МИП.

В условиях современной экономики знаний университеты перестают выполнять исключительно функции образовательных и научных учреждений, трансформируясь в центры инноваций, которые выступают в роли двигателей регионального развития и генераторов новых технологий [4, с. 33]. Тем не менее, наличие фундаментальных исследований и патентов не гарантирует их превращение в рыночные продукты.

Ключевой проблемой инновационного процесса в России является так называемая «долина смерти» (valley of death) – разрыв между этапом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), на котором результаты представлены в виде прототипов или лабораторных образцов, и этапом промышленного производства, требующим значительных инвестиций [1, с. 77]. Преодоление данного разрыва возможно лишь при наличии развитой инновационной экосистемы внутри вузов.

Цель данной работы заключается в разработке комплекса мер, направленных на совершенствование инфраструктуры и методов взаимодействия университетов с промышленными партнерами для ускорения трансфера технологий.

Анализ инновационной деятельности российских университетов выявляет характерное противоречие. С одной стороны, за последнее десятилетие в вузах была создана разветвленная инфраструктура, предназначенная для коммерциализации разработок: бизнес-инкубаторы, технопарки, центры трансфера технологий (ЦТТ) и малые инновационные предприятия (МИПы). Формально созданы все условия для продвижения идеи от стадии лабораторного образца до рыночного продукта. С другой стороны, эмпирические данные и экспертные оценки свидетельствуют о том, что реальная отдача от этой инфраструктуры значительно ниже ожидаемой [5, с. 58].

Возникает закономерный вопрос: почему наличие этих элементов не приводит к созданию функционирующей системы? Ответ заключается не в нехватке ресурсов, а в отсутствии связей между ними. Существующая инфраструктура фрагментирована: бизнес-инкубатор функционирует изолированно, МИПы существуют формально, а ученые продолжают оценивать свою эффективность по количеству публикаций, а не по востребованности разработок со стороны промышленности. Для глубокого понимания проблемы необходимо рассмотреть ее системные причины, которые носят не столько ресурсный, сколько институциональный и компетентностный характер.

Первая и основополагающая проблема связана с мотивацией. Система оценки эффективности научно-педагогических работников (НПР) в российских вузах исторически ориентирована на количественные показатели, такие как количество публикаций и патентов. Это порождает хорошо описанный в институциональной экономике феномен «имитации бурной деятельности». Патент

перестает быть инструментом защиты интеллектуальной собственности и коммерциализации, превращаясь в «отчетный показатель». Он получается без предварительной оценки рыночного потенциала, без патентных исследований и без понимания реальной потребности в данном техническом решении со стороны реального сектора. Следовательно, такой патент изначально оказывается мертвым для коммерциализации и не может стать основой для трансфера технологий.

Вторая группа проблем связана с различиями в когнитивных моделях ученых и предпринимателей. Исследователь ориентируется на категории научной новизны, технического совершенства и глубины проработки проблемы, в то время как промышленник и инвестор оценивают ситуацию через призму экономической эффективности, срока окупаемости и рыночных рисков. Этот когнитивный разрыв создает условия, которые можно охарактеризовать как «диалог глухих». Ученый, обращаясь к инвестору, начинает обсуждать технические детали разработки, в то время как инвестора интересуют юнит-экономика, объем рынка и каналы сбыта. Недостаток у разработчиков базовых предпринимательских компетенций (таких как умение упаковать проект, презентовать идею и рассчитать финансовую модель) становится критическим барьером на пути к привлечению инвестиций, даже если существует действительно прорывная технология.

Третий барьер имеет информационный характер и может быть описан с помощью классической модели рынка с асимметричной информацией (Акерлоф, 1970). Промышленные предприятия зачастую не осведомлены о текущих разработках, проводимых в профильных вузах. Университетские сайты перегружены научными отчетами, которые непонятны представителям промышленности. В свою очередь, ученые, сосредоточенные на своих исследованиях, слабо представляют актуальные запросы индустрии и текущие технологические проблемы, требующие решения. Рынок и наука существуют в параллельных информационных пространствах, и отсутствие эффективных коммуникационных каналов не позволяет этим потокам пересекаться.

Наконец, даже если разработка обладает потенциалом, а команда – мотивацией, возникает классическая проблема «долины смерти». Традиционные банковские кредиты недоступны для стартапов из-за отсутствия залоговой базы и высоких рисков. Государственные гранты, как правило, покрывают лишь этапы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, не предоставляя средств на маркетинг, доработку продукта под требования первых клиентов и создание опытно-промышленной партии. Ранние инвестиции (посевные и pre-seed) представляют собой самый рискованный этап, и частные инвесторы (бизнес-ангелы, венчурные фонды) крайне неохотно вкладываются в университетские проекты, считая их «слишком сырыми». В результате возникает инвестиционная пауза, в которой большинство перспективных разработок не доживает до выхода на рынок.

Осознание того, что перечисленные проблемы имеют системный и взаимосвязанный характер, приводит к пониманию необходимости не просто «улучшения» отдельных элементов, а изменения парадигмы управления инновациями в

вузе. Необходим переход от линейной модели (фундаментальная наука → прикладные исследования → опытное производство → рынок) к сетевой экосистемной модели. В такой модели университет выступает не только как «поставщик идей», но и как интегратор компетенций, создающий среду, в которой пересекаются наука, образование, бизнес и финансы. Предлагаемая ниже трехуровневая модель представляет собой попытку практической реализации такого подхода, где каждый уровень является логическим ответом на одну из выявленных проблем.

Трехуровневая модель формирования непрерывного инновационного потока:

1. Уровень генерации: трансформация образовательной парадигмы (реакция на компетентностный разрыв)

Попытки обучить студентов и аспирантов предпринимательству через дополнительные курсы или лекции оказываются неэффективными, поскольку предпринимательское мышление формируется исключительно через практический опыт и погружение в реальный контекст. В связи с этим на первом уровне модели предлагается системное внедрение методологии CDIO (Conceive – Design – Implement – Operate) в образовательный процесс по инженерным и естественно-научным специальностям.

Суть трансформации заключается в изменении объекта оценки. Вместо курсовой работы, которая проверяет способности студента к реферированию литературы и «списыванию» чужих расчетов, вводится проектное задание от реального индустриального партнера. Студенческая команда получает не учебную, а реальную производственную задачу, такую как проектирование участка цеха, разработка конструкции оснастки или оптимизация логистики склада. Результатом работы становится не реферат, а инженерное решение, прототип или технологическая карта, обладающие практической ценностью.

Этот подход обеспечивает тройной эффект. Во-первых, студенты по завершении обучения имеют не только диплом, но и портфолио реальных проектов, что значительно повышает их конкурентоспособность на рынке труда. Во-вторых, в процессе работы они неизбежно осваивают навыки командного взаимодействия, коммуникации с заказчиком и управления проектом, что составляет необходимый минимум для предпринимательства. В-третьих, лучшие проекты содержат потенциал для будущего стартапа, поскольку они решают актуальные проблемы реальных предприятий и, следовательно, обладают потенциальным рыночным спросом. Таким образом, образовательный процесс начинает выполнять функцию «посева» инновационных идей, которые уже прошли первичную проверку практикой.

2. Уровень коммуникации: создание «рынка идей» (реакция на информационную асимметрию)

Наличие качественных идей и прототипов не решает проблему их взаимодействия с потенциальными заказчиками или инвесторами. Традиционные формы коммуникации, такие как конференции, выставки и дни открытых дверей,

оказываются неэффективными, поскольку носят эпизодический характер и требуют от бизнеса значительных усилий для поиска необходимой информации.

В качестве решения может выступить создание постоянно действующей цифровой платформы «University Innovation Marketplace». Эта платформа должна функционировать как двусторонний рынок, соединяющий разработчиков и потребителей инноваций. Ее архитектура должна включать три ключевых модуля, обеспечивающих прозрачность и удобство взаимодействия.

Первый модуль представляет собой базу компетенций и разработок. Ключевым требованием к данному модулю является трансформация описания технологий с научного языка на язык бизнеса. Каждая разработка должна быть оформлена в виде стандартизированного паспорта, который включает не только технические характеристики, но и информацию о стадии готовности (TRL – уровень готовности технологии), потенциальных областях применения, преимуществах по сравнению с существующими аналогами и ориентировочной экономической эффективности. Такой подход позволяет представителям предприятий оперативно оценить, готов ли продукт к внедрению или требует доработки, а также определить необходимые ресурсы для этого.

Второй модуль называется «биржа задач». Это инструмент, обеспечивающий обратную связь от рынка к науке. Промышленные предприятия получают возможность размещать на платформе технологические запросы (RFP – запросы предложений), описывающие проблемы, которые необходимо решить. Ученые и студенческие проектные команды имеют возможность видеть актуальный спрос и предлагать свои концепции решений. Это преобразует университет из «башни из слоновой кости», где ученые занимаются исключительно своими интересами, в сервисную организацию, решающую насущные задачи индустрии.

Третий модуль – личный кабинет стартапа. Для проектных команд, достигших стадии юридического оформления (МИП), платформа предоставляет инфраструктуру для управления интеллектуальной собственностью (учет патентов, контроль сроков действия), финансового планирования и, что особенно важно, привлечения инвестиций. Стартап может вести открытую отчетность для потенциальных инвесторов, размещать информацию о раундах финансирования и получать обратную связь.

Уровень капитализации: перезагрузка МИПов и финансовая лестница (ответ на проблему «долины смерти»). Даже при наличии отличной идеи и налаженной коммуникации с рынком проект может столкнуться с остановкой из-за нехватки финансирования на этапе создания опытного образца или первой партии. Существующая форма МИПов, задуманная как инструмент коммерциализации, на практике часто превращается в «прокладку» для прохождения бюджетных средств или оказания незначительных услуг вузу без реального инновационного содержания.

Предлагаемая модель требует переосмысления философии МИПа. МИП должен рассматриваться не как придаток кафедры, а как самостоятельная стартап-единица, потенциально привлекательная для венчурного инвестора. Для этого необходимо создание «финансовой лестницы», позволяющей проекту

последовательно проходить все этапы развития, избегая попадания в инвестиционную пустоту. На самой ранней стадии (идея, прототип) источником средств выступают грантовые программы: Фонд содействия инновациям (программы «УМНИК», «Старт»), конкурс «Студенческий стартап» от Минобрнауки. Эти средства позволяют проводить НИОКР, изготавливать макеты и подтверждать техническую реализуемость идеи, не размывая долю основателей.

На следующем этапе, когда прототип уже создан, но его востребованность на рынке остается неясной, краудфандинг становится эффективным инструментом. Запуск кампании на платформах, таких как Boomstarter или Planeta.ru, решает две задачи одновременно. Во-первых, он позволяет привлечь финансирование (хоть и в небольших объемах) для доработки дизайна или производства первой партии продукции. Во-вторых, и это наиболее важно, он служит мощным маркетинговым инструментом: количество людей, готовых заплатить за продукт, является наилучшим свидетельством наличия рыночного спроса (валидация гипотезы).

Наконец, для проектов, успешно прошедших этапы грантового финансирования и крауд-валидации и имеющих первых клиентов, наступает время для привлечения профессиональных инвестиций. На данном этапе предлагается создание университетского венчурного фонда с участием ключевых промышленных партнеров. Такой фонд, с одной стороны, решает проблему нехватки посевных инвестиций в регионе, а с другой – укрепляет связь между крупным бизнесом и университетскими стартапами, предоставляя промышленным партнерам доступ к перспективным технологиям на ранних стадиях их развития.

Предложенная модель развития инновационной экосистемы способствует замыканию цикла трансфера технологий. Проектное обучение обеспечивает приток идей, цифровая платформа создает прозрачную среду для взаимодействия науки и бизнеса, а многоуровневая система финансирования позволяет доводить разработки до стадии рыночного продукта. Реализация этих мер позволит увеличить долю коммерциализированных разработок и укрепить позиции университета как центра технологического предпринимательства в регионе.

Список использованных источников

1. Козлова О.Н. Проблема «долины смерти» в коммерциализации научных разработок // Экономика науки. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 75-85;
2. Михайлов И.П. Цифровые платформы в управлении трансфером технологий // Инновации. – 2023. – № 12 (302). – С. 45-52;
3. Белова А.В., Громов Д.А. Инструменты финансирования молодежного технологического предпринимательства // Вопросы экономики и права. – 2024. – № 2. – С. 112-118;
4. Алексеев С.Г. Университет 3.0: новая модель вуза в инновационной экономике. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2023. – 180 с.;
5. Отчет о деятельности Министерства науки и высшего образования РФ за 2023 год. – М., 2024. – 210 с.;

6. Фатхутдинов Р.А. Инновационный менеджмент: учебник для вузов. – 8-е изд. – СПб.: Питер, 2022. – 448 с.

ACCELERATING TECHNOLOGY SPREAD BY IMPROVING THE UNIVERSITY INNOVATION ECOSYSTEM

Y.I. Grishina

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russia*

To some extent, universities can be perceived as a place where innovative solutions are created, and this is not a misconception. Innovations generated within institutions need to extend beyond the university and into the real economy, and this is where difficulties often arise. Here, we will examine in more detail how to improve the university innovation ecosystem, thereby accelerating the process of innovation transfer beyond the university walls.

Keywords: technology, education, university, innovation, commercialization, small and medium-sized enterprise.

УДК 621.314.222

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Б.А. Давлетбаев, В.К. Козлов

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассматриваются современные методы диагностики технического состояния силовых трансформаторов, применяемых в электроэнергетических системах. Особое внимание уделяется традиционным и инновационным методам контроля, включая хроматографический анализ растворённых газов, измерение частичных разрядов, вибрационную диагностику и системы онлайн-мониторинга. Рассматривается применение технологий искусственного интеллекта и имитационного моделирования для повышения точности оценки технического состояния оборудования и прогнозирования его остаточного ресурса. Показано, что комплексное использование диагностических методов и интеллектуальных систем мониторинга позволяет повысить надёжность эксплуатации силовых трансформаторов и снизить риск аварийных отказов.

Ключевые слова: силовой трансформатор, техническая диагностика, частичные разряды, хроматографический анализ, онлайн-мониторинг, искусственный интеллект.

Силовые трансформаторы являются одним из ключевых элементов электроэнергетической системы, обеспечивающих преобразование уровней напряжения при передаче и распределении электрической энергии. Надёжность их работы напрямую влияет на устойчивость функционирования энергосистемы и качество электроснабжения потребителей. Выход из строя силового трансформатора может привести к серьёзным экономическим потерям, аварийным отключениям и нарушению технологических процессов. В связи с этим диагностика технического состояния трансформаторного оборудования является важнейшей задачей современной электроэнергетики.

Существенной проблемой является старение оборудования энергетических объектов. Значительная часть трансформаторов, эксплуатируемых на подстанциях, имеет срок службы более 25–30 лет. В процессе длительной эксплуатации происходят деградация изоляционных материалов, механические деформации обмоток, ухудшение состояния магнитопровода и системы охлаждения. Такие изменения могут развиваться постепенно и долгое время оставаться незаметными, что увеличивает риск внезапных аварийных отказов.

Современная диагностика трансформаторов направлена на выявление дефектов на ранних стадиях их развития. Одним из наиболее распространённых методов является хроматографический анализ растворённых газов в трансформаторном масле. Этот метод основан на анализе газов, образующихся в результате термического или электрического разложения изоляции. Концентрация таких газов, как водород, метан, ацетилен и этилен, позволяет определить тип дефекта и стадию его развития. Хроматографический анализ обладает высокой чувствительностью и широко используется для диагностики внутренних повреждений трансформаторов.

Другим важным методом является измерение частичных разрядов. Частичные разряды возникают в локальных областях изоляции при повышенной напряжённости электрического поля и могут свидетельствовать о наличии дефектов в изоляционной системе. Регистрация и анализ характеристик частичных разрядов позволяют выявлять дефекты на ранней стадии, когда повреждение ещё не привело к пробое изоляции. Современные системы измерения частичных разрядов позволяют не только определить их интенсивность, но и локализовать место возникновения.

Большое значение в диагностике трансформаторов имеет вибрационная диагностика. Основными источниками вибрации являются магнитострикционные явления в сердечнике, электродинамические силы в обмотках и работа системы охлаждения. Анализ вибрационных сигналов позволяет выявлять механические дефекты, такие как ослабление крепления обмоток, деформацию сердечника или неисправности вентиляторов и насосов системы охлаждения. Применение спектрального анализа и современных методов обработки сигналов позволяет повысить точность диагностики.

В последние годы всё более широкое распространение получают системы онлайн-мониторинга. Такие системы позволяют осуществлять непрерывный

контроль параметров трансформатора в режиме реального времени. Для этого используются различные датчики, измеряющие температуру масла и обмоток, уровень масла, давление в баке, токи нагрузки и вибрацию. Полученные данные передаются в систему обработки информации, где анализируются с использованием специализированных алгоритмов.

Особую роль в развитии систем диагностики играют технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. Эти методы позволяют обрабатывать большие объёмы данных и выявлять скрытые закономерности, которые трудно обнаружить традиционными способами анализа. Например, нейронные сети могут использоваться для анализа результатов хроматографического анализа или данных о частичных разрядах. На основе таких данных можно не только определить текущее состояние трансформатора, но и прогнозировать вероятность возникновения неисправностей.

Перспективным направлением является применение имитационного моделирования. С помощью математических моделей можно воспроизводить различные режимы работы трансформатора и анализировать его поведение при возникновении дефектов. Моделирование позволяет оценить влияние различных факторов на техническое состояние оборудования и разработать алгоритмы диагностики. Использование имитационных моделей в сочетании с системами онлайн-мониторинга позволяет повысить точность оценки состояния трансформатора.

Комплексное применение различных методов диагностики является наиболее эффективным подходом. Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения, поэтому их совместное использование позволяет получить более полную информацию о состоянии оборудования. Например, хроматографический анализ позволяет выявлять дефекты изоляции, вибрационная диагностика – механические повреждения, а системы онлайн-мониторинга обеспечивают непрерывный контроль параметров.

Таким образом, современные методы диагностики силовых трансформаторов позволяют значительно повысить надёжность их эксплуатации. Развитие интеллектуальных систем мониторинга и применение методов искусственного интеллекта открывают новые возможности для предиктивной диагностики и управления техническим состоянием оборудования. Внедрение таких технологий способствует снижению вероятности аварийных отказов и повышению эффективности эксплуатации электроэнергетических объектов.

Список использованных источников

1. Белов Н.А. Диагностика электроэнергетического оборудования. – Москва: Энергоатомиздат, 2018.
2. Кузнецов С.А. Надёжность силовых трансформаторов в энергосистемах. – СПб.: Питер, 2019.
3. Сапожников А.В. Техническая диагностика электрических машин и трансформаторов. – Москва: Энергия, 2017.

4. Гусев А.В. Машинное обучение для предиктивной диагностики трансформаторов. – Казань: КФУ, 2024. – 200 с.

5. Орлов М.Г. Вибрационная диагностика силовых трансформаторов. – Москва: Инфра-М, 2023. – 170 с.

6. Жуков Б.И. Онлайн-мониторинг состояния электрооборудования подстанций. – СПб.: Политехника, 2025. – 240 с.

DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF POWER TRANSFORMERS

B.A. Davletbaev, V.K. Kozlov

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation*

The article discusses modern methods for diagnosing the technical condition of power transformers used in electric power systems. Particular attention is paid to both traditional and advanced diagnostic techniques, including dissolved gas analysis, partial discharge measurement, vibration diagnostics, and online monitoring systems. The use of artificial intelligence technologies and simulation modeling for improving the accuracy of condition assessment and predicting the remaining service life of equipment is considered. It is shown that the integrated application of diagnostic methods and intelligent monitoring systems improves the reliability of power transformer operation and reduces the risk of emergency failures.

Keywords: power transformer, technical diagnostics, partial discharge, dissolved gas analysis, online monitoring, artificial intelligence.

УДК 629.7.036.3:004.94

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТОК ТУРБИН

А.В. Давыденков, О.Н. Назарова

*Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева,
г. Ульяновск, Россия*

В статье представлена методика оптимизации геометрии рабочих лопаток турбины высокого давления для транспортных газотурбинных авиационных двигателей, которая основана на использовании 3D-моделирования и численного газодинамического анализа Computational Fluid Dynamics (CFD). Показано, что применение современных методов 3D-моделирования позволяет существенно

улучшить характеристики лопаточных машин без изменения массогабаритных показателей и материала, что актуально для различных видов транспорта – от авиационного до наземного и водного.

Ключевые слова: лопатка турбины, 3D-моделирование, оптимизация, вычислительная гидродинамика (CFD), газотурбинный двигатель, параметризация.

Повышение эффективности газотурбинных установок является ключевым направлением совершенствования энергетических систем современных транспортных средств. Газотурбинные двигатели (ГТД) широко применяются в авиации, на судах на подводных крыльях, в железнодорожном транспорте (газотурбовозы) и в составе энергетических установок тяжелых автомобилей. В турбине энергия газового потока преобразуется в механическую работу, необходимую для привода компрессора и вентилятора. Геометрия лопаток, работающих в условиях высоких температур и давлений, непосредственно влияет на КПД и ресурс двигателя [1, 2].

Традиционные двумерные методы проектирования не учитывают пространственный характер течения вязкого газа (вторичные течения, концевые вихри, радиальное перетекание) [3]. Развитие вычислительной гидродинамики (CFD) и систем 3D-моделирования позволяет гибко изменять геометрию лопатки по высоте пера: варьировать углы установки профиля в различных сечениях, создавать саблевидность, оптимизировать криволинейность средней линии, радиусов кромок [4, 5]. Кроме того, современные подходы к оптимизации позволяют учитывать и вибропрочностные характеристики.

Целью работы является анализ демонстрация эффективности методики оптимизации геометрии рабочей лопатки турбины высокого давления средствами 3D-моделирования и количественная оценка улучшения характеристик (путем сравнительного численного эксперимента с учетом улучшения газодинамических характеристик) на примере типичного представителя транспортного газотурбинного двигателя.

В качестве объекта исследования была использована рабочая лопатка первой ступени турбины высокого давления, характерная для двигателя среднемагистрального самолета. При этом полученные закономерности могут быть экстраполированы на ГТД наземного и водного транспорта. Исходная геометрия (вариант А) восстановлена по чертежам в программном комплексе КОМПАС-3D по пяти сечениям от втулки до периферии. Для оптимизации геометрия лопатки была параметризована: варьировались углы установки во втулочном и периферийном сечениях; положение точки максимальной кривизны спинки (от 0,4 до 0,6 хорды); радиус выходной кромки (от 0,2 до 0,5 мм); закон крутки пера по высоте.

Оптимизация (вариант Б) проведена в модуле ANSYS DesignXplorer с использованием генетического алгоритма MOGA (Multi-Objective Genetic Algorithm). Целевая функция - минимизация коэффициента потерь полного давления при фиксированном перепаде давления и ограничениях на геометрию (минимальная толщина профиля, допустимые углы атаки) [4].

Численный эксперимент выполнен в ANSYS CFX. Для обоих вариантов построена идентичная тетраэдральная сетка с призматическими слоями у стенки (общее количество 4,3 млн элементов, y^+ не превышала 2). Сеточная независимость подтверждена (разница в расчетном КПД составила менее 0,2% при измельчении сетки до 6,8 млн элементов). Граничные условия соответствуют крейсерскому режиму: полное давление 1,2 МПа и температура 1450 К на входе, статическое давление 0,4 МПа на выходе. Модель турбулентности – SST (Shear Stress Transport) (Ментера) [3, 4].

В результате на исходной лопатке (вариант А) выявлена значительная неравномерность давления: пик на входной кромке с резким падением на спинке, что характерно для диффузорного течения и способствует раннему отрыву пограничного слоя. В корневом сечении фиксировалась зона пониженного давления на спинке как отрывной пузырь. Смещение пика давления увеличивает изгибающий момент и неравномерность нагружения пера.

Визуализация течения для исходной лопатки представлена на рисунке 1. Слева показано распределение относительного давления по спинке и корытцу, демонстрирующее провал давления в зоне отрыва, а справа – визуализация линий тока в профиле корневого сечения, где отчетливо видна зона отрывного пузыря.

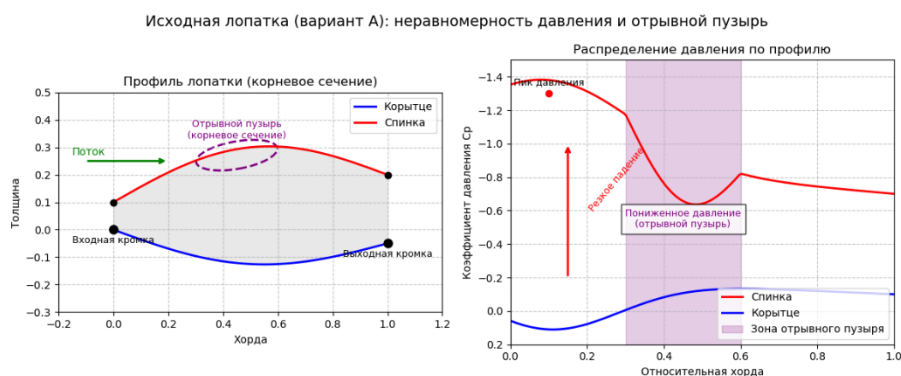


Рисунок 1 – Визуализация течения в исходной лопатке (вариант А)

На оптимизированной лопатке (вариант Б) за счет изменения крутки и введения саблевидности пера распределение давления стало более равномернее, снижен градиент на входной кромке со стороны спинки, зона пониженного давления смещена к выходной кромке (безотрывное обтекание). Коэффициент нагружения распределен по высоте равномернее, что снижает вибронапряжения и повышает долговечность.

Результаты оптимизации геометрии в ANSYS DesignXplorer показаны на рисунке 2. Слева на рисунке представлены оптимальные сечения по высоте пера с итоговыми параметрами (угол установки θ , положение максимума кривизны спинки s , радиус выходной кромки R_{te}). Справа на рисунке приведено сравнение закона крутки (изменение угла установки по высоте) для исходного (А) и оптимизированного (Б) вариантов.

Анализ линий тока и распределения энтропии (вариант А) показал наличие мощных вторичных вихрей (подковообразных и вихрей перетекания) в корневых и периферийных зонах, блокирующие проходное сечение и увеличивающие потери. Модификация втулочного сечения снизила (вариант Б) поперечный градиент давления и интенсивность концевых вихрей (70–90 % высоты пера); течение более упорядоченное, зоны повышенной энтропии оказались локализованы.

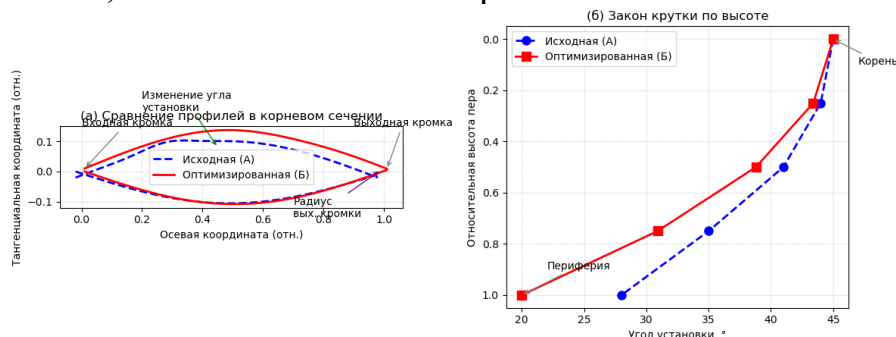


Рисунок 2 – Результаты оптимизации геометрии рабочей лопатки в ANSYS DesignXplorer

Как видно из таблицы 1 (сравнения интегральных характеристик для исходной и оптимизированной лопатки), оптимизация позволила, особенно во втулочной зоне, снизить потери полного давления на 13,3 % и повысила КПД на 1,3 процентного пункта, как следствие, уменьшению интенсивности концевых вихрей. Течение в межлопаточном канале стало более упорядоченным, зоны повышенной энтропии (потерь) оказались локализованы и существенно сократились. В таблице 2 представлено сравнение параметров исходной и оптимизированной лопаток.

Таблица 1 – Сравнение

Параметр	Исходная (А)	Оптимизированная (Б)	Изменение
Коэффициент потерь полного давления, ζ	0,045	0,039	– 13,3 %
КПД ступени, %	89,2	90,5	+ 1,3 проц. пункта
Коэффициент неравномерности потока на выходе, %	15	9	– 40 %
Максимальное число Маха	0,92	0,88	- 4,3 %
Температура на выходе (среднемассовая), К	1253	1247	- 6 К

Данная методика может быть рекомендована для внедрения в практику опытно-конструкторских работ при создании перспективных двигателей.

Список использованных источников

1. Григорьев, В.А. 3D-моделирование в авиадвигателестроении / В.А. Григорьев, И. А. Жданов. – Москва: Изд-во МАИ, 2017. – 312 с. – ISBN 978-5-7038-4920-2.

2. Иноземцев, А.А. Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.Л. Сандрацкий. – Пермь: ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1204 с. – ISBN 5-98975-028-3.

3. Батулин, О.В. Оптимизация проточной части турбин с использованием методов вычислительной гидродинамики / О.В. Батулин, Г.М. Попов, Д.А. Колмакова // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2019. – № 2. – С. 112–117.

4. Кузьмичев, В.С. Газодинамическое проектирование лопаточных машин авиационных двигателей / В.С. Кузьмичев, А.М. Туманов. – Самара: СГАУ, 2018. – 240 с. – ISBN 978-5-7883-1254-7.

5. Рожков, К.Е. Применение методов вычислительной гидродинамики для оптимизации лопаток турбин авиационных двигателей / К.Е. Рожков, А.П. Усачев // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2015. – Т. 14, № 3. – С. 171–180.

APPLICATION OF 3D MODELING METHODS TO OPTIMIZE THE GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF TURBINE BLADES

A.V. Davydenkov, O.N. Nazarova

*Ulyanovsk Civil Aviation Institute,
Ulyanovsk, Russia*

The article presents a technique for optimizing the geometry of high-pressure turbine blades for transport gas turbine aircraft engines, which is based on the use of 3D modeling and numerical gas dynamic analysis Computational Fluid Dynamics (CFD). It is shown that the use of modern 3D modeling methods can significantly improve the characteristics of paddle machines without changing the weight and dimensions and material, which is important for various types of transport – from aviation to land and water.

Keywords: turbine blade, 3D modeling, optimization, computational fluid dynamics (CFD), gas turbine engine, parameterization.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО БОРТОВОГО УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПИТАНИЕМ

Д.А. Данилов, А.Н. Шмойлов

*Приволжский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия*

В работе проанализирована проблема низкой эффективности диагностики грузовых вагонов, связанная с недостатками традиционной системы ремонтов. Продемонстрирована необходимость применения цифровых технологий и искусственного интеллекта для реализации обслуживания по фактическому состоянию. Анализ существующей системы «Цифровой грузовой вагон» позволил установить, что ключевым ограничением является обеспечение бесперебойного питания. Для решения данной проблемы разработано бортовое устройство с вибрационным пьезоэлектрическим преобразователем, утилизирующее энергию колебаний вагона для автономного мониторинга ударных воздействий.

Ключевые слова: грузовые вагоны, диагностика, пьезоэлектрический преобразователь, автономное питание, вибрация.

Железнодорожный транспорт играет важнейшую роль в экономике, обеспечивая перемещение грузов и пассажиров. Надежность и безопасность перевозок напрямую определяются исправностью всех узлов вагонов – от ходовых частей до автосцепных устройств [1]. Действующая система эксплуатации основана на планово-предупредительных ремонтах и периодических осмотрах, однако она обладает существенными недостатками: субъективность решений осмотрщика, невозможность непрерывного контроля состояния компонентов в движении и низкая точность прогнозирования отказов.

Бурное развитие цифровых технологий открывает новые возможности для технической диагностики [2]. На смену простым пороговым устройствам приходят интеллектуальные системы, способные к обучению и самостоятельному принятию решений [3]. Применение искусственного интеллекта позволяет эффективно анализировать большие объемы данных с разнообразных датчиков (температуры, вибрации, акустики, видеопотоков), выявлять скрытые закономерности и прогнозировать развитие неисправностей. Уже сегодня методы компьютерного зрения успешно используются для оценки состояния тормозных колодок, колесных пар и рам тележек.

В этой связи актуальность работы обусловлена необходимостью повышения достоверности контроля, уменьшения влияния человеческого фактора и перехода к обслуживанию подвижного состава по фактическому состоянию с элементами прогнозирования.

Далее в статье рассматриваются современные цифровые решения в области бортовой диагностики грузовых вагонов.

В качестве примера такого подхода детально проанализирована отечественная бортовая телеметрическая система «Цифровой грузовой вагон» (ЦГВ-1). Устройство устанавливается непосредственно на вагон и обеспечивает непрерывный мониторинг технического состояния и параметров движения в реальном времени. Система включает программный модуль прогнозирования износа гребня колеса на основе накопленных телеметрических данных; зафиксированы случаи успешного выявления выщербин обода колеса по показаниям датчиков. В разрабатываемой версии ЦГВ-2 планируется расширить функционал контролем давления в тормозной магистрали, температуры буксовых узлов и ускорений тележки, что позволит выйти на уровень полноценной предиктивной аналитики.

Бортовые системы, подобные ЦГВ-1, дают возможность накапливать индивидуальную историю нагрузок для каждого вагона и реализовать ремонт по фактическому состоянию с прогнозированием [4], что соответствует концепции интернета вещей (IoT) на железнодорожном транспорте.

Ключевой проблемой при создании таких систем остается обеспечение надежного и бесперебойного электропитания бортовой аппаратуры. Конструкция грузового вагона изначально не предусматривает источников энергии для диагностических и связных устройств. Это порождает ряд трудностей: ограниченный срок службы аккумуляторов (до 6 лет); отсутствие унифицированных решений: установка дополнительных генераторов обычно требует изменений в ходовой части, что существенно увеличивает капитальные затраты; тяжелые условия эксплуатации (диапазон температур от -50 до $+50$ °С, высокая влажность, запыленность, воздействие противогололедных реагентов), что требует сложных и дорогостоящих конструктивных мер для сохранения работоспособности электроники.

С учетом перечисленных факторов для совершенствования системы технического диагностирования грузовых вагонов предлагается использовать бортовое устройство диагностики, интегрированное с беспроводным модулем контроля ударных нагрузок. Основой модуля служит вибрационный пьезоэлектрический преобразователь колебаний вагона (ВПП), а конструкция устройства обеспечивает автономное электропитание.

Применение пьезоэлектрических генераторов на грузовых вагонах требует согласования с низкочастотным спектром вибраций (1,5–18 Гц) и обеспечения механической прочности при высоких ударных нагрузках. Наиболее перспективными считаются консольные (балочные) конструкции с дополнительными грузами для снижения резонансной частоты, а также многокомпонентные системы, собирающие энергию по трем осям. Достижимая мощность (до 3,5 мВт на элемент) достаточна для питания телеметрических модулей при использовании эффективных схем преобразования и накопления энергии [5]. Нерешенными остаются проблемы низкой эффективности на малых скоростях движения и долговременной надежности в суровых условиях.

Разрабатываемое устройство представляет собой автономную диагностическую систему, объединяющую функции генерации энергии от вибраций и регистрации критических ударных нагрузок. Принцип его работы основан на

прямом пьезоэффекте: механические напряжения вызывают деформацию кристаллической решетки пьезоматериала, что приводит к появлению электрических зарядов на его гранях.

Устройство крепится непосредственно на хребтовую балку рамы вагона. Внутри корпуса расположена подпружиненная масса (инерционный элемент). Жесткость пружины и величина массы подбираются так, чтобы собственная частота колебаний массы совпадала с наиболее энергоемкими частотами вибраций вагона, что обеспечивает максимальную амплитуду перемещения массы и, соответственно, наибольшую деформацию пьезоэлементов.

Используется пакет из нескольких пьезокерамических пластин (например, из цирконата-титаната свинца, ЦТС), соединенных механически последовательно (для увеличения генерируемого усилия) либо электрически параллельно или последовательно в зависимости от требуемых выходных параметров напряжения и тока.

Предложенное цифровое бортовое устройство диагностики на основе вибрационного пьезоэлектрического преобразователя является перспективным техническим решением, совмещающим автономное энергоснабжение и мониторинг критических ударных нагрузок. Его ключевая особенность – использование энергии колебаний вагона для подзарядки аккумуляторов, что позволяет создать полностью автономную систему диагностики, а применение алгоритмов искусственного интеллекта обеспечивает высокую точность распознавания дефектов.

Список использованных источников

1. Бехер, С.А., Коломеец, А.О. Повышение достоверности контроля колес грузовых вагонов в движении с использованием цифровых методов обработки информации // Дефектоскопия. – 2015. № 3. – С. 61-68. – EDN UCQYLV.

2. Ададунов, А.С. Техническая диагностика колесных пар: современные методы и средства выявления дефектов / А. С. Ададунов, С. В. Тюпин, А. М. Лапин // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2013. – № 4(24). – С. 32-35. – EDN RITTRJ.

3. Буряк, С.Ю. Диагностирование состояния поверхности катания колеса подвижного состава железных дорог / С. Ю. Буряк // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1 (43). – С. 22-29. – EDN RBGDOX.

4. Александров, А.И., Сурай, А.А., Кварацхелия, Н.Г., Назаров, И.В. Система «Цифровой грузовой вагон»: результаты испытаний прототипа // Вестник Института проблем естественных монополий: техника железных дорог. – 2021. № 4 (56). – С. 58-61. – EDN EQXOER.

5. Томилин, П.Ю., Страшко, Е.И., Жлобо, Р.А. Применение пьезоэлектрического генератора в повседневной жизни // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам шестой международной научно-практической конференции. Краснодар: ПринтТерра, – 2024. – С. 316-321. – EDN CIXCFO.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL ON-BOARD MONITORING DEVICE WITH PIEZOELECTRIC POWER SUPPLY

D.A. Danilov, A.N. Shmoilov

*Volga State Transport University,
Samara, Russia*

The paper analyzes the problem of low efficiency of freight car diagnostics associated with the shortcomings of the traditional repair system. The paper demonstrates the need to apply digital technologies and artificial intelligence to implement maintenance based on actual condition. The analysis of the existing Digital Freight Car system revealed that the key limitation is the provision of uninterrupted power supply. To address this issue, a board-mounted device with a vibration piezoelectric converter has been developed, which utilizes the energy of the car's vibrations for autonomous monitoring of impact forces.

Keywords: freight cars, diagnostics, piezoelectric transducer, autonomous power supply, vibration.

УДК 631.15.01

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Г.В. Дмитриев, С.В. Новикова

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

В статье рассматривается важность совершенствования деятельности автотранспортного предприятия с применением технологий искусственного интеллекта. Описаны основные направления применения искусственного интеллекта в деятельности автотранспортного предприятия: оптимизация маршрутов, управление автопарком, контроль грузов и безопасность.

Ключевые слова: автотранспортное предприятие, искусственный интеллект, грузовые перевозки.

В условиях глобализации экономики и усиления конкуренции на транспортном рынке повышение эффективности грузового автотранспортного предприятия (АТП) становится одной из главных задач [1]. Достижение этой цели напрямую связано с применением современных разработок, к которым относятся и технологии искусственного интеллекта (ИИ). Исследования в этом направлении являются весьма актуальными в силу необходимости совершенствовать

процессы, протекающие в АТП и улучшать планирование маршрутов в условиях растущей конкуренции и повышенных требований клиентов. Традиционные подходы, такие как эвристические методы и ручное составление маршрутов, часто не справляются с большим объёмом данных и сложностью задач, что снижает их эффективность [2]. В этой связи ИИ играет важную роль в развитии АТП, помогая оптимизировать процессы, повысить безопасность и снизить негативное воздействие автотранспорта на окружающую среду. ИИ применяется в разных аспектах: в управлении автотранспортными предприятиями, в логистике, для повышения безопасности дорожного движения и для снижения выбросов вредных веществ. Рассмотрим более подробно основные направления применения ИИ в деятельности АТП.

1. Оптимизация маршрутов. ИИ анализирует данные о дорожных условиях, пробках, погодных условиях и предпочтениях клиентов, чтобы определить оптимальные маршруты доставки. Некоторые особенности применения [2]:

- динамическая маршрутизация – это подход к планированию грузовых перевозок, при котором маршруты автоматически корректируются на основе текущих данных, так алгоритмы ИИ учитывают пробки, ремонты дорог и погодные условия, машины автоматически получают обновлённые маршруты. Динамическая маршрутизация позволяет адаптироваться к изменениям в реальном времени, учитывая дорожные и погодные условия, таможенные правила и другие факторы, а также оптимизировать маршруты, выбирая наиболее эффективные пути доставки, что сокращает расходы на топливо и время в пути. Также динамическая маршрутизация способствует улучшению прогнозирования времени прибытия, так как анализ больших данных позволяет более точно оценить время, необходимое для доставки, что содействует планированию и согласованию операций;

- прогнозирование логистических нагрузок – это процесс, направленный на определение объёмов перевозок с учётом сезонности, тенденций рынка и других факторов, чтобы оптимизировать логистические процессы и минимизировать издержки. Цель – разработать план перевозок, учитывая особенности товара, и сократить коммерческие процессы;

- оптимизация загрузки транспорта – направлена на повышение эффективности использования транспортных средств, снижение затрат на логистику и минимизацию рисков перегруза или недогруза за счет того, что продукция распределяется с учётом веса, объёма и срочности заказов. Это важно, так как большая нагрузка создаёт риски – снижение управляемости, увеличенный износ техники, повреждение части груза

В качестве примера можно привести систему ORION, которая используя возможности ИИ-технологий, анализирует пробки, параметры грузовиков и пожелания клиентов, строит маршруты с минимальным числом левых поворотов.

2. Управление автопарком. ИИ может быть внедрён в программное обеспечение для управления автопарком, чтобы автоматизировать операции. Некоторые задачи, которые решает ИИ:

– прогнозирование необходимости технического обслуживания – на основе анализа данных системы заранее определяют риски поломок и подсказывают, какие запчасти нужно проверить или заменить. Такой подход называется предиктивным техническим обслуживанием (Predictive Maintenance, PdM) и в отличие от традиционных методов, таких как плановое обслуживание или обслуживание по фактическому состоянию, предиктивное техобслуживание стремится предсказать, когда и где произойдёт поломка, чтобы предотвратить её до наступления;

– удалённая проверка технического состояния – информация от датчиков, установленных на автомобиле, поступает в центр обработки данных, в случае неисправности диспетчер оперативно получает уведомление;

– умная диспетчеризация – ИИ принимает решения о диспетчеризации на основе данных о наличии транспортных средств, квалификации водителей и других аспектах, сокращая время простоя;

В качестве примера выступает интеллектуальная система диагностики Active Monitoring, которая анализирует данные с датчиков каждого грузовика и определяет сбои в системах (например, аномальную вибрацию или температуру двигателя).

3. Контроль грузов. ИИ собирает и анализирует информацию с GPS-трекеров и датчиков, отслеживает состояние и местоположение груза, контролирует условия перевозки и своевременность доставки. Некоторые примеры применения:

– автоматизированная система инспекции груза – использует технологии компьютерного зрения и машинного обучения, фиксирует поступление грузов, определяет тип упаковки, выявляет дефекты и повреждения на поверхности грузов;

– система онлайн-контроля поставок – в реальном времени собирает данные о движении фургов, поездов и судов и таможенном оформлении, позволяет предупредить клиента о возможных задержках.

В качестве примера выступает ИИ-платформа Resilience360 от международного логистического оператора DHL, которая в реальном времени собирает данные о движении фургов и таможенном оформлении.

4. Безопасность. ИИ помогает повышать безопасность на дорогах, например:

– анализ ситуации на дороге в реальном времени – камеры и датчики, установленные на грузовиках, отслеживают движение транспорта вокруг, а ИИ анализирует полученные данные и предсказывает возможные угрозы [3]. Например, система Volvo Active Driver Assist предупреждает водителя о возможных столкновениях, используя данные с датчиков и камер;

– автоматическое торможение – используется в грузоперевозках для обеспечения безопасности транспортного средства в нештатных и критических режимах движения. Такие системы помогают предотвратить блокировку колёс при интенсивном торможении, распределить тормозное усилие между осями и колёсами, а также инициировать экстренное торможение в случае опасности (например, столкновения). В качестве примера выступают: антиблокировочная система

(ABS), электронная тормозная система (EBS) и система автоматического торможения MAN (EBA);

– распознавание усталости водителя – системы с помощью камер и датчиков следят за выражением лица водителя, его движениями и частотой моргания, чтобы своевременно предупредить о признаках усталости. Системы видеоаналитики состояния водителя становятся всё более популярными. Эти системы фиксируют отвлечения и сонливость водителя, помогая предотвратить ДТП из-за его невнимательности. При обнаружении признаков усталости система подаёт сигнал, который привлекает внимание водителя. На дисплее могут появляться различные уведомления: о необходимости отдыха, предложение сделать перерыв или напоминание сосредоточиться на дороге. Это помогает водителю быстро восстановить концентрацию и продолжить безопасное вождение. В качестве примера можно привести систему слежения за водителем «Антисон», которая основанна на технологиях компьютерного зрения и ИИ. Работа системы осуществляется следующим образом: камера, установленная на приборной панели, автоматически активируется при запуске двигателя и непрерывно анализирует состояние водителя, отслеживая более шестидесяти ключевых точек на его лице. Система использует более десяти различных параметров для оценки состояния водителя, включая частоту и интенсивность морганий, зевание, положение головы, изменения в мимике и другие физиологические индикаторы. В случае обнаружения признаков усталости или отвлечения, система незамедлительно предупреждает водителя с помощью звукового и светового сигналов, чтобы вернуть его внимание к процессу управления транспортным средством [4];

– умные системы помощи при маневрировании – например, система Truck Parking Assistance, которая использует камеры и сенсоры для мониторинга окружающей обстановки, предлагает оптимальные действия и предупреждает о возможных препятствиях. Такие системы упрощают задачу водителя, минимизируют риск столкновений и помогают избежать повреждений автомобиля из-за неправильной парковки.

Таким образом, применение ИИ в деятельности грузового автотранспортного предприятия важно для оптимизации процессов, повышения безопасности, улучшения логистики и оптимизации финансовых процессов. ИИ позволяет анализировать большие объёмы данных, автоматизировать рутинные задачи и предсказывать события, что помогает компаниям принимать обоснованные решения в режиме реального времени. Однако внедрение ИИ требует значительных вложений и глубокой перестройки бизнес-процессов АТП. Основные сложности связаны с нехваткой квалифицированных кадров, качеством исходных данных и необходимостью постоянной адаптации программного обеспечения под специфику каждого конкретного АТП.

Список использованных источников

1. Новикова, С.В. Обзор современных методов диспетчерского управления в грузовом АТП / С.В. Новикова, И.Д. Сафронюк // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса. Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. Пенза, 2025. – С. 138-142. – EDN: YCARZW.

2. Бойцов, А.С. Оптимизация маршрутов транспортной логистики с применением искусственного интеллекта / А.С. Бойцов, Е.Д. Есикова // Дискуссия. – 2024. – Вып. 133. – С. 87–91. – EDN: RREBDK.

3. Князькина, О.В. Технологии искусственного интеллекта при фиксации нарушений на автодорогах / О.В. Князькина, Р.М. Хамитов. // Компетентность. – 2025. – № 5. – С. 14–17. – DOI 10.24412/1993-8780-2025-5-14-18 – EDN: PQQSDV.

4. Колесников, С.В. Вспомогательные системы слежения за водителем грузового транспорта / С.В. Колесников, О.В. Князькина. // Школа молодых новаторов: сборник научных статей 6-ой Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, 16 июня 2025 г. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. – Том 3. – С. 283–286 – EDN: XXGHNO

THE MAIN DIRECTIONS OF APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ACTIVITIES OF A MOTOR TRANSPORT COMPANY

G.V. Dmitriev, S.V. Novikova

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia*

The article discusses the importance of improving the activities of a motor transport company using artificial intelligence technologies. The main areas of application of artificial intelligence in the activities of a motor transport company are described: route optimization, fleet management, cargo control and safety.

Keywords: trucking company, artificial intelligence, freight transportation.

УДК 621.924.93

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ШАРОВЫХ КРАНОВ

Е.В. Дмитриева, Е.П. Сёмин, П.А. Гурин, Н.А. Миронычев

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

Выполнен анализ конструктивных исполнений и физико-механических свойств материалов уплотнений шаровых кранов. Приводятся практические рекомендации по выбору материалов упругих уплотнений в зависимости от условий эксплуатации.

Ключевые слова: уплотнения, шаровый кран, герметичность, износ.

Герметичность и надежность запорной арматуры являются основными техническими параметрами, обеспечивающими отсутствие загрязнения окружающей среды и предотвращения техногенных катастроф в мировой системе нефти и газопроводов всех стран.

Конструкторские разработки ведущих специалистов арматуростроения всего мира утвердили безусловно правильные стандарты на безопасность и определили классы герметичности, принятые всеми изготовителями, экспортерами и импортерами запорной арматуры.

Таблица 1 – Применяемость материалов уплотнений в шаровых кранах

Материал	Истираемость	Стойкость к разрывам	Маслостойкость, гигроскопичность	Рабочие температуры		Стойкость к растяжению	Стойкость к УФ	Технология
				Отриц.	Положит.			
VITON®	устойчив	высокая	стойк	– 20°C	+ 200°C (250°C)	высокая	устойчив	Синтез базового полимера, компаундирование, вулканизация
PTFE политетрафторэтилен	устойчив	Удлинение при разрыве 300–350%	стойк	– 70°C	+ 260°C	Напряжение при растяжении : для незакалённых образцов составляет 13,7–24,5 МПа, для закалённых – 15,7–30,9 МПа	устойчив	получение мономера, полимеризация, очистка и формование изделий [U1]
RPTFE «армированный политетрафторэтилен»	устойчив	Удлинение при разрыве 300–350%	стойк	– 200°C	+ 260°C	Напряжение при растяжении незакалённого образца должна быть не	устойчив	экструзия

Материал	Истирае- мость	Стой- кость к разрывам	Маслостой- кость, гигро- скопичность	Рабочие температуры		Стой- кость к растяже- нию	Стой- кость к УФ	Техноло- гия
				Отриц.	Поло- жит.			
						менее 23– 27 МПа		
PEEK полиэфир- эфиркетон	устойчив	высокая	гигроскопи- чен	– 60°C	+ 250°C	высокая	устойчив	3D пе- чать
DEVLON получен из Nylon 66	высокая устойчи- вость	высокая		– 50°C	+ 200°C	высокая	устойчив	
TPU – тер- мополи- уретан	умеренно устойчив	–	гигроскопи- чен	– 40°C	+ 80°C	высокая	–	3D пе- чать, ли- тье
HNBR – гидриро- ванный нитрил-бу- тадиено- вый кау- чук, синте- тический эластомер	высокая устойчи- вость	устойчив	стойк	– 20 °C	+150 °C	устойчив	низкая	экструзи- я, ли- тье
FKM – фтороэла- стомерный материал (фторкау- чук). Также из- вестен под торговой маркой Viton.	устойчив	высокая	стойк	– 20°C	+ 200°C (250°C)	устойчив	низкая	экструзи- я
EPDM – этилен- пропилен- диеновый каучук. синтетиче- ский эла- стомер	устойчив	устойчив	стойк	– 50 °C	+150 °C	устойчив	высокая	экструзи- я, ли- тье
FVMQ фторсили- коновая ре- зина	низкая стойкость	устойчив	стойк	– 60°C	+ 180°C	устойчив	низкая	экструзи- я, ли- тье

Материал	Истираемость	Стойкость к разрывам	Маслостойкость, гигроскопичность	Рабочие температуры		Стойкость к растяжению	Стойкость к УФ	Технология
				Отриц.	Положит.			
ПА-6 капролон	—	высокая	гигроскопичен	– 40°С	+150°С	устойчив	низкая	экструзия, литье
NYLON® нейлон	низкая стойкость	устойчив	—	—	max +150°С	устойчив	низкая	экструзия, литье
Nitryl® нитриловая резина	низкая стойкость	устойчив	стойк	– 40°С	max + 300°С	устойчив	средняя	экструзия, литье
CSM (Hypalon) хлорсульфированный полиэтилен	низкая стойкость	устойчив	стойк	– 40 °С	+150°С	устойчив	устойчив	Формование, вулканизация
Силикон / Silicone	низкая стойкость	не устойчив	стойк	– 60 °С	+200°С	высокая	устойчив	—

Конструкции уплотнений фирм-изготовителей спроектированы таким образом, чтобы обеспечивать герметичность в течение всего межремонтного периода и с возможностью минимизации объема регулировочных и ремонтных работ.

Упругие свойства большинства резинопolyмерных материалов хорошо исправляют в зоне контакта погрешности формы, волнистость и даже шероховатость. Однако полностью компенсировать погрешности и обеспечить высокую степень герметичности в крупногабаритных шаровых кранах резинопolyмерными материалами *невозможно*.

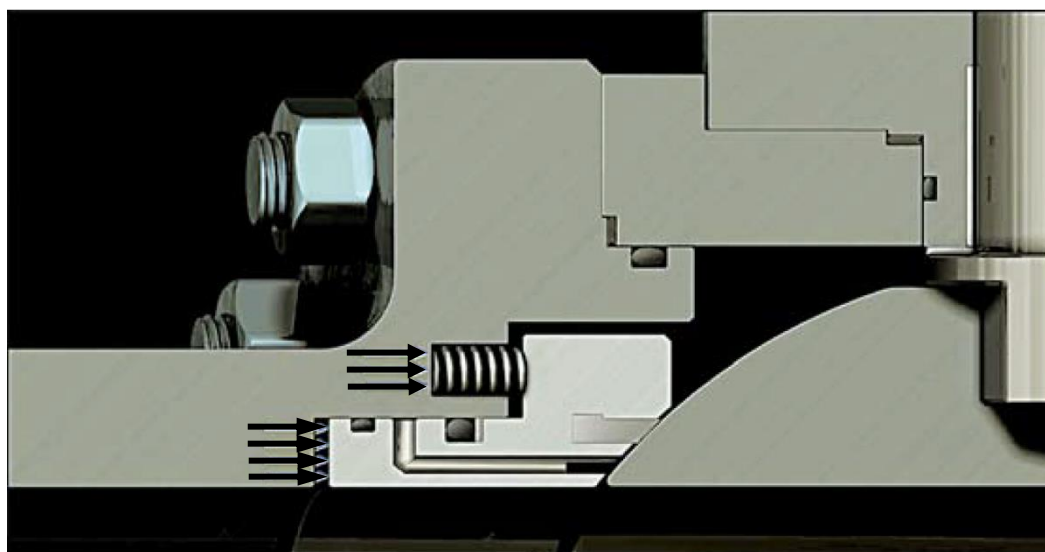


Рисунок 1 – Уплотнение шар-седло

Отработаны и стандартизованы схемы установки уплотнения из RPTFE (армированного политетрафторэтилена), DEVLON (пластмассы из Nylon 66), РЕЕК (полиэфирэфиркетона) в выточке металлического седла с поджимом пружинными см. рис.1,2,3,4. Давление рабочей среды на кольцевую поверхность седла дополнительно увеличивает силу прижима седла к поверхности пробки, обеспечивая заданный уровень герметичности (рис.1).

Конструкция кранов, в которых превышение рабочего давления внутри полости крана исключается за счет сжатия пружин и отжима (перемещения) второго седла от шара для стабилизации деления в кране (однопоршневой эффект) показана на рис.2.



Рисунок 2 – Саморазгружающиеся седла

Разработаны конструкции седел, в которых предусмотрено исключение сброса избыточного давления из полости крана за счет двойного поршневого эффекта.

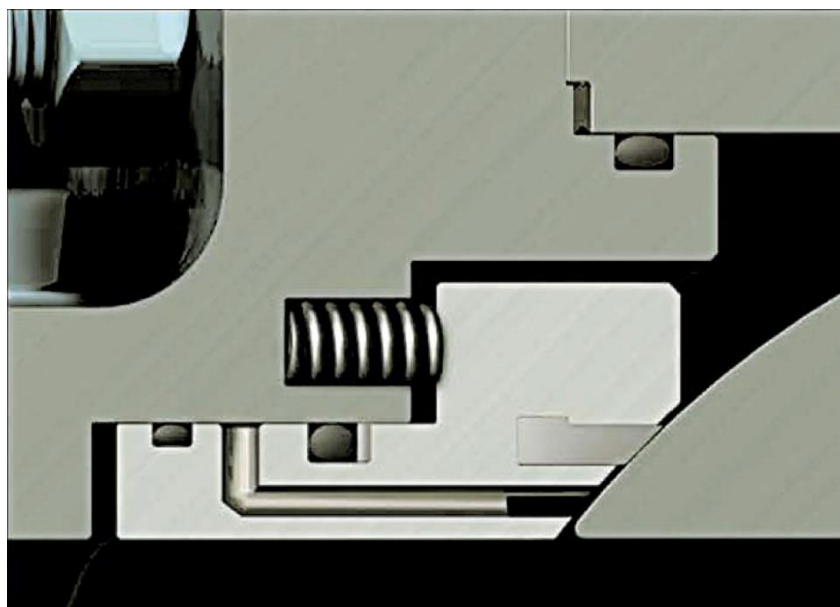


Рисунок 3 – Уплотнение седло-корпус

Применяются несколько типов уплотнений для исключения воздействия давления рабочей среды в магистрали на корпус. Первое пластичное – из эластомеров HNBR – гидрированного нитрил-бутадиенового каучука и Viton – фторкаучука. Второе – графитовое огнестойкое уплотнение.

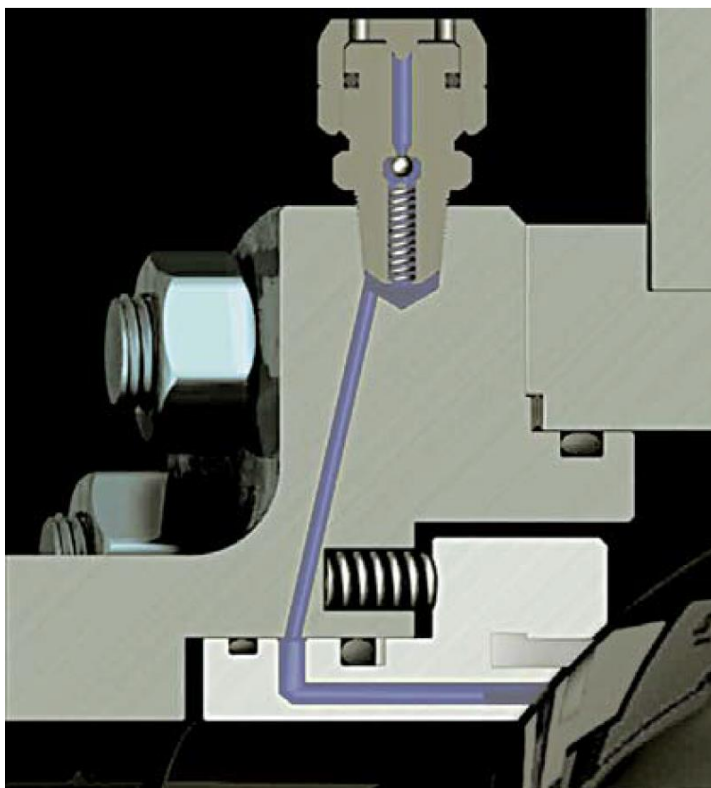


Рисунок 4 – Штуцеры подачи аварийного герметика

В конструкции шаровых кранов с цапфами изготовителями арматуры предусмотрена подача через штуцер аварийного герметика для восстановления герметичности при повреждении уплотнений и прокладок без разборки крана.

Одновременно с этим возможна регламентная очистка поверхностей шара и седла при облитерации и загрязнении примесями рабочей среды.

Герметичность зазора шток-корпус шаровых кранов номинальным давлением PN 16 - 420 обеспечивается установкой двух O-колец и сальниковой набивкой (каболкой).

Важным при проектировании трубопроводной арматуры считается вероятность возникновения при эксплуатации нештатных ситуаций. На магистральных трубопроводах возможен форс-мажор:

1. Пожар на магистральном трубопроводе;
2. Незаконные врезки с целью хищения;
3. Падение и взрыв боеприпаса БПЛА;
4. Диверсия (террористический акт);
5. Аварийный прорыв рабочей среда;
6. Наводнение с повреждением опор трубопроводов;

7. Разрушительное землетрясение.

Соответствующие конструктивные изменения вносятся после анализа всех случаев повреждений и событий, связанных с последствиями аварийных ситуаций.

Одна из модификаций трубопроводной арматуры, предусматривающей защиту изделия в техногенной аварии и сохранение герметичности – огнестойкое исполнение шаровых кранов.

Огнестойкое исполнение шаровых кранов выполнено в соответствии со стандартами API-607 и API-6FA. В случае возникновения пожара на площадке, где установлены шаровые краны, составляющие элементы, выполненные из резино-полимерных материалов (PTFE, VITON и т.п.), такие как кольцо седла, верхнее уплотнение штока, набивка сальника, межфланцевое уплотнение, выйдут из строя. В этом случае дополнительные седла металл-металл предотвратят внешние и внутренние протечки.

Список использованных источников

1. Гошко, А.И. Арматура трубопроводная целевого назначения. В 3-х кн. Кн. 2: Производство. Испытания. Монтаж. – М.: Машиностроение, 2003. – 336 с.
2. Каталог продукции. Разработчик и производитель промышленной запорной арматуры. Tecofi S.A.S. Valve designer – 83 rue Marcel Mérieux - 69960 CORBAS - FRANCE 2014. – 168с. www.tecofi.fr
3. www.amevalve.nt-rt.ru
4. <https://ptpa.ru/catalog/krany-sharovye-zapornye/?ysclid=mn22k8fb2k919909182>
5. www.ptpa.ru Techmarket.ru

ANALYSIS OF STRUCTURES AND MATERIALS OF SEALING DEVICES OF BALL VALVES

E.M. Dmitrieva, E.P. Syomin, P.A.Gurin, N.A.Mironychev

*Penza State University,
Penza Russia*

Analysis of design versions and physical and mechanical properties of ball valve seal materials was performed. Practical recommendations on selection of materials of elastic seals depending on operating conditions are given.

Keywords: seals, ball valve, leaks, tightness, wear.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОАККУМУЛЯТОРОВ

А.И. Дураков, А.А. Войнов

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В данной статье описано общее устройство теплоаккумуляторов, применяемых для быстрого запуска двигателя внутреннего сгорания, подключенных к системе охлаждения, раскрывается принцип работы, перечислены условия эксплуатации системы, положительные стороны установки системы аккумуляирования

Ключевые слова: теплоаккумулятор, эксплуатация, двигатель внутреннего сгорания, радиатор отопителя салона, зимнее время года, пуск двигателя, антифриз, клапаны, патрубки.

Чем больше объём мотора, тем больше нужен антифриз в системе охлаждения, и тем самым нужен более мощный теплоаккумулятор для его эффективного прогрева. Если зимой температура опускаются ниже -25°C , то для улучшения запуска ДВС можно применить термоаккумулятор. В процессе работы двигателя внутреннего сгорания колоссальное количество тепла впустую уходит в атмосферу. Для этого предлагается собрать это тепло накопить, сохранить и согреть наутро двигатель его же теплом, запасенным с вечера.

Система подогрева двигателя с использованием теплоаккумуляторов – это система, которая накапливает тепло, выделяемое при работе двигателя, и использует его для подогрева блока цилиндров перед следующим запуском. Термоаккумулятор интегрируется в систему охлаждения автомобиля и сохраняет температуру охлаждающей жидкости на высоком уровне в течение длительного времени после остановки двигателя.

Термоаккумуляторы должны быть расположен ниже гидравлического уровня двигателя в подкапотном пространстве автомобиля. Из одного термоаккумулятора поступает охлаждающая жидкость в ДВС, а через радиатор отопления во второй теплоаккумулятор. Таким образом прокладка между головкой блока цилиндров и самим блоком цилиндров ДВС не прогорает. Один из теплоаккумуляторов соединен с двигателем через сливную пробку, другой подключен через патрубки в малый круг, который соединён с радиатором отопления салона которая представлена на рисунке 1.

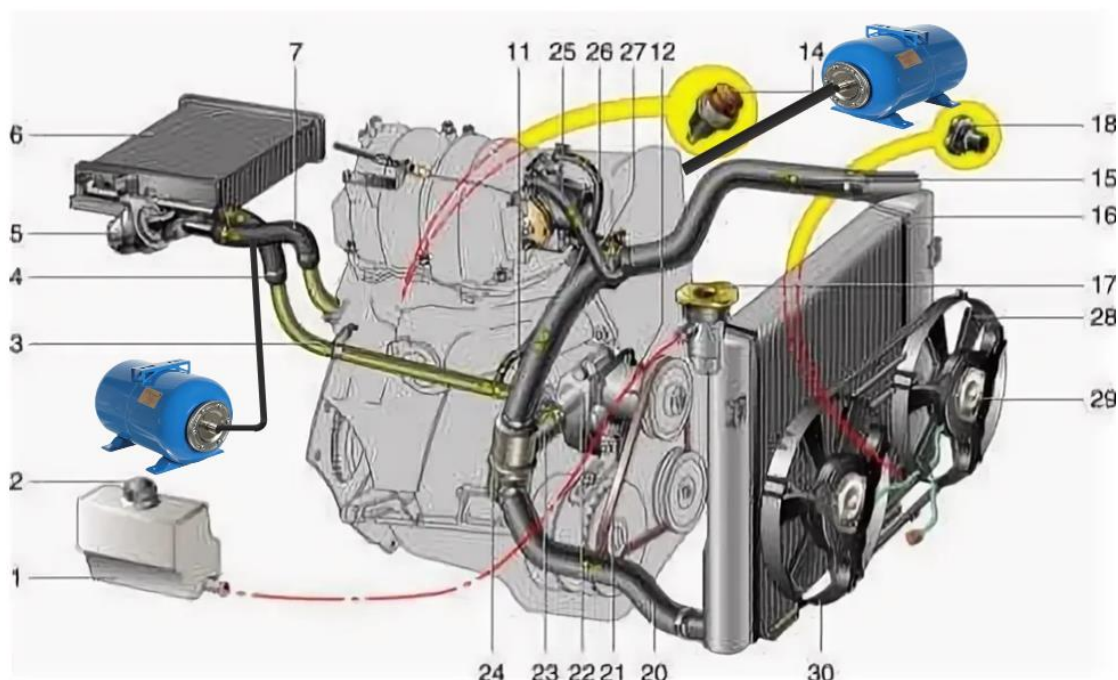


Рисунок 1 – Термоаккумуляторы в подкапотное пространство на ВАЗ 21214

Когда горячий антифриз от работающего двигателя проходит через термоаккумулятор, он нагревает систему, тем самым прогревая её. Вещество переходит из твёрдого состояния в жидкое, поглощая много тепловой энергии. Антифриз хранится в утепленном термоаккумуляторе. Перед запуском двигателя, когда начинается циркуляция сохранившего тепло антифриз, поступает в блок цилиндров, нагревает его, и возвращает в радиатор.

Термоаккумулятор по своей конструкции напоминает обычный бытовой термос, но адаптирован для работы с высокими температурами и давлением в системе охлаждения двигателя.

Основным компонентом является теплоизолированный бак. Он состоит из двух сосудов, вставленных один в другой. Внутренней колбы изготавливается из нержавеющей стали или алюминия. Именно здесь хранится горячий антифриз. Внешний корпус: Защитная оболочка, которая крепится к кузову автомобиля. Вакуумная изоляция: между стенками внутренней колбы и внешним корпусом откачан воздух (создан вакуум). Это самый эффективный способ удержания тепла, так как без воздуха теплопередача практически прекращается. Дополнительно стенки могут быть покрыты зеркальным слоем для отражения инфракрасного излучения.

Гидравлическая система (патрубки и шланги). Для интеграции в систему охлаждения двигателя термоаккумулятор имеет:

Входной патрубок: По нему горячий антифриз поступает в бак во время движения автомобиля.

Выходной патрубок: через него горячая жидкость выталкивается в блок цилиндров перед запуском.

Соединительные шланги: изготовлены из термостойкой резины, способной выдерживать давление системы охлаждения.

В системе также установлены различные клапаны. Чтобы антифриз циркулировал правильно и только тогда, когда это нужно, используются:

обратные клапаны: предотвращают самопроизвольное перемешивание горячей жидкости из термоса с холодной жидкостью в радиаторе во время стоянки.

электромагнитные клапаны переключают потоки жидкости между малым кругом охлаждения и контуром термоаккумулятора.

Для обеспечения управления системой в салон автомобиля предлагается вмонтировать система управления, включающая в себя:

электронный блок: управляет включением насоса и клапанов;

кнопка управления: выносится в салон автомобиля или подключается к дополнительному каналу автосигнализации.

датчики температуры: позволяют системе контролировать степень «заряда» и эффективность теплообмена.

Эксплуатация термоаккумулятора – это эффективный способ облегчить запуск двигателя в холодное время года и сэкономить топливо. Устройство сохраняет тепло разогретого антифриза в течение длительного времени и отдает его перед следующим запуском.

Процесс использования термоаккумулятора делится на два цикла:

- Зарядка: когда горячий антифриз циркулирует через термоаккумулятора. Устройство «заряжается», аккумулируя тепло.

- Разрядка (предпусковой подогрев): перед тем как завести холодный двигатель, включается специальный электронасос (обычно кнопкой или через сигнализацию). Насос перекачивает порцию горячего антифриза из «термоса» в блок цилиндров, а холодный антифриз из блока уходит в термоаккумулятор.

2. Правила эффективного использования

Чтобы термоаккумулятор приносил максимальную пользу, следует учитывать несколько моментов:

Регулярность поездок: термоаккумулятор наиболее эффективен, если машина эксплуатируется ежедневно. Если автомобиль стоит более 2 суток, антифриз внутри устройства неизбежно остынет (хотя и медленнее, чем в двигателе).

Длительность поездки: для полной «зарядки» ТА после использования нужно проехать достаточное расстояние, чтобы антифриз в системе снова прогрелся до рабочей температуры (80–90°C) и успел полностью смениться внутри бака-аккумулятора. Обычно для этого требуется 15–20 минут работы двигателя.

Прогрев салона: сразу после запуска двигателя с помощью термоаккумулятора в салон начинает дуть теплый воздух из печки, что значительно повышает комфорт.

3. Техническое обслуживание

Термоаккумулятор встроен в систему охлаждения двигателя, поэтому его эксплуатация напрямую связана с её состоянием:

Качество антифриза: Используйте только качественный антифриз и следите за его чистотой. Накипь и осадок могут забить клапаны или снизить эффективность теплообмена.

Отсутствие воздушных пробок: при установке и замене охлаждающей жидкости важно тщательно выгнать воздух из системы, так как ТА увеличивает общий объем контура охлаждения.

Герметичность: регулярно проверяйте места соединений шлангов, идущих к ТА, так как в системе увеличивается количество стыков и соединений.

Преимущества экономия топлива: двигатель быстрее выходит на рабочую температуру, минуя стадию прогрева на обогащенной смеси. Ресурс двигателя: снижается износ деталей, связанный с «холодным пуском». Экологичность: меньше вредных выбросов при прогреве. Автономность: Термоаккумуляторы не потребляют топливо и практически не расходует заряд аккумулятора (работает только небольшой насос в течение 1–2 минут). Мгновенный комфорт в салоне – как только заведён двигатель, антифриз уже тёплый, и печка сразу начинает дуть тёплым воздухом.

Список использованных источников

1. Патент РФ № 2657025. Устройство для облегчения холодного запуска двигателя внутреннего сгорания. <https://patents.google.com/patent/RU2268393 C1/ru>

2. Патент РФ № 2712345. Способ облегчения холодного запуска двигателя внутреннего сгорания и устройство для его реализации. <http://www.findpatent.ru/patent/202/2025784.html>

3. Двигатели внутреннего сгорания: Учебник для вузов / В. Н. Луканин, И. В. Алексеев, М. Г. Шатров и др.; Под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова. – 3-е изд. перераб. – М.: Высш.шк., 2007. – 400 с. <https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Flibdb.polymus.ru>

4. XVIII Международная научно-практическая конференция «Перспективные направления развития автотранспортного комплекса». Под общей редакцией В.В. Салмина. СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРОМ. Авторы: А.А. Войнов, С.В. Ключков, А.И. Дураков, В.В. Мокшанцев, 2025. – С. 3-7. Издательство: Пензенский государственный аграрный университет (Пенза) Ноябрь 2024 г. <https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fwww.konferencii.ru%2Finfo%2F138441&utf=1>

IMPROVING INTERNAL COMBUSTION ENGINE STARTING WITH THE USE OF HEAT ACCUMULATORS

A.I. Durakov, A.A. Voynov

*Penza State University Penza,
Russia*

This article describes the general design of heat accumulators used to quickly start internal combustion engines connected to the cooling system. It also describes

their operating principle, the operating conditions, and the installation of the positive side of the heat accumulator system.

Keywords: heat accumulator, operation, internal combustion engine, interior heater core, winter, engine starting, antifreeze, valves, pipes.

УДК 629.7.08:004.352.22

ПРИМЕНЕНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ С ЦЕЛЮ ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Д.Ю. Загоскин, Е.А. Сидорин, О.Н. Назарова

*Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева,
г. Ульяновск, Россия*

В статье рассмотрены процессы преобразования физических объектов в цифровые модели и этапы обратного инжиниринга и представлены преимущества данного подхода

Ключевые слова: 3D-сканирование, обратный инжиниринг, твердотельная модель.

3D-сканирование является основой реверс-инжиниринга и наиболее перспективным направлением для обслуживания сложных механических изделий. Суть метода заключается в том, что по физическому образцу детали восстанавливается её цифровая модель, пригодная для производства [1].

Обратный инжиниринг позволяет анализировать физические детали и исследовать, как они изначально изготавливались, для копирования, создания вариантов или улучшения конструкции. Цель состоит в том, чтобы в конечном итоге создать новую CAD-модель для производства. Одной из самых больших проблем в процессе преобразования физических объектов в числа является серьёзная несовместимость двух разных типов 3D-моделей: сетка и объект [1,3].

Сетка является основным выходом всех 3D-сканеров и является распространенным форматом (STL). Сетка представляет собой поверхность объекта, состоящую из множества треугольников, соединённых друг с другом рёбрами. Помимо положения треугольников, задающих форму, сеточная модель не содержит никакой другой информации об объекте.

С другой стороны, инженеры обучены работать с твердотельными моделями. Твердотельная модель содержит информацию о способе разработки объекта, которая явно закодирована в модели в виде последовательности логических шагов, или «конструктивных элементов». В твердотельном САПР можно изменить размер отдельного элемента, и остальная часть модели обновится соответствующим образом.

Из-за того, что в сетке отсутствует информация о построении объекта, возможности её изменения ограничены, и такие САПР, как SolidWorks и Onshape, не могут напрямую редактировать сетку. Если необходимо внести существенные изменения в базовую конструкцию отсканированной детали, нужно преобразовать сетку в твердотельный чертёж САПР. Этот процесс называется обратным инжинирингом.

Процесс обратного инжиниринга включает несколько ключевых этапов:

1. 3D-сканирование. Деталь отцифровывается с помощью высокоточного сканера (например, структурированного подсвета или лазерного трекара). На выходе получается «облако точек» или полигональная сетка, сохраняемая в формате STL/OBJ. Эта сетка точно повторяет геометрию объекта, но представляет собой лишь набор треугольников без какой-либо смысловой информации о конструкции.

2. Обработка сканов. В ходе сканирования сканером создаётся хаотичная сетка (или облако точек), которая в последующем будет дорабатываться для будущего использования. Для изменения размеров объекта используется функция параметризации.

3. Форматирование сетки (облака точек) в модель. Это самый ответственный этап, так как сетку можно только «деформировать» по заданным осям(x , y , z). Для форматирования используются специальные программы, нацеленные на работу с сеткой (облаком точек) и последующим созданием модели. Специалисты, работающие в CAD-системах (SolidWorks, Onshape, NX и других) преобразуют хаотичные данные в структурированный объект, с целью воссоздания точной копии оригинала (рисунок 1).

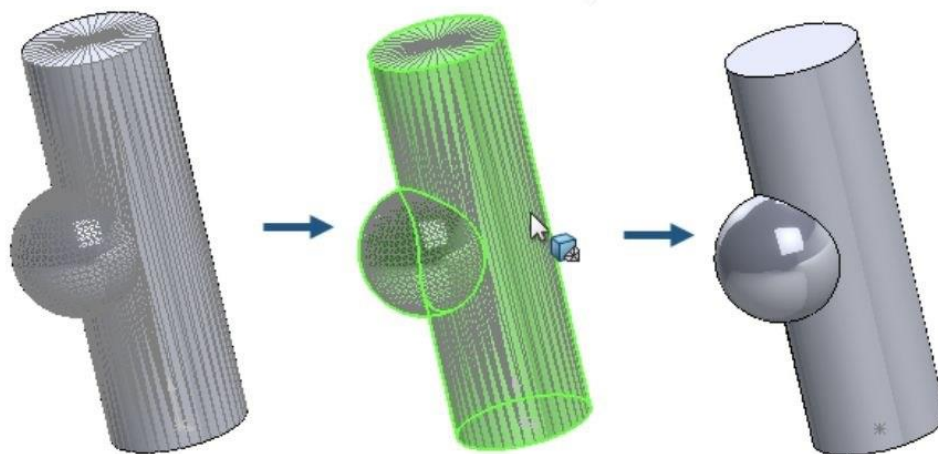


Рисунок 1

Преобразование осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения ПО [4] (Geomagic Design X, Quicksurface, CATIA) или ручное моделирование «по сетке». Для этого анализируется геометрия скана, воссоздаются конструктивные элементы, выявляются исходные форм-факторы и реализуются в твердотельной модели (рисунок 2).

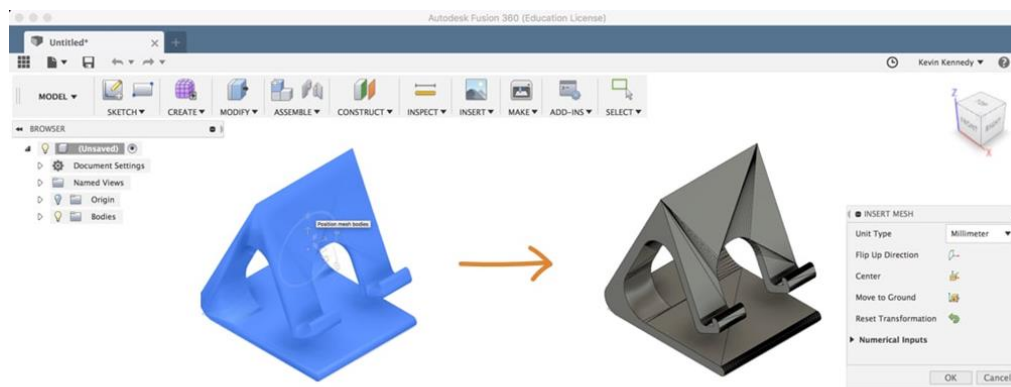


Рисунок 2

4. Чертёж и сертификация. После получения данных из твердотельной модели, проводится ряд документации с целью получения сертификата о соответствии исходной объекта с полученным.

Конечно же уделяется особое внимание точности и прочности детали. Допускается, что модель будет с погрешностью в сотые доли миллиметр, так как будет использоваться аналогичный материал или замена в виде полимеров и сплавов. Для обеспечения высокой точности используется 3D-оборудование.

Можно сделать вывод, что за реверс-инжинирингом с помощью 3D-сканеров, будущее:

Опираясь на оригинал, воссоздаётся чертёж. Это будет являться не копированием, а воссозданием инженерной мысли и последующим улучшением детали (будет использоваться другой материал, будут какие-то доработки). Перспективность обратного инжиниринга с помощью 3D-сканирования объясняется расширенными возможностями по импортозамещению, а также возможностями адаптации под имеющиеся материалы, особенности технологий на производстве. Кроме этого, основным достоинством является возможность создания банка цифровых моделей для дальнейшего их использования.

Список использованных источников

1. Чэн Гуан. Технология применения обратного инжиниринга в авиационном ремонте // Авиационный ремонт и инженерия. – 2005. – № 4. – С. 47-48
2. Кугаевский, С.С. Реверс-инжиниринг и быстрое прототипирование в машиностроении: учебно-методическое пособие / С.С. Кугаевский ; под редакцией О.Г. Блинкова. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2023. – 98 с.
3. Водин, Д.В. Применение 3D-принтеров и 3D-печати для создания прототипа технических систем / Д.В. Водин, М.В. Соколов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы II Международной научно-практической конференции. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2016. – Т. 1. – С. 45-50.

4. Чэн Сыюань, У Вэньтин, Ян Сюэжун, Чжан Хун, Чжан Сяньвэй. Быстрое восстановление поверхности на основе Geomagic Studio // Современное машиностроительное производство. – 2011. – № 1. – С. 8-12.

USING 3D-SCANNING FOR PARTS MAINTENANCE

D.Y. Zagoskin, E.A. Sidorin, O.N. Nazarova

*Ulyanovsk Civil Aviation Institute,
Ulyanovsk, Russia*

This article examines the processes of converting physical objects into digital models and the stages of reverse engineering, and presents the advantages of this approach.

Keywords: 3D scanning, reverse engineering, solid model.

УДК 621.317.39:621.311:620.9

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ВОДОРОДНЫМ НАКОПЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ

А.И. Зайнидинов, В.Д. Сандаков

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассматриваются современные подходы к применению методов искусственного интеллекта для оптимизации функционирования гибридных энергосистем, интегрирующих возобновляемые источники энергии и системы водородного накопления. Проведен анализ основных направлений использования ИИ: прогнозирование генерации и потребления, интеллектуальное управление потоками энергии, совместная оптимизация мощности и режимов работы накопителей. Особое внимание уделено гибридным алгоритмам, сочетающим глубокое обучение с методами математического программирования и эвристической оптимизации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, гибридные энергосистемы, водородное накопление энергии, машинное обучение, глубокое обучение с подкреплением.

Глобальный энергетический переход характеризуется стремительным ростом доли возобновляемых источников энергии в структуре генерации. Однако стохастическая природа солнечной и ветровой генерации создает существенные проблемы для обеспечения надежности энергоснабжения. Решением данной

проблемы выступают гибридные энергосистемы, интегрирующие различные типы накопителей. Среди них особое место занимают системы с водородным накоплением, которые благодаря высокой энергоемкости и возможности долгосрочного хранения позволяют осуществлять сезонное выравнивание графика нагрузки. Водород выступает эффективным решением для долгосрочного хранения энергии и может производиться с помощью электролизеров, использующих электроэнергию от солнечных или ветровых установок.

Сложность управления такими системами обусловлена необходимостью одновременного учета множества факторов: прогноза погоды и нагрузки, технических ограничений оборудования, экономических показателей, деградации компонентов. Традиционные методы управления на основе жестких логических правил не способны обеспечить оптимальную работу в таких условиях. Это создает запрос на применение методов искусственного интеллекта, способных адаптироваться к изменяющимся условиям и находить оптимальные решения в режиме реального времени.

Гибридная энергосистема с водородным накоплением включает несколько ключевых компонентов: возобновляемые источники (фотоэлектрические панели, ветротурбины), электролизер для производства водорода, систему хранения водорода, топливные элементы для обратной генерации электроэнергии и, как правило, буферные накопители на основе литий-ионных аккумуляторов для сглаживания краткосрочных колебаний [1].

Задачи оптимизации таких систем можно разделить на три уровня:

- стратегическое планирование (определение оптимальной мощности компонентов);
- оперативное управление (распределение потоков энергии в режиме реального времени);
- предиктивное обслуживание (прогнозирование отказов и деградации оборудования).

Основой эффективного управления гибридными системами является точное прогнозирование поступления энергии от возобновляемых источников и уровня потребления. Традиционные статистические методы уступают место алгоритмам глубокого обучения. В регионе Асуан (Египет) – одного из наиболее солнечных регионов мира, – применялась гибридная модель на основе долгой краткосрочной памяти (LSTM) для прогнозирования генерации с 15-минутным интервалом. Достигнутая точность прогнозирования (средняя абсолютная процентная ошибка 4,8%) позволила существенно повысить эффективность управления водородным накопителем.

LSTM-сети особенно эффективны для временных рядов благодаря способности запоминать долгосрочные зависимости, что критически важно для учета сезонных и циклических паттернов в энергетике [2].

Наиболее широкий класс задач связан с оперативным управлением распределением энергии между потребителем, накопителями и сетью. Здесь применяются различные подходы: от нечеткой логики до глубокого обучения с подкреплением.

Концептуальная модель SAEО (Smart Adaptive Energy Optimization), предложенная в международном журнале IJECs, демонстрирует интеграцию возобновляемых источников, систем хранения (включая водородные) и газопаротурбинного цикла с адаптивными алгоритмами предиктивного управления. Результаты показывают, что внедрение разработанных адаптивных алгоритмов повышает общую эффективность системы и снижает нормированную стоимость энергии по сравнению с традиционными схемами управления на основе фиксированных логических правил.

Особый интерес представляет метод глубокого обучения с подкреплением (Deep Reinforcement Learning, DRL), который позволяет агенту обучаться оптимальной стратегии путем взаимодействия со средой. Китайские исследователи предлагают двухуровневую структуру совместной оптимизации, интегрирующую DRL и смешанное целочисленное программирование (MIP) [3]. Внешний уровень с использованием алгоритма TD3 выполняет конфигурацию мощности, внутренний уровень с решателем Gurobi обеспечивает оптимальную эксплуатацию при заданных ограничениях. Результаты впечатляют: снижение затрат на 4,67% по сравнению с генетическим алгоритмом и на 1,31% по сравнению с роевым алгоритмом, при этом время вычислений составляет всего 0,52% и 0,58% от времени традиционных методов.

Уникальным преимуществом водородных систем является возможность сезонного накопления энергии. Нидерландские ученые демонстрируют применение глубокого обучения для оптимизации гибридной ветро-солнечно-водородной системы для теплоснабжения в городе Энсхеде. Разработанный адаптивный пиковый регулятор позволил снизить пиковые нагрузки на сеть на 72%, направляя избыточную возобновляемую электроэнергию на производство зеленого водорода, который хранится и используется в холодные периоды. Сочетание глубокого обучения с генетическим алгоритмом значительно снизило вычислительные затраты при сохранении точности прогнозирования.

Важным направлением применения ИИ является предиктивное обслуживание водородных систем. Исследователи из Университета Уэльсы разработали гибридную концепцию искусственного интеллекта, объединяющую глубокое обучение с подкреплением и LSTM для интеллектуального обслуживания электролизеров. DRL-алгоритм определяет среди множества параметров те, которые имеют наибольшую корреляцию с критическим параметром (в данном исследовании – температурой водорода). Выявленная температура охлаждающей воды с коэффициентом корреляции 0,99 подается на вход LSTM для прогнозирования температуры водорода с ошибкой 0,1351. Прогнозируемые значения могут использоваться для управления или отключения электролизера в случае отказа реального датчика [4].

Применение машинного обучения в водородных системах охватывает все этапы цепочки создания стоимости: производство, хранение и использование. Перспективным направлением выступает создание физико-информированных моделей искусственного интеллекта (physics-informed AI), которые встраивают

физические принципы в архитектуру нейронных сетей, что повышает точность и надежность прогнозов, особенно в условиях ограниченности данных.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что применение методов искусственного интеллекта является необходимым условием реализации потенциала гибридных энергосистем с водородным накоплением. Современные исследования демонстрируют высокую эффективность гибридных подходов, сочетающих глубокое обучение (особенно LSTM и DRL) с методами математического программирования и эвристической оптимизации.

Ключевыми преимуществами применения ИИ выступают: повышение точности прогнозирования генерации и потребления, оптимизация режимов работы оборудования в реальном времени, совместная оптимизация мощности и эксплуатации накопителей, прогнозирование деградации и отказов. Количественные результаты впечатляют: снижение затрат до 5%, сокращение времени вычислений на порядки, уменьшение потерь энергии на 21-35%, повышение доли самопотребления возобновляемой энергии до 90% [5].

Перспективными направлениями дальнейших исследований выступают: физико-информированные модели ИИ, федеративное обучение для распределенных энергосистем, квантовые алгоритмы оптимизации, а также интеграция водородных систем в концепцию "умных городов" с обеспечением кибербезопасности и устойчивости к отказам.

Список использованных источников

1. Бабаян Г.В. Использование искусственного интеллекта для оптимизации работы сети электрозаправок: опыт Калифорнии и перспективы в Европе // *Universum: технические науки*. 2024. №11 (128). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-dlya-optimizatsii-raboty-seti-elektrozapravok-opyt-kalifornii-i-perspektivy-v-evrope> (дата обращения: 12.03.2026).
2. Alharbi, H.A., Ayub, N. Optimizing Electric Vehicle (EV) Charging with Integrated Renewable Energy Sources: A Cloud-Based Forecasting Approach for Eco-Sustainability, 2024.
3. Chen, Q., Folly, K.A. Application of Artificial Intelligence for EV Charging and Discharging Scheduling and Dynamic Pricing, 2023.
4. Применение искусственного интеллекта для обслуживания водородных систем в «умном городе». – [Электронный ресурс], - URL: <https://produccioncientifica.uhu.es/documentos/68ffc48726b69773462cc179> (дата обращения 12.03.2026).
5. Лунд Х. Возобновляемые энергетические системы: интеллектуальный подход к выбору и моделированию решений, полностью основанных на возобновляемых источниках энергии. Academic Press, 2014. 384 с.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO OPTIMIZE THE OPERATION OF HYBRID POWER SYSTEMS WITH HYDROGEN ENERGY STORAGE

A.I. Zainidinov, V.D. Sandakov

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

The article discusses modern approaches to the application of artificial intelligence methods to optimize the functioning of hybrid energy systems integrating renewable energy sources and hydrogen storage systems. The analysis of the main directions of using AI is carried out: forecasting generation and consumption, intelligent control of energy flows, joint optimization of power and operating modes of storage devices. Particular attention is paid to hybrid algorithms that combine deep learning with mathematical programming and heuristic optimization methods.

Keywords: artificial intelligence, hybrid power systems, hydrogen energy storage, machine learning, deep reinforcement learning.

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛА ПРИ ВЕРШИНЕ ЗЕРНА ПРОФИЛЬНОГО АЛМАЗНОГО КРУГА НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

A.E. Зверовщиков, Ю.Н. Кошелева, А.А. Кривоzubов, А.А. Петрякова

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

Глубинное шлифование профильными алмазными кругами является эффективным методом обработки твердосплавных изделий. Данный метод широко применяется при заточке фасонного твердосплавного режущего инструмента. Высокие температуры в зоне обработки негативно сказываются на качестве поверхностей обрабатываемых изделий. Тепловыделение в зоне обработки определяется прежде всего силами резания. Для расчета сил резания единичным зерном необходимо знать значение угла при вершине алмазного зерна. В статье представлены результаты измерения угла при вершине алмазного зерна, а также сделаны выводы о возможности использования результатов измерений для расчета сил резания.

Ключевые слова: глубинное шлифование профильными алмазными кругами, угол при вершине зерна, сила резания единичным зерном.

Профильное алмазное глубинное шлифование кругами на металлических связках является перспективным методом обработки изделий из

труднообрабатываемых материалов [1]. Данный метод широко применяется при заточке фасонного твердосплавного инструмента. Повышенные температуры, возникающие в зоне резания, негативно влияют на качество обработанных изделий [2]. Поэтому исследование температур, возникающих в зоне обработки, и сил резания является важной задачей.

Для расчета сил резания единичным зерном важной задачей является исследование формы алмазного зерна и определение угла при вершине зерна [3].

Алмазное зерно представляет собой кристалл неправильной формы. В работах представителей различных школ, изучающих процесс резания единичным зерном [4,5], абразивные зерна аппроксимировались разными геометрическими фигурами: шарами, пирамидами, различными поверхностями вращения, вариационными многогранниками [4]. Однако, для определения силы резания единичным зерном [3] важно знать угол при вершине зерна. Согласно ГОСТ [6] на алмазные порошки основной массив зерен представлен изометрическими зернами.

Для изучения формы алмазного зерна исследован алмазный профильный круг с маркой зерен АС6, зернистостью 125/100, концентрация алмазов 100%. Исследования проводились на электронном микроскопе Insein Li Fung 500X, максимальное увеличение 100 крат. Фотографии алмазных зерен круга зернистостью 125/100 представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фрагмент поверхности круга с зернистостью алмазных зерен 125/100 (увеличение 100х)

Результаты измерения угла при вершине зерна представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Измерения угла при вершине алмазного зерна для круга зернистостью 125/100

№ зерна	Угол при вершине зерна, 0	№ зерна	Угол при вершине зерна, 0
1	140	26	149
2	150	27	148
3	124	28	165
4	161	29	140
5	139	30	155
6	141	31	135
7	153	32	140
8	134	33	132
9	144	34	130
10	119	35	156
11	132	36	145
12	161	37	130
13	124	38	148
14	103	39	138
15	128	40	141
16	130	41	133
17	127	42	139
18	139	43	132
19	137	44	144
20	140	45	143
21	123	46	137
22	163	47	141
23	140	48	148
24	132	49	130
25	144	50	139
Среднее 139,3200, дисперсия $S^2=139,0721$, стандартное отклонение $S=11,79$, доверительный интервал $\Delta a_i = \pm 3,27$			

На основании измерений (таблица 1) можно сделать вывод, что угол при вершине зерна составляет 130-1500, что коррелирует с известными данными [6]. Средний угол при вершине зерна для круга зернистостью 125/100 составил 139,3200 с доверительным интервалом $139,3200 \pm 3,27$ [7].

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что для учета формы алмазного зерна при расчете сил резания единичным зерном [3], можно принять значение угла при вершине зерна 1400.

Список использованных источников

1. Абдулгазис Д.У., Абдулгазис У.А., Братан С.М. Оценка целесообразности применения алмазных шлифовальных кругов для обработки твердых сплавов в режиме глубинного шлифования// Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2022. – №3 (77). – с. 123-128.
2. Безъязычный В.Ф., Голованов Д.С. Качество поверхностного слоя деталей из титановых сплавов при глубинном шлифовании// Вестник РГТА имени П.А. Соловьева. 2017. N3(42) с. 65-69.
3. Воячек И.И., Кошелева Ю.Н. Определение сил резания при глубинном алмазном шлифовании. – Современные проблемы машиностроения: труды VI Международной научно-технической конференции; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011., с. 243-245.
4. Зверовщиков А.Е. Технологическое обеспечение качества поверхностей деталей при многофункциональной центробежно-планетарной объемной обработке: диссертация доктора технических наук: 05.02.08, 05.02.07 / Зверовщиков Александр Евгеньевич; [Место защиты: Пенз. гос. ун-т]. – Пенза, 2013. – 566 с.
5. Федотов В.В. Повышение эффективности шлифования цементированных заготовок путем выбора рационального режима обработки и характеристики абразивного круга: дис. кандидата технических наук: Волгоград, 2025, 244 с.
6. ГОСТ 9206-80 Порошки алмазные. Технические условия. М.- 1980, 55 с.
7. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – Москва: Машиностроение, 1981. – 184 с.

STUDY OF THE ANGLE AT THE TOP OF A PROFILE DIAMOND CIRCLE ON A METAL LINK

A.E. Zverovshchikov, Yu.N. Kosheleva, A.A. Krivozubov, and A.A. Petryakova

*Penza State University,
Penza, Russia*

Deep grinding with profile diamond wheels is an effective method of processing hard alloy products. This method is widely used for sharpening shaped hard alloy cutting tools. High temperatures in the processing zone have a negative impact on the quality of the surfaces of the processed products. The heat generation in the processing zone is primarily determined by the cutting forces. To calculate the cutting forces of a single grain, it is necessary to know the value of the angle at the apex of the diamond grain. The article presents the results of measuring the angle at the apex of the diamond grain and concludes that the measurement results can be used to calculate the cutting forces.

Keywords: deep grinding with profile diamond wheels, grain apex angle, single grain cutting force.

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В.Д. Здоровцев

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Анализируются особенности эксплуатации аварийно-спасательных машин, а также факторы, влияющие на эффективность использования техники, требования к надежности и техническому обслуживанию.

Ключевые слова: аварийно-спасательные машины, эксплуатация, техническое обслуживание, чрезвычайные ситуации, безопасность.

Аварийно-спасательные машины являются важнейшим элементом системы реагирования на чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, так как их основное предназначение заключается в оперативной доставке спасательных подразделений, оборудования и выполнении широкого спектра аварийно-спасательных работ. Они активно используются и для проведения разведки и оценки обстановки в зоне чрезвычайной ситуации, чтобы своевременно определить масштабы разрушений, выявить потенциальные угрозы и выбрать оптимальную тактику действий. Кроме того, данные машины оснащаются специализированным оборудованием, обеспечивающим поиск и извлечение пострадавших из-под завалов строительных конструкций, а также оказание им первой медицинской помощи непосредственно на месте происшествия.

И как стало понятно, такие машины в отличие от обычных транспортных средств, эксплуатируются в условиях повышенного риска и неопределенности, что создает особые требования к их конструкции и эксплуатации.

Аварийно-спасательные машины представляют собой специализированную технику, включающую различные виды транспортных средств, адаптированных для выполнения конкретных задач. К ним относятся пожарные автомобили, инженерно-спасательные комплексы, машины радиационной и химической разведки, а также медицинские автомобили. При этом, каждая из этих категорий имеет свои конструктивные особенности, что напрямую влияет на условия их эксплуатации.

Одной из ключевых особенностей эксплуатации аварийно-спасательных машин является работа в экстремальных условиях, так как техника может использоваться при высоких температурах, характерных для пожаров, при низких температурах в северных регионах, а также в условиях повышенной влажности, задымления и химического загрязнения. Это требует применения материалов с высокой устойчивостью к агрессивным воздействиям, обеспечения герметичности узлов и наличия специальных защитных систем.

При этом эксплуатация техники строго регламентируется нормативными документами. В частности, запрещается использование нештатных

транспортных средств или замена специализированной техники легковыми автомобилями, даже при наличии их в распоряжении подразделений. Это требование обусловлено необходимостью обеспечения надежности, безопасности и ответственности техники установленным стандартам.

Другой важной особенностью является нерегулярный характер эксплуатации, так как в отличие от большинства транспортных средств, аварийно-спасательные машины длительное время могут находиться в режиме ожидания, после чего подвергаться интенсивной эксплуатации в условиях чрезвычайной ситуации. Такой режим работы предъявляет особые требования к поддержанию постоянной готовности техники, включая обеспечение быстрого запуска, надежности всех систем и минимального времени приведения в рабочее состояние.

Техническая готовность определяется рядом обязательных условий. Прежде всего, это исправное техническое состояние всех узлов и агрегатов, исключающее наличие неисправностей. Не менее важным является наличие достаточного количества горюче-смазочных материалов, огнетушащих веществ и других эксплуатационных ресурсов. Машины должны быть полностью укомплектованы пожарно-техническим вооружением и инструментом в соответствии с установленными нормами и требованиями охраны труда. Дополнительно предъявляются требования к внешнему виду техники, включая окраску, маркировку и надписи, которые должны соответствовать действующим государственным стандартам. А любое несоответствие указанным требованиям означает, что техника признается неисправной. В таком состоянии её эксплуатация категорически запрещается, поскольку это может привести к снижению эффективности работ и возникновению угрозы для личного состава и пострадавших.

Повышенные требования к надежности являются определяющим фактором эксплуатации аварийно-спасательных машин. Отказ техники в критический момент может привести к серьезным последствиям, включая угрозу жизни людей. В связи с этим при проектировании и эксплуатации таких машин широко применяются резервированные системы, высококачественные компоненты и современные методы диагностики технического состояния.

И именно поэтому, с целью поддержания высокой боевой готовности подразделений создается резерв пожарных машин. Наличие такого резерва обеспечивает возможность оперативной замены техники, вышедшей из строя, а также усиления группировки сил при возникновении крупных чрезвычайных ситуаций. При этом как техника, находящаяся в боевом расчете, так и резервные машины должны постоянно находиться в состоянии технической готовности.

Ключевую роль в системе эксплуатации играет планово-предупредительное техническое обслуживание. Его основное назначение заключается в предотвращении отказов и поддержании работоспособности техники на высоком уровне. Такой подход позволяет не только выявлять уже возникшие неисправности, но и обнаруживать потенциальные причины их появления и в результате обеспечивается стабильная работа механизмов и агрегатов, а также повышается надежность всей системы в целом.

Кроме того, планово-предупредительное обслуживание способствует поддержанию высокой оперативной подвижности пожарных автомобилей, а исправная техника позволяет быстро выдвигаться к месту происшествия и эффективно выполнять поставленные задачи, что напрямую влияет на успешность спасательных операций.

Неотъемлемой частью эксплуатации является проведение ремонтных работ. Ремонт – восстановление работоспособности техники после возникновения неисправностей или отказов, который может выполняться как по результатам диагностики, так и в ходе планового технического обслуживания. Своевременное проведение ремонтных мероприятий позволяет предотвратить развитие более серьезных повреждений и продлить срок службы техники. При этом важна правильная организация технологических процессов технического обслуживания и ремонта, а именно, рационально выстроенный процесс позволяет минимизировать затраты времени на выполнение работ, повысить их качество и обеспечить эффективное использование имеющихся ресурсов.

Знание и соблюдение технологических процессов обслуживания и ремонта является важным условием для специалистов, работающих с аварийно-спасательной техникой. Это позволяет выполнять необходимые операции в кратчайшие сроки без снижения качества, что особенно важно в условиях ограниченного времени и высокой ответственности.

Рациональная организация обслуживания также способствует снижению непроизводительных потерь времени, связанных с неэффективным распределением ресурсов или недостаточной подготовкой персонала. В результате повышается общая эффективность функционирования подразделений и обеспечивается высокий уровень готовности техники к применению.

Не менее важным фактором эффективной эксплуатации является уровень подготовки персонала, поэтому операторы аварийно-спасательных машин должны обладать высокой квалификацией, уметь работать в сложных условиях, быстро принимать решения и обслуживать сложное оборудование.

Подготовка специалистов включает теоретическое обучение, практические занятия и регулярную аттестацию, что позволяет поддерживать высокий уровень профессиональной готовности.

Таким образом, эксплуатация аварийно-спасательных машин определяется совокупностью факторов, среди которых ключевыми являются техническое состояние техники, уровень подготовки персонала, организация технического обслуживания, а также климатические и географические условия.

Список использованных источников

1. Масаев С.Н., Функционально-стоимостный анализ выбора аварийно-спасательной техники для обеспечения проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ на мало объемных и рассредоточенных объектах / Масаев В.Н., Минкин А.Н., Едимичев Д.А., Мочалов Д.Ю. // Безопасность жизнедеятельности № 7, 2019. - С. 30-37.

ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL ASPECTS OF THE USE OF RESCUE EQUIPMENT

V.D. Zdorovtsev

*Donskoy State Technical University,
Rostov-on-Don, Russia*

The features of the operation of emergency rescue vehicles, as well as factors affecting the efficiency of the use of equipment, reliability and maintenance requirements are analyzed.

Keywords: emergency vehicles, operation, maintenance, emergencies, safety.

УДК 62

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА РАННИХ ЭТАПАХ ИХ РАЗРАБОТКИ

В.Д. Здоровцев

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Обосновывается необходимость грамотного системного подхода к безопасности на ранних этапах жизненного цикла авиационной техники.

Ключевые слова: авиационная безопасность, проектирование, управление рисками, отказоустойчивость, сертификация.

Безопасность авиационной техники является одним из фундаментальных требований современной авиационной отрасли. Но несмотря на значительный технологический прогресс, полностью исключить авиационные происшествия пока невозможно, что приводит к необходимости поиска новых подходов к снижению рисков.

Практика показывает, что ошибки, допущенные в процессе разработки, могут иметь критические последствия и требуют значительных ресурсов для устранения на более поздних этапах. И поэтому одним из наиболее эффективных направлений является управление безопасностью именно на ранних этапах проектирования воздушных судов.

Особенность данного подхода заключается в том, что безопасность рассматривается не как результат эксплуатации, а как свойство, закладываемое на этапе создания техники. И именно в процессе проектирования формируются основные характеристики будущего самолёта, включая архитектуру систем, уровень резервирования и устойчивость к отказам, и, следовательно, своевременное

выявление и устранение потенциальных угроз позволяет существенно снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций в дальнейшем.

Изначально, такой подход к обеспечению безопасности базируется на системном анализе, согласно которому воздушное судно рассматривается как сложная социотехническая система, которая включает в себя не только технические компоненты и программное обеспечение, но и человеческий фактор, а также условия эксплуатации. В рамках данного подхода безопасность определяется как свойство всей системы, возникающее в результате взаимодействия её элементов. Кроме того, в рамках данной концепции важное значение приобретает развитие человеческого капитала. Под этим понимается повышение квалификации специалистов, совершенствование методов проектирования и внедрение современных технологий управления. Одновременно с этим учитывается и экономическая составляющая, поскольку создание безопасной техники должно быть экономически оправданным и обеспечивать конкурентоспособность авиационной продукции. То есть, вытекающий экономический подход к управлению безопасностью на стадии проектирования основан на использовании методов оценки риска и их стоимостной интерпретации: в данном случае безопасность рассматривается через призму возможных потерь, связанных с отказами техники и их последствиями.

Итак, жизненный цикл воздушного судна включает несколько взаимосвязанных стадий, начиная с концептуального проектирования и заканчивая утилизацией. Однако именно на ранних этапах формируются основные характеристики системы, включая её архитектуру, уровень резервирования и принципы функционирования. Внесение изменений на стадии проектирования является значительно менее затратным по сравнению с модернизацией уже готовой продукции, что делает раннее управление безопасностью экономически и технически целесообразным.

Именно поэтому, одним из ключевых принципов обеспечения безопасности является предотвращение отказов, предполагающее, что система должна сохранять работоспособность либо переходить в безопасное состояние при возникновении неисправностей. Важную роль играет резервирование, при котором критически важные элементы дублируются для повышения надежности. Также применяется принцип отказоустойчивости, позволяющий системе функционировать даже при частичном повреждении, и концепция «безопасного отказа», при которой любые неисправности не приводят к катастрофическим последствиям.

Для выявления и оценки потенциальных рисков используются различные методы анализа, где среди них важное место занимает анализ видов и последствий отказов, позволяющий систематически выявлять возможные неисправности и оценивать их влияние на систему. Метод дерева отказов применяется для установления причинно-следственных связей между отказами и критическими событиями, а анализ опасностей направлен на выявление потенциально опасных ситуаций и оценку их вероятности и тяжести последствий.

Значительную роль в обеспечении безопасности играют нормативные требования и процедуры сертификации. Проектирование воздушных судов

осуществляется в соответствии с международными стандартами, которые устанавливают допустимые уровни риска и требования к надежности систем, а процедуры верификации дают возможность подтвердить соответствие конструкции установленным требованиям. И получается, что сертификация является обязательным этапом перед вводом воздушного судна в эксплуатацию и служит гарантией его безопасности.

Важной особенностью является использование и страховых моделей, которые позволяют оценить потенциальный ущерб и сформировать механизмы его компенсации. По своей сути функционирование проектируемой системы можно рассматривать как аналог страхового фонда, в рамках которого аккумулируются ресурсы для покрытия возможных убытков. В случае возникновения отказа или аварийной ситуации эти ресурсы используются для компенсации ущерба и ликвидации последствий.

Также актуарные методы играют ключевую роль в данном процессе, поскольку позволяют количественно оценить риски на основе вероятностных моделей. Применение теории вероятностей дает возможность определить вероятность наступления неблагоприятных событий и рассчитать соответствующие финансовые показатели. Это особенно важно при проектировании авиационной техники, где цена ошибки чрезвычайно высока.

В заключение следует отметить, что управление безопасностью на стадии проектирования является ключевым фактором обеспечения надежности авиационной техники. Именно поэтому интеграция принципов безопасности в процесс проектирования должна рассматриваться как обязательное условие создания современных воздушных судов.

Список использованных источников

1. Бугаев Б.П. Предотвращение авиационных происшествий. М.: Транспорт, 1982. 56 с.

AIRCRAFT SAFETY MANAGEMENT IN THE EARLY STAGES OF THEIR DEVELOPMENT

V.D. Zdorovtsev

*Donskoy State Technical University,
Rostov-on-Don, Russia*

The necessity of a competent systematic approach to safety at the early stages of the life cycle of aviation technology is substantiated.

Keywords: aviation safety, design, risk management, fault tolerance, certification.

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТА С ЭКСТРЕННЫМИ СЛУЖБАМИ РЕАГИРОВАНИЯ

В.Д. Здоровцев

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Анализируются конструктивные особенности пассивной безопасности, роль эргономики, принципы функционирования систем экстренного вызова, а также влияние своевременной медицинской помощи на снижение смертности при дорожно-транспортных происшествиях.

Ключевые слова: безопасность автомобиля, безопасность, экстренные службы, ДТП, эргономика, системы оповещения.

Несмотря на активное развитие технологий, направленных на предотвращение аварийных ситуаций, все же полностью исключить вероятность дорожно-транспортных происшествий невозможно.

Следует отметить, что безопасность дорожного движения определяется не только поведением водителя или состоянием дорожной инфраструктуры, но и характеристиками самого транспортного средства, так как конструкция автомобиля, уровень его технического оснащения и удобство управления напрямую влияют на вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Современные транспортные средства проектируются с использованием зон программируемой деформации, которые при столкновении поглощают значительную часть кинетической энергии. При этом силовой каркас салона сохраняет свою целостность, предотвращая критические деформации пространства, в котором находятся пассажиры. Также сама конструкция внутреннего пространства автомобиля также имеет существенное значение: использование травмобезопасных материалов, отсутствие острых элементов и прочие. Особое внимание уделяется защите при боковых ударах, которые характеризуются высокой степенью опасности, для чего могут применяться усиленные дверные конструкции, боковые балки и специальные элементы защиты.

Вторым из важнейших факторов, влияющих на безопасность, является эргономика рабочего места водителя. Под эргономикой понимается соответствие конструкции автомобиля физиологическим и психологическим особенностям человека: удобное расположение органов управления, хорошая обзорность, снижение уровня шума и вибрации способствуют уменьшению утомляемости водителя и повышают его концентрацию.

Несмотря на значимость данного фактора, при расследовании дорожно-транспортных происшествий ему часто не уделяется должного внимания. Между тем, неудобная посадка, ограниченный обзор или повышенная нагрузка на водителя могут стать косвенными причинами аварии, поэтому при разработке современных автомобилей эргономика учитывается как один из ключевых

параметров. Также важную роль играют сами системы удержания, включающие ремни безопасности и подушки безопасности различных типов. Эти системы обеспечивают фиксацию тела человека и предотвращают его неконтролируемое перемещение внутри салона при ударе. Дополнительную защиту обеспечивают преднатяжители ремней и ограничители усилия, позволяющие снизить нагрузку на грудную клетку.

Оценка эффективности пассивной безопасности осуществляется посредством краш-тестов, моделирующих различные сценарии аварий. Такие испытания позволяют объективно оценить уровень защиты и выявить потенциальные уязвимости конструкции.

Но даже при наличии современных систем безопасности полностью исключить тяжёлые травмы при ДТП невозможно, в связи с чем приобретает значение фактор своевременного оказания медицинской помощи.

Статистика показывает, что уровень смертности при авариях во многом зависит от того, насколько быстро пострадавшие получают квалифицированную помощь. Задержка в оказании медицинских услуг может существенно снизить шансы на выживание даже при травмах, не являющихся смертельными сами по себе. В этом контексте важную роль играют системы связи и оповещения, позволяющие оперативно передать информацию о происшествии и обеспечить быстрое прибытие экстренных служб.

Системы автоматического оповещения об авариях предназначены для передачи информации о дорожно-транспортном происшествии в экстренные службы без участия человека или с минимальным его участием. Их основная задача заключается в сокращении времени между моментом аварии и началом оказания медицинской помощи.

Принцип работы таких систем основан на использовании датчиков, фиксирующих параметры столкновения, к которым относятся ускорение, резкое торможение, срабатывание подушек безопасности и другие признаки аварии. И при выявлении критической ситуации система формирует сигнал тревоги и передаёт его через доступные каналы связи. Современные решения способны уже не только сообщить о факте аварии, но и передать расширенную информацию, включающую координаты транспортного средства, параметры движения до столкновения, положение автомобиля после удара, а также косвенные данные о возможной тяжести травм пассажиров. Это позволяет экстренным службам заранее оценить ситуацию и направить необходимые ресурсы. После передачи данных система, как правило, устанавливает голосовую связь между пассажирами и оператором. Это даёт возможность уточнить обстоятельства происшествия и состояние людей. В случае отсутствия ответа решение о направлении помощи принимается автоматически на основе полученной телеметрии.

Следует отметить, что подобные системы могут работать как в полностью автоматическом режиме, так и активироваться вручную водителем или пассажирами. Это важно не только при авариях, но и в других чрезвычайных ситуациях на дороге.

Среди известных решений можно выделить разработки различных автопроизводителей, использующих как встроенные модули связи, так и подключение через мобильные устройства. Некоторые системы ориентированы на взаимодействие с фирменными сервисными центрами, тогда как другие обеспечивают прямую связь с государственными службами экстренного реагирования.

И уже своевременное прибытие медицинской помощи существенно увеличивает шансы на выживание пострадавших, а в ряде случаев именно время, прошедшее с момента аварии до оказания помощи, становится решающим фактором.

Также следует отметить, что современные конструктивные решения направлены на снижение риска возникновения пожара: топливные системы оснащаются герметичными баками повышенной прочности, а также автоматическими клапанами, предотвращающими утечку топлива при аварии.

Итак, интеграция систем безопасности автотранспортных средств с экстренными службами реагирования является одним из ключевых направлений повышения безопасности дорожного движения. И уже в совокупности конструктивные решения, эргономические факторы и современные технологии связи, позволяет существенно снизить тяжесть последствий дорожно-транспортных происшествий.

Список использованных источников

1. Пугачёв, И.Н. Организация и безопасность дорожного движения / учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Н. Пугачёв, А.Э. Горев, Е.М. Олещенко. – Москва: Издательский центр "Академия", 2009. – 272 с.

INTEGRATION OF VEHICLE SAFETY SYSTEMS WITH EMERGENCY RESPONSE SERVICES

V.D. Zdorovtsev

*Donskoy State Technical University,
Rostov-on-Don, Russia*

The design features of passive safety, the role of ergonomics, the principles of emergency call systems functioning, as well as the impact of timely medical care on reducing mortality in road accidents are analyzed.

Keywords: car safety, safety, emergency services, accidents, ergonomics, warning systems.

ВЛИЯНИЕ ПОГЛАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗМЕНЁННОГО СЛОЯ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКЕ МЕТАЛЛОВ

Н.Ю. Капалин, О.О. Бердников, Д.С. Реченко

*Омский государственный технический университет,
г. Омск, Россия*

В работе исследовано влияние различных типов поверхностных покрытий на глубину и неоднородность изменённого слоя при лазерной резке металлов. Проведены три серии экспериментов на восемнадцати образцах. Рассматривались образцы без нанесения поглощающего покрытия, образцы с нанесённой чёрной матовой краской и образцы с графитовым покрытием. Проведён металлографический анализ структуры зоны термического влияния и измерена толщина изменённого слоя. Установлено, что применение поглощающих покрытий существенно снижает термическое воздействие лазерного излучения и способствует формированию более равномерной структуры поверхности реза.

Ключевые слова: лазерная резка, изменённый слой, графитовое покрытие, тепловое воздействие, структура металла.

Введение. Лазерная резка металлов в настоящее время является одной из наиболее распространённых технологий обработки материалов в машиностроении. Данный метод отличается высокой точностью, возможностью обработки сложных контуров и высокой производительностью. Использование лазерного излучения позволяет осуществлять локальное воздействие на материал, что существенно расширяет технологические возможности обработки [1–2].

Однако интенсивное тепловое воздействие энергии лазерного луча приводит к формированию зоны термического влияния и изменённого слоя, который характеризуется изменением микроструктуры материала. Толщина и структура данного слоя оказывают значительное влияние на эксплуатационные характеристики деталей.

В условиях высоких температур в зоне реза происходит расплавление металла, последующая кристаллизация и формирование литой структуры. При быстром охлаждении образуются мелкодендритные структуры, а также могут возникать остаточные напряжения. Эти явления приводят к ухудшению механических свойств материала.

Поэтому одной из актуальных задач современной технологии лазерной обработки является снижение толщины изменённого слоя и повышение качества поверхности реза. Одним из перспективных способов решения данной задачи является использование поглощающих поверхностных покрытий [3].

Дополнительно следует отметить, что параметры лазерной обработки и состояние поверхности оказывают комплексное влияние на формирование структуры металла после резки. Влияние покрытий проявляется не только в уменьшении толщины изменённого слоя, но и в стабилизации процесса теплообмена, что

способствует повышению качества поверхности реза и снижению вероятности образования дефектов.

Анализ существующих исследований. В научной литературе рассматривается множество факторов, влияющих на формирование изменённого слоя при лазерной резке. К ним относятся мощность лазерного излучения, скорость перемещения режущей головки, свойства обрабатываемого материала, а также условия охлаждения [4–5].

Исследования показывают, что значительное влияние на процесс взаимодействия лазерного луча с поверхностью оказывает коэффициент поглощения излучения. Металлические поверхности обладают различными отражательными свойствами, что может приводить к неравномерному распределению тепловой энергии.

Для повышения эффективности поглощения лазерного излучения применяются различные поверхностные покрытия. Наиболее распространёнными являются графитовые покрытия, а также различные виды тёмных красок, обладающих повышенной способностью поглощать энергию излучения.

Использование таких покрытий позволяет снизить отражательную способность поверхности и повысить эффективность передачи энергии в материал. В результате изменяется характер тепловых процессов и уменьшается толщина зоны термического влияния [6].

Цель и задачи исследования. Целью настоящего исследования является изучение влияния различных типов поверхностных покрытий на формирование изменённого слоя при лазерной резке металлов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Провести экспериментальную лазерную резку образцов без покрытия.
2. Исследовать влияние чёрной матовой краски на формирование изменённого слоя.
3. Определить влияние графитового покрытия на структуру зоны реза.
4. Провести сравнительный анализ полученных результатов.

Методика эксперимента. Экспериментальные исследования проводились на серии металлических образцов. Всего было подготовлено 18 образцов, разделённых на три группы по шесть образцов в каждой.

Первая группа представляла собой образцы без дополнительного покрытия. Вторая группа образцов была обработана чёрной матовой краской. Третья группа имела графитовое покрытие.

Лазерная резка осуществлялась при одинаковых технологических параметрах. После обработки образцы подвергались металлографическому анализу. Были изготовлены микрошлифы, позволяющие исследовать структуру зоны реза.

Измерение толщины изменённого слоя проводилось с использованием оптического микроскопа. Для повышения точности измерений анализ выполнялся в нескольких точках каждого образца.

Результаты исследования. Анализ экспериментальных данных показал, что характер формирования изменённого слоя существенно зависит от состояния поверхности материала.

Основные результаты экспериментов приведены в табл. (1).

Таблица 1 – Результаты эксперимента

№ образца	Мощность, Вт	Величина изменённого слоя, мкм		
		1 группа	2 группа	3 группа
1	1000	9...43	9...10	8...28
2	1100	8...51	13...54	10...18
3	1200	7...54	8...65	3...11
4	1300	6...36	9...10	11...18
5	1400	8...68	8...76	7...19
6	1500	9...29	12...43	7...15

На образцах без покрытия наблюдалась наиболее значительная толщина изменённого слоя. В отдельных случаях она достигала 68 мкм. При этом структура слоя характеризовалась значительной неоднородностью.

При использовании чёрной матовой краски наблюдалось заметное уменьшение толщины изменённого слоя. В среднем она снижалась на 33–36 % по сравнению с образцами без покрытия.

Наиболее эффективным оказалось применение графитового покрытия. В данном случае толщина изменённого слоя находилась в диапазоне 5–15 мкм, что в среднем составило 65–70% снижения по сравнению с образцами без покрытия, при этом структура характеризовалась большей равномерностью.

Обсуждение результатов. Полученные результаты можно объяснить особенностями взаимодействия лазерного излучения с поверхностью материала. Наличие поглощающего покрытия изменяет коэффициент отражения и способствует более эффективному поглощению энергии.

Графитовое покрытие обладает высокой теплопроводностью и способностью интенсивно поглощать излучение, что приводит к более равномерному распределению тепловой энергии.

В результате снижается локальный перегрев материала и уменьшается толщина зоны термического влияния.

Вывод. В результате проведённых экспериментов установлено, что применение поглощающих покрытий позволяет существенно снизить толщину изменённого слоя при лазерной резке металлов.

Чёрная матовая краска уменьшает толщину изменённого слоя на 33–36 % по сравнению с поверхностью без покрытия, тогда как графитовое покрытие снижает её на 65–70 %.

Заключение. Проведённые исследования показали высокую эффективность использования поверхностных покрытий при лазерной резке металлов.

Графитовое покрытие обеспечивает минимальную толщину изменённого слоя и наиболее стабильную структуру зоны реза. Таким образом, применение поглощающих покрытий может рассматриваться как эффективный метод повышения качества лазерной обработки металлов.

Список использованных источников

1. Закалюкина Л. А., Баннов В. Я. Виды и параметры процесса лазерной резки // Новые информационные технологии в автоматизированных системах, 19, 2016. С. 163–167.
2. Alsaadawy M., Dewidar M., Said A. A Comprehensive review of studying the influence of laser cutting parameters on surface and kerf quality of metals. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2023, 130(4), pp. 1039-1074. doi:10.1007/s00170-023-12768-1.
3. Князева Н.Ю., Карпенко А.А. Использование технологий лазерной обработки материалов при производстве изделий машиностроения // Материалы всероссийской с международным участием научной конференции. Саранск / Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, 2022. С. 715–720.
4. Steen W.M., Mazumder J. Laser Material Processing. Springer, 2010. 558 p.
5. Григорьянц А. Г., Соколов А. А. Лазерная резка металлов. М.: Высш. шк., 1988.

THE EFFECT OF ABSORBING COATINGS ON THE FORMATION OF A MODIFIED LAYER DURING LASER CUTTING OF METALS

N.Yu. Kapalin, O.O. Berdnikov, D.S. Rechenko

*Omsk State Technical University,
Omsk, Russia*

The effect of various types of surface coatings on the depth and heterogeneity of the modified layer during laser cutting of metals is investigated. Three series of experiments were conducted on eighteen samples. Samples without an absorbent coating, samples with black matte paint, and samples with graphite coating were considered. A metallographic analysis of the structure of the thermal influence zone was performed and the thickness of the modified layer was measured. It has been established that the use of absorbing coatings significantly reduces the thermal effect of laser radiation and contributes to the formation of a more uniform cutting surface structure.

Keywords: laser cutting, modified layer, graphite coating, thermal effect, metal structure.

ХРАНЕНИЕ И УЧЁТ ШТАМПОВ И ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

И.В. Касьянова

*Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия*

В статье рассматривается проблематика организации штампового хозяйства на машиностроительных предприятиях, осуществляющих обработку металлов давлением. Обосновывается актуальность систематизации подходов к хранению, учёту и идентификации штамповой оснастки как дорогостоящего и технологически значимого элемента основных производственных средств. Выделены специфические характеристики штампа как объекта хранения. Обоснованы преимущества многоярусных стеллажных систем с выдвижными платформами и роликовыми полками

Ключевые слова: штамповая оснастка, штамповое хозяйство, обработка металлов давлением, складирование штампов, стеллажные системы, напольное хранение, учёт оснастки.

Штамповая оснастка представляет собой один из наиболее дорогостоящих и технологически значимых элементов в структуре основных средств предприятий, осуществляющих обработку металлов давлением [1-5]. Стоимость изготовления одного комплекта штампа для крупносерийного производства может достигать значительных величин, исчисляемых сотнями тысяч и даже миллионами рублей в зависимости от сложности геометрии детали, применяемых инструментальных материалов и требований к точности. На крупных машиностроительных предприятиях общее количество штампов, одновременно находящихся в обороте, нередко составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч единиц, что порождает комплексную задачу их систематизированного хранения, оперативного учёта и безошибочной идентификации.

Проблематика организации штампового хозяйства, несмотря на свою очевидную практическую значимость, длительное время оставалась на периферии научного внимания, уступая исследовательский приоритет вопросам проектирования штампов, расчёта технологических параметров штамповки и совершенствования инструментальных материалов. Между тем именно недостатки в организации хранения и учёта оснастки зачастую становятся причиной существенных производственных потерь.

Организация штампового хозяйства как самостоятельная подсистема производственного менеджмента базируется на ряде фундаментальных принципов, сформулированных в рамках теории организации производства и логистики внутрипроизводственных материальных потоков. Центральное место среди этих принципов занимают требования сохранности оснастки, оперативности доступа,

полноты и достоверности учётной информации, а также экономической обоснованности принимаемых решений относительно масштабов и технической оснащённости складского хозяйства.

Штамп как объект хранения обладает рядом специфических характеристик, существенно отличающих его от стандартных товарно-материальных ценностей, учитываемых в рамках общепроизводственного складского хозяйства. Во-первых, штампы характеризуются значительной массой и габаритами, варьирующимися в чрезвычайно широком диапазоне - от нескольких килограммов для мелких вырубных штампов до нескольких тонн для крупногабаритной вытяжной оснастки, применяемой в автомобилестроении. Во-вторых, штампы требуют соблюдения определённых условий хранения, прежде всего в части защиты от коррозии, механических повреждений рабочих поверхностей и деформации под воздействием собственной массы или неравномерных нагрузок при складировании. В-третьих, каждый штамп представляет собой уникальное или малосерийное изделие с индивидуальной историей эксплуатации, ремонтов и переточек, что обуславливает необходимость персонифицированного учёта, существенно отличающегося от обезличенного учёта взаимозаменяемых материалов и комплектующих.

Исторически первой и до настоящего времени наиболее распространённой формой организации хранения штампов является напольное складирование, при котором штампы размещаются непосредственно на полу складского помещения или на низких деревянных подкладках. Данный способ, при всей его очевидной простоте и минимальных капитальных затратах на организацию, обладает целым рядом существенных недостатков. Прежде всего, напольное хранение крайне неэффективно использует объём складского помещения, поскольку штампы, как правило, не допускают многоярусного штабелирования вследствие риска повреждения рабочих поверхностей и деформации конструктивных элементов. Кроме того, при напольном хранении существенно затруднён визуальный контроль состояния оснастки и её идентификация, особенно в условиях плотного размещения большого количества штампов. Наконец, извлечение конкретного штампа из массива напольно складированной оснастки нередко требует предварительного перемещения смежных единиц хранения, что сопряжено с непроизводительными затратами времени и эксплуатацией грузоподъёмного оборудования.

Качественным шагом в развитии систем складирования штампов стало внедрение специализированных стеллажных конструкций, спроектированных с учётом массогабаритных характеристик и специфических требований к хранению штамповой оснастки. Современные стеллажные системы для штампов, как правило, представляют собой многоярусные металлоконструкции с выдвижными платформами или роликовыми полками, позволяющими загружать и извлекать тяжёлые штампы с минимальными физическими усилиями и без использования крупногабаритного грузоподъёмного оборудования. Конструктивные решения таких стеллажей предусматривают распределение нагрузки таким

образом, чтобы исключить деформацию несущих элементов даже при полной загрузке всех ярусов, а также обеспечивают возможность независимого доступа к каждой ячейке хранения без необходимости перемещения смежных штампов.

Список использованных источников

1. Банкетов А.Н., Бочаров Ю.А., Добринский Н.С. Кузнечно-штамповочное оборудование. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
2. Яковлев С.С. Ковка и штамповка. В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / Под общ. ред. С.С. Яковлева; ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – Москва: Машиностроение, 2010. 732 с.
3. Иванов К.М., Звонцов И.Ф., Серебrenицкий П.П. Разработка технологических процессов изготовления деталей общего и специального машиностроения. М.: Лань, 2018. 696 с.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025684518 Российская Федерация. Программа для определения рациональной последовательности операций штамповки: заявл. 01.09.2025; опубл. 15.09.2025 / Д.Т. Бунтури, Ю.С. Галкин, А.А. Шишкина, С.С. Яковлев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет».
5. Ващенко А.И., Касьянова И.В. Применение ресурсосберегающих экономически эффективных технологий обработки металлов давлением в производстве // Евразийское пространство: экономика, право, общество. ГБУН «Юго-Осетинский научно-исследовательский институт». – 2025. – № 4. – С. 28-30.

STORAGE AND ACCOUNTING OF STAMPS AND STAMPING EQUIPMENT AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

I.V. Kasyanova

*Tula State University,
Tula, Russia*

The article discusses the problems of the organization of stamping facilities at machine-building enterprises engaged in metal pressure treatment. The relevance of systematization of approaches to storage, accounting and identification of die tooling as an expensive and technologically significant element of the main production facilities is substantiated. The specific characteristics of the stamp as a storage object are highlighted. The advantages of multi-tiered shelving systems with sliding platforms and roller shelves are substantiated

Keywords: stamping equipment, stamping facilities, metal pressure treatment, stamp storage, shelving systems, floor storage, tooling accounting.

**ИННОВАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ
ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В ВОЗДУШНЫЙ КАНАЛ ГОРЕЛКИ И В ТОПКУ
КОТЛА ИЛИ ПЕЧИ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ
ОКСИДОВ АЗОТА**

В.Д. Катин^{1,2}, А.А. Журавлев¹

¹*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск, Россия*

²*Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия*

В статье проанализированы условия эмиссии наиболее опасных вредных веществ (оксидов азота), образуемых при горении топлива. Показана и обоснована перспективная технология частичной рециркуляции дымовых газов в топочную камеру печного или котельного агрегата с целью сокращения их выбросов. Разработана и рекомендована для внедрения на трубчатых печах или котлах новое авторское устройство для экологичного сжигания жидкого топлива.

Ключевые слова: котельные и печные агрегаты, сжигание жидкого топлива, рециркуляция части дымовых газов, снижение выбросов оксидов азота, рециркуляционные дымососы, воздушный канал горелки, топочная котла (печи), экологическая эффективность.

Наиболее экологически опасными продуктами горения любого вида топлива в нефтезаводских печах и котельных агрегатах являются оксиды азота NO_x. При этом по данным [1-5] NO_x образуются по двум основным механизмам: окисление атмосферного азота кислородом воздуха по высокотемпературному механизму Я.Б. Зельдовича [1] и окисление азотосодержащих компонентов топлива, подробно описанные в [2, 3]. В связи с этим способом снижения выбросов NO_x в первом случае является уменьшение максимальной температуры в зоне горения, а также сокращение времени требования реагентов в этой зоне.

На практике одним из основных методов сокращения выбросов NO_x является рециркуляция части продуктов сгорания в зону горения. При этом рециркулирующие дымовые газы «балластируют» топливовоздушную смесь, в результате снижается температура горения и уменьшается концентрация кислорода в зоне реакции окисления азота. Этот способ широко применяется в котельной технике, реже – в печной технике [3, 4].

По данным [2] при подаче газов рециркуляции с температурой 300 °С в ядро факела максимальная температура факела снижается на 120-130 °С. Обычно дымовые газы температурой 300-400 °С отбираются из хвостовой части котла (печи) специальным рециркуляционным дымососом и подаются в топку [2]. Влияние газов рециркуляции на сокращение выхода оксидов азота объясняется уменьшением максимальной температуры в зоне горения (вследствие подачи охлажденных продуктов сгорания) и снижением концентраций реагирующих веществ (вследствие их «разбавления» продуктами сгорания). Поскольку выход

NOx зависит от концентрации кислорода, то рециркуляция газов позволяет существенно сократить выбросы NOx из котлов и печей на 25-30 % [2].

В патенте [6] описано известное устройство для сжигания жидкого топлива содержит последовательно соединенные трубопровод подачи жидкого топлива, фильтр, установленный на трубопроводе для удаления из него механических примесей, насос для перекачивания жидкого топлива по трубопроводу, диспергатор, соединенный с печным (котельным) агрегатом и топкой, дымовую трубу, соединенную через дымоход с печным (котельным) агрегатом, участок трубопровода подачи жидкого топлива, примыкающий к теплоиспользующему агрегату, проложенный в канале дымохода, дополнительно установлен рециркуляционный дымосос, соединенный с помощью дымового канала с дымовой трубой и топкой котла или печи.

Однако данное устройство обладает существенным недостатком, связанным с повышенным выбросом сопутствующих продуктов неполного сгорания: сажи, оксида углерода и углеводородов, в том числе канцерогенных, очень опасны для здоровья человека. Это объясняется балластированием дымовых газов в зоне горения жидкого топлива. В результате, в целом значительно снижается экологическая эффективность сжигания топлива.

Задачей авторского решения является повышение экологической эффективности сжигания жидкого топлива за счет подачи рециркулирующих дымовых газов в воздушный канал горелки и далее в топку.

Для решения поставленной задачи согласно авторскому новому устройству дополнительно оснащается дымососом, который соединяют с помощью дымового канала с воздушным каналом форсунки, подают газы рециркуляции в дутьевой воздух и далее в топку печи или котла.

Признаком, отличающим заявляемое решение от прототипа, является соединение дополнительного рециркуляционного дымососа с помощью дымового канала с воздушным каналом форсунки топки котельного печного агрегата и подачи газов рециркуляции в дутьевой воздух.

Благодаря отличительному признаку повышается экологическая эффективность сжигания жидкого топлива, вследствие подачи газов рециркуляции в дутьевой воздух, которые снижают максимальную температуру горения, что приводит к сокращению выбросов термических оксидов азота.

Предлагаемое устройство показанное на рис. 1 содержит котельный (печной) агрегат 1 с форсункой 2 и топкой, дымовую трубу 4, соединенную через дымоход 5 с агрегатом 1, трубопровод подачи жидкого топлива 6, диспергатор 7, расположенный на трубопроводе 6 перед форсункой 2, насос 8 для перекачивания жидкого топлива по трубопроводу 6, фильтр 9 для удаления механических примесей, установленный на трубопроводе подачи жидкого топлива 6 перед насосом 8, участок трубопровода 6, расположенный в канале дымохода 5, два рециркуляционных дымососа 10 и 11, дымовой канал 12 для соединения рециркуляционных дымососов 10 и 11 с дымовой трубой 4 и с воздушным каналом 13, форсунки 2 топки 3 агрегата 1.

Устройство работает следующим образом.

Жидкое топливо по трубопроводу подачи 6 поступает в фильтр 9, где оно очищается от механических примесей, и далее при помощи насоса 8 проходит по участку трубопровода 6, проложенному в канале дымохода 5 (длиной 50-100м), где жидкое топливо нагревается до необходимой температуры за счет тепла дымовых газов, уходящих из агрегата 1 через дымоход 5 в дымовую трубу 4. Подогретое топливо поступает в диспергатор 7, в котором из него готовится однородная эмульсия, подаваемая в форсунку 2, где происходит распыление и сжигание эмульсии в топке 3 агрегата 1.

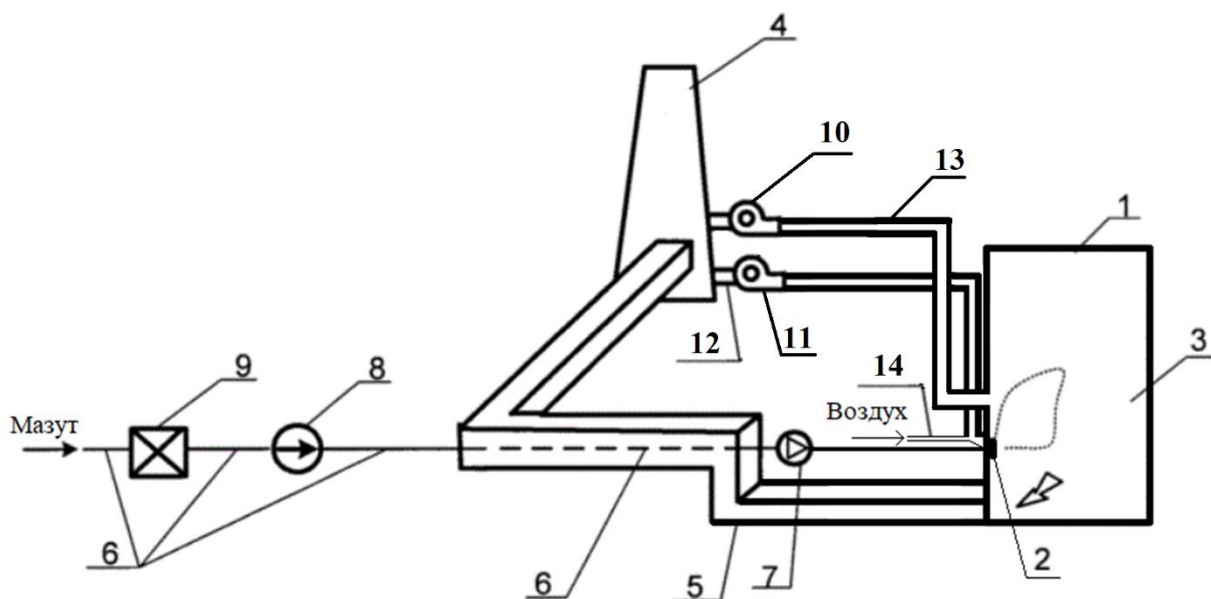


Рисунок 1 – Схема нового устройства для сжигания мазута с применением рециркуляции дымовых газов

Уходящие из котла (печи) 1 через дымоход 5 дымовые газы поступают в дымовую трубу 4. Далее рециркуляционным дымососом 10 часть дымовых газов по дымовому каналу 13 подается в топку 3 агрегата 1, а дымососом 11 другая часть дымовых газов по дымовому каналу 12 подается в воздушный канал 14 горелки и далее в топку 3 агрегата 1. Это приводит к снижению максимальной температуры в зоне горения и, как следствие, к сокращению выбросов термических оксидов азота. В результате достигается повышение экологической эффективности устройства для сжигания жидкого топлива.

При подаче (подмешивании) дымовых газов рециркуляции в дутьевой воздух горелки появление продуктов неполного горения практически не наблюдается, что еще раз доказывает об экологической эффективности предлагаемого авторами нового устройства.

Реальное использование инновационной авторской установки обеспечит существенное сокращение выбросов оксидов азота. На данное устройство авторами оформлена и подана заявка на предполагаемую полезную модель как отличающуюся от известных аналогов новизной конструкции и высокой экологической эффективностью работы.

Список использованных источников

1. Зельдович, Я.Б. Окисление азота при горении / Я.Б. Зельдович. – Москва: Изд. АН СССР. 1947. – 145 с.
2. Сигал, И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И.Я. Сигал – СПб.: Недра, 1998. – 312 с.
3. Кривоногов, Б.М. Повышение эффективности сжигания газа и охрана окружающей среды / Б.М. Кривоногов – СПб.: Недра. 1996. – 280 с.
4. Катин, В.Д. Повышение эффективности использования топлива в трубчатых печах НПЗ и охрана окружающей среды / В.Д. Катин – Хабаровск: РИО-ТИП. 2004. – 240 с.
5. Катин, В.Д. Проблемы сокращения вредных выбросов в атмосферу из нефтезаводских печей / В.Д. Катин, С.В. Булгаков. – Хабаровск: ТОГУ. 2019. – 192 с.
6. Патент на полезную модель №169530 РФ, МПК F23C 9/00. Устройство для сжигания жидкого топлива / В.Д. Катин, И.В. Вольхин. Оpubл. 22.03.2017. Бюл. №9.

AN INNOVATIVE DEVICE FOR RECIRCULATING FLUE GASES INTO THE AIR CHANNEL OF A BURNER AND INTO THE FURNACE OF A BOILER OR FURNACE IN ORDER TO REDUCE NITROGEN OXIDE EMISSIONS

V.D. Katin^{1,2}, A.A. Zhuravlev¹

¹*Far Eastern State Transport University,
Khabarovsk, Russia,*

²*Pacific National University,
Khabarovsk, Russia*

This article analyzes the emission conditions for the most hazardous harmful substances (nitrogen oxides) formed during fuel combustion. A promising technology for partial flue gas recirculation into the combustion chamber of a furnace or boiler unit to reduce emissions is demonstrated and substantiated. A new proprietary device for the environmentally friendly combustion of liquid fuels has been developed and recommended for implementation in tubular furnaces or boilers.

Keywords: boiler and furnace units, liquid fuel combustion, partial flue gas recirculation, nitrogen oxide emission reduction, recirculation smoke exhausters, burner air duct, boiler (furnace) furnace chamber, environmental efficiency.

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО СОЗДАНИЮ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРА-ЦИКЛОНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

В.Д. Катин^{1,2}, А.А. Журавлев¹

¹*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск, Россия,*

²*Тихоокеанский государственный университет,
г. Хабаровск, Россия*

В статье проанализирована проблема загрязнения атмосферного воздуха вредными выбросами твердых частиц с продуктами сгорания угольных и мазутных котельных, эксплуатируемых на предприятиях железнодорожного транспорта. Приведена характеристика используемого на предприятиях золо- и пылеулавливающего оборудования. Особое внимание уделяется фильтр-циклонам для очистки дымовых газов. Рекомендована к применению новая конструкция фильтр-циклона, обладающего достаточной высокой экологической эффективностью.

Ключевые слова: предприятия железнодорожного транспорта, котельные, сжигание угля и мазута, золоуловители циклонного типа, загрязнение атмосферы, сажистые и золовые частицы, датчик пыли, фильтр-циклон новой конструкции.

В соответствии с Экологической стратегией ОАО «Российские железные дороги» («РЖД») на период до 2030 года [1] требования по снижению выбросов вредных веществ в воздушный бассейн становятся доминирующими. Предприятия ОАО «РЖД», в том числе Дальневосточной железной дороги (ДВЖД), имеющие на балансе тысячи котельных, работающих в основном на твердом (уголь) и жидком (мазуте) топливе являются крупными источниками загрязнения атмосферы твердыми частицами и другими вредными веществами. Существующие дымоочистные устройства в котельных предприятий железнодорожного транспорта характеризуются низкой эффективностью улавливания золовых и сажистых частиц. По данным исследований [2-4] фактические значения коэффициента очистки дымовых газов от твердых веществ не противоречит 60-70%, что ниже нормативных величин 80-85%. В связи с этим актуальной становится задача разработки и внедрения новых эффективных конструкций золо- и пылеуловителей для угольных и мазутных котельных.

Отметим, что среди действующих дымоочистных устройств на предприятиях ДВЖД чаще всего применяются циклоны ЦКТИ или НИИОГаз при объеме уходящих газов от 6 тыс. до 20 тыс. м³/ч. Коэффициент очистки – не менее 80-85%, а также батарейные циклоны – при объеме уходящих газов от 15 тыс. до 150 тыс. м³/ч (в отопительных котельных с количеством котлов более 5). Коэффициент очистки должен быть не ниже 85-90% [2]. В то же время все котельные, работающие на твердом топливе, должны оборудоваться системой пыле- и

золоочистки. В действительности, на некоторых котельных предприятиях имеющих 2-3 котла, золоуловители отсутствуют. Кроме того, на предприятиях ЖДТ применяются сухие механические устройства, мокрые устройства (скрубберы), пылеосадительные камеры и др.

Широкое использование циклонов объясняется простотой их конструкции, надежностью в эксплуатации, сравнительно небольшими материальными затратами на изготовление и эксплуатацию.

В патенте [5] описано авторское техническое решение, которое заключается в создании конструкции фильтр-циклона, позволяющего повысить степень очистки пылегазовых потоков за счет удаления твердых частиц.

С этой целью авторы предлагают выполнить выхлопную трубу в виде полого цилиндра и установить в верхней ее части набор фильтров в виде сеток с разными размерами ячеек. В то же время существенным недостатком известного фильтра-циклона является то, что расположенные в верхней части выхлопной трубы фильтры в виде сеток с разными размерами ячеек при эксплуатации выходят из строя из-за быстрого забивания золовыми или пылевыми частицами, а для очистки сеток требуется их демонтаж, что приводит к уменьшению производительности фильтра-циклона и снижению экологической эффективности устройства.

Для повышения эффективности работы фильтра-циклона в данном устройстве в выхлопной трубе были установлены равномерно по ее высоте фильтры в виде сеток с разными размерами ячеек: в нижней части трубы установлена сетка для улавливания крупнодисперсных частиц, в средней части трубы – сетка для улавливания среднедисперсных частиц и в верхней части трубы – сетка для улавливания мелкодисперсных частиц золы.

Признаком, отличающим новый фильтр-циклон от известного, является равномерное расположение фильтров по высоте выхлопной трубы в нижней, средней и в верхней ее части, и на это устройство был получен патент [6].

Однако устройство обладает недостатками, которое заключается в том, что сетчатый фильтр для улавливания мелкодисперсных частиц быстро закоксуется липкой угольной золой и сажой, что приводит к росту аэродинамического сопротивления, падению производительности циклона в целом, а также приводит к увеличению энергозатрат для создания требуемой тяги в корпусе циклона.

Задачей предлагаемого авторского решения является повышение экологической эффективности работы фильтра-циклона.

Для решения поставленной задачи в известном фильтре-циклоне для очистки газов, согласно полезной модели, дополнительно устанавливается датчик пыли на выходе из выхлопной трубы, а также поворотным механизмом на сетке для улавливания мелкодисперсных частиц. В результате повышается экологическая эффективность улавливания золовых и сажистых частиц вследствие того, что датчик пыли, при срабатывании порогового значения, например, в 50 мг/м³, с датчика пыли идет сигнал на поворотный механизм, который проворачивается на 180 градусов и фиксируется в этом положении.

Установка порога срабатывания датчика пыли на значении в 50 мг/м³ позволит оперативно подать сигнал на поворотный механизм о том, что началось явление «проскока» части, что, в свою очередь, сигнализирует о критическом

засорении или об его повреждении, при этом фильтры тонкой очистки не подвергаются регенерации и не способны самоочищаться без нарушения целостности конструкции.

Предлагаемое новое устройство показан на рис. 1, из которого видно, что оно содержит вертикальный цилиндрический корпус 1, с коническим днищем 2, снабженным штуцером 3 для удаления пыли, выхлопную трубу 4, выполненную в виде полого цилиндра, штуцер 5 для подачи в аппарат запыленного газового потока, расположенный тангенциально к корпусу 1, крышку 6 и фильтр 7а, 7б и 7в в виде сеток с разными размерами ячеек, установленные внутри выхлопной трубы 4 равномерно по ее высоте. Причем в нижней части выхлопной трубы 4 установлена сетка 7а, для улавливания пыли крупной фракции в средней части трубы сетка 7б для улавливания частиц среднedisперсной фазы и в верхней части трубы сетка 7в для улавливания мелкодисперсных частиц пыли, а в верхней части выхлопной трубы установлен датчик пыли 8, а также в самой выхлопной трубе на сетке 7в для улавливания мелкодисперсных частиц пыли установлен поворотный механизм 9.

Устройство работает следующим образом. Запыленные дымовые газы от котельной, работающей на угле, через тангенциальный штуцер 5 поступает в корпус 1 фильтра-циклона. Под действием центробежной силы поток совершает спиральное нисходящее движение вдоль стенок корпуса вокруг выхлопной трубы 4. На этом этапе происходит предварительная сепарация наиболее крупных и частично среднedisперсных частиц золы. Поток, опускаясь в коническую часть 2, теряет скорость, и осажденные частицы удаляются через штуцер 3 для выгрузки пыли.

Частично очищенный газовый поток, содержащий мелкодисперсную и остаточную среднюю фракцию, меняет направление и поступает внутрь выхлопной трубы 4, двигаясь снизу вверх. Последовательно проходя через три ступени фильтрации, газ подвергается тонкой очистке. В нижней части трубы фильтр 7а улавливает оставшиеся крупные частицы, в средней части фильтр 7б задерживает частицы средней дисперсности, в верхней части фильтр 7в (с самыми мелкими ячейками) осуществляет финишную очистку от мелкодисперсных и сажи-стых частиц.

Очищенный газ, перед выходом в атмосферу, проходит через зону контроля, где установлен датчик пыли 8. Датчик в реальном времени измеряет концентрацию твердых частиц. В штатном режиме работы исправного и незасоренного фильтра 7в концентрация не превышает установленного порогового значения (например, 50 мг/м^3).

При постепенном засорении, механическом повреждении или нештатном режиме работы котельной (резком увеличении выноса золы) эффективность фильтра 7в падает. Концентрация частиц на выходе начинает расти. Как только она достигает критического порогового значения в 50 мг/м^3 , датчик пыли 8 формирует аварийно-предупредительный сигнал. Этот сигнал поступает на поворотный механизм 9, кинематически связанный с рамкой (кассетой), в которой закреплена сетка фильтра 7в. Механизм активируется и проворачивает кассету на 180° градусов вокруг ее вертикальной оси. Конструктивно кассета фильтра 7в

выполнена двухсторонней: с одной стороны расположен основной фильтрующий элемент, с противоположной – идентичный резервный.

Таким образом, в рабочее положение выводится чистая или менее засоренная сторона фильтрующей кассеты. Загрязненная сторона отворачивается в положение, доступное для обслуживания. После поворота сопротивление участка временно снижается, а эффективность окончательной очистки восстанавливается, что подтверждается падением показаний датчика 8 ниже порогового значения.

Следует отметить, что на данную конструкцию фильтра-циклона авторами оформлена и подана заявка на предполагаемую полезную модель, как отличающуюся от известных аналогов новизной устройства и высоким экологическим эффектом.

Список использованных источников

1. Экологическая стратегия ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» 13.02.2009г. №293р // ОАО «Российские железные дороги»: официальный сайт компании. – URL: <http://doc.rzd.ru> (дата обращения 07.03.2026).

2. Справочник по пыле- и золоулавливанию / под ред. А.А. Русанова. – Москва: Энергия, 2000. – 246 с.

3. Минаев, Б.Н. Теплоэнергетика железнодорожного транспорта: учебное пособие / Б.Н. Минаев. – Москва: МГУПС, 2006. – 347 с.

4. Катин, В.Д. Методы и устройства сокращения выбросов вредных веществ из котлов на железнодорожном транспорте: учебное пособие / В.Д. Катин. – Москва: Транспорт, 2013. – 86 с.

5. Патент №56227 РФ, МПК В04С 9/00. Фильтр-циклон для очистки газов / В.Д. Катин, Р.В. Долгов, М.Х. Ахтямов; опубл. 10.09.2006. Бюл. №25.

6. Патент №204684 РФ, МПК В04С 9/00. Фильтр-циклон для очистки газов / В.Д. Катин, А.А. Журавлев. Опубл. 04.06.2021. Бюл. №16.

TECHNICAL SOLUTION FOR THE CREATION OF A NEW DESIGN OF A CYCLONE FILTER FOR CLEANING FLUE GASES FROM SOLID PARTICLES

V.D. Katin^{1,2}, A.A. Zhuravlev¹

*¹Far Eastern State Transport University,
Khabarovsk, Russia*

*²Pacific National University,
Khabarovsk, Russia*

This article analyzes the problem of atmospheric air pollution from harmful particulate emissions from coal- and fuel oil-fired boilers operating at railway transport enterprises. The characteristics of ash and dust collection equipment used at these enterprises are presented. Particular attention is given to filter cyclones for flue gas

cleaning. A new filter cyclone design with sufficiently high environmental efficiency is recommended for use.

Keywords: railway transport enterprises, boiler houses, coal and fuel oil combustion, cyclone-type ash collectors, air pollution, soot and ash particles, dust sensor, new filter cyclone design.

УДК 631.15.01

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОХРАННОСТИ ГРУЗОВ В ДВИЖУЩЕМСЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

А.Ю. Киямова, В.С. Банникова¹

*Приволжский государственный университет путей сообщения»,
г. Самара, Россия*

Данная статья представляет обзор дистанционного контроля сохранности грузов в движущемся ж.д. подвижном составе. Статья предполагает использование современных технологий для мониторинга и обеспечения безопасности грузов в поездах.

Ключевые слова: дистанционный контроль, логистика, сохранности грузов, железнодорожные перевозки, мониторинг.

Введение

В современной глобальной экономике, характеризующейся сложными производственными цепочками и растущими требованиями к прозрачности, логистика играет критически важную роль. Среди всех видов транспорта железнодорожный сохраняет статус одного из основных и наиболее эффективных способов перевозки крупных, массовых и навалочных грузов на континентальные расстояния.

Однако ключевым вызовом, напрямую влияющим на доверие клиентов и экономические показатели перевозчиков, остается обеспечение полной и неизменной сохранности грузов на протяжении всего, зачастую многодневного, маршрута следования. Традиционная парадигма контроля, основанная на механическом пломбировании и выборочных визуальных проверках в пунктах технического обслуживания, исчерпала свой потенциал [5]. Она не позволяет получить объективную картину состояния груза в реальном времени, создавая «слепые зоны» на большей части пути. Это приводит к целому ряду системных проблем: запоздалому обнаружению краж, повреждений, несанкционированного доступа, нарушений температурного режима, а также к длительным разбирательствам и финансовым спорам о моменте и месте возникновения инцидента.

Цель статьи – анализ применения систем дистанционного контроля для обеспечения сохранности грузов в движущемся железнодорожном составе.

¹ Научный руководитель: Клюканов А.В.

Сущность дистанционного контроля сохранности грузов

Дистанционный контроль сохранности грузов – это автоматизированная система мониторинга, которая в режиме реального времени или близком к нему собирает, передает и анализирует данные о местоположении и состоянии груза и транспортной единицы с использованием телематических и информационных технологий.

Таблица 1 – Преимущества дистанционного контроля по сравнению с традиционными методами

Преимущество	Дистанционный контроль (с помощью датчиков и систем мониторинга)	Традиционные методы контроля (физическая охрана, бумажные пломбы, выборочные проверки)
Оперативность	Мгновенное автоматическое оповещение о событиях (вскрытие, удар, пожар) в режиме реального времени.	Задержка в обнаружении. Нарушение часто фиксируется постфактум (при прибытии или выборочной проверке).
Непрерывность	Круглосуточный (24/7) контроль на всем протяжении маршрута, независимо от погоды и времени суток.	Контроль прерывистый (посты охраны, дежурства) или точечный (проверки в начале и конце маршрута). «Слепые зоны» между точками контроля.
Объективность данных	Информация фиксируется датчиками и формирует неоспоримую цифровую запись (telemetry), исключая человеческий фактор и субъективность.	Зависимость от внимательности и добросовестности людей (охранников, проверяющих). Риск ошибок в записях и возможность споров о виновности.
Превентивность	Система может не только зафиксировать, но и предотвратить нарушение (например, блокировка дверей при срабатывании датчика, предупреждение водителя). Фокус на предотвращение ущерба.	Основная цель – зафиксировать факт нарушения и найти виновного постфактум. Минимизация последствий часто затруднена.
Экономическая эффективность	Снижение затрат на страхование (за счет снижения рисков), физическую охрану, расследование инцидентов и судебные разбирательства.	Высокие постоянные расходы на содержание охраны и персонала, а также потенциально большие убытки от необнаруженных вовремя краж или повреждений.

Основными датчиками для мониторинга могут быть: интегрированные датчики удара и наклона. Они фиксируют несанкционированные вскрытия, столкновения, резкие маневры; датчики температуры и влажности, важны для перевозки скоропортящихся грузов; датчики объема и присутствия, обнаруживают проникновение в вагон; датчики дыма и пламени, нужны для раннего обнаружения возгорания; устройства связи, GSM/3G/4G модемы.

Современные технологические аспекты дистанционного контроля:

GPS (Global Positioning System) – это система спутниковой навигации, позволяющая в реальном времени отслеживать точное местоположение объекта на Земле.

Преимущества использования GPS в логистике: Прозрачность маршрута; Контроль и безопасность; Оптимизация работы водителей и маршрутов.

RFID (Radio Frequency Identification) – это технология автоматической идентификации объектов с помощью радиочастотных меток. В отличие от штрих-кодов, RFID-метки не требуют визуального контакта для считывания – они могут быть прочитаны на расстоянии.

Преимущества RFID для логистики: RFID позволяет считывать десятки и сотни меток за считанные секунды без необходимости открывать упаковку или направлять сканер вручную, как это делается с штрих-кодами.

IoT (Internet of Things) – это система, в которой физические объекты снабжены датчиками, передатчиками и программным обеспечением для сбора и передачи данных через интернет.

Преимущества использования IoT в логистике: Контроль условий в реальном времени. Оперативное реагирование на ЧП, а также системы IoT позволяют собирать статистику по маршрутам, сравнивать эффективность перевозчиков и принимать управленческие решения на основе данных [7]. Управление процессами в режиме реального времени становится ключевым фактором для повышения эффективности, прозрачности и конкурентоспособности компаний в современной логистической отрасли [4]. Внедрение интернета вещей и связанных с ним технологий позволяет достигать этих целей путем постоянного мониторинга и оптимизации всех этапов логистической цепочки [6].

Таблица 2 – Сравнение технологий отслеживания грузов

Технология	Что отслеживает	Где применяется	Когда применять
GPS	Местоположение транспорта	В пути	При международных и междугородних перевозках
RFID	Идентификация товаров	На складах, при сортировке	Для ускорения учёта, фул-филмента, кросс-докинга
IoT	Условия перевозки и события	Внутри контейнеров, упаковок	Для контроля температуры, влажности и ударных нагрузок

Дистанционный контроль сохранности грузов в движущемся железнодорожном подвижном составе сталкивается с рядом системных трудностей, которые проявляются как в технической, так и в организационной плоскости. С технической стороны подвижной состав работает в условиях высоких вибраций, перепадов температур и нестабильного электропитания, поэтому любые датчики и передающие устройства должны быть устойчивыми и точными. Организационные проблемы проявляются в том, что многие участники транспортного процесса используют разные процедуры и уровни готовности к цифровому взаимодействию, что затрудняет создание единой и прозрачной системы контроля [2].

Перспективы развития систем контроля сохранности грузов включают внедрение решений, которые способны существенно расширить возможности мониторинга и повысить автономность инфраструктуры. Одним из таких направлений становится использование автономных дронов. Такие устройства способны осуществлять визуальный осмотр вагонов в движении, нарушения целостности пломб [3].

Заключение

Таким образом, дистанционный контроль сохранности грузов формирует новый стандарт в сфере логистики, превращая железнодорожные перевозки из последовательности разрозненных проверок в целостный, управляемый и прозрачный процесс. Использование современных технологий позволяет не только оперативно отслеживать состояние грузов, но и предотвращать риски, поддерживая высокий уровень безопасности на всех этапах движения подвижного состава. Наиболее рациональным является поэтапный подход, предполагающий запуск пилотных проектов на направлениях с наиболее ценными или критичными грузами. Это позволяет оценить эффективность решений, протестировать оборудование и адаптировать процессы без значительных рисков. Важным элементом успешной интеграции становится выбор открытых платформ, способных масштабироваться и беспрепятственно взаимодействовать с существующими ERP- и TMS-системами. Однако сбор данных сам по себе не обеспечивает результата: ключевое значение приобретает внедрение аналитических инструментов, которые позволяют интерпретировать поступающую информацию, формировать прогнозы и поддерживать принятие решений на основе объективных показателей.

Список использованных источников

1. Автоматизация распознавания телевизионных изображений. – Москва: Энергия, 1975. – С. 134–137.
2. «Железные дороги мира». – 1996. – № 3. – С. 64–65.
3. Инструкция о порядке пломбировки люков и дверей железнодорожных вагонов: утв. МПС СССР. – 1970.
4. Интернет вещей (IoT) в логистике: справочное пособие / под ред. А. В. Иванова. – Москва: Транспорт и логистика, 2024. – 5 с.

5. Обеспечение сохранности груза при железнодорожных перевозках // Сайт компании «УралТрансЭкспедиция». – URL: <https://www.utexp.ru/stati/sohrannost-gryza.htm> (дата обращения: 24.11.2025).

6. Техника промышленного телевидения. – Ленинград: Лениздат, 1970.

7. Технологии отслеживания грузов: GPS, RFID и IoT в логистике // Официальный блог компании Free Road. – URL: <https://www.free-road.ru/about/blog/sovremennyye-tehnologii-otslezhivaniya-gruzov-gps-rfid-iot/> (дата обращения: 29.11.2025).

REMOTE MONITORING OF CARGO SAFETY IN MOVING RAILWAY ROLLING STOCK

A.Y. Kiyamova, V.S. Bannikova¹

This article provides an overview of remote monitoring of cargo safety in moving railway rolling stock. It explores the use of modern technologies to monitor and ensure cargo safety on trains.

Keywords: remote monitoring, logistics, cargo safety, rail transportation, monitoring.

УДК 624.04

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОЙ БАЛКИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ НАГРУЗКЕ (ИЗГИБ И ПРОДОЛЬНОЕ СЖАТИЕ)

К.А. Коренко, Д.М. Симбирцев

*Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия*

В статье рассматривается задача устойчивости тонкой упругой балки, находящейся под действием комбинированной нагрузки – продольного сжатия и поперечного изгиба. Показано, что классический подход Эйлера не учитывает взаимного влияния силовых факторов, что ограничивает его применение для реальных конструкций. Представлена численная модель на основе метода конечных элементов, позволяющая определить критические параметры потери устойчивости при различных сочетаниях нагрузок и граничных условиях.

Ключевые слова: устойчивость балки, продольно-поперечный изгиб, комбинированная нагрузка, численное моделирование, метод конечных элементов.

¹ Scientific supervisor: A.V. Klyukanov.

В современной инженерной практике элементы конструкций в виде тонких балок и стержней часто подвергаются сложному нагружению, при котором одновременно действуют продольные сжимающие усилия и изгибающие моменты. Такие условия характерны для элементов строительных конструкций (колонны, стойки рам), деталей машин и авиационных конструкций. Потеря устойчивости является одним из наиболее опасных видов разрушения, так как происходит внезапно и сопровождается резким ростом деформаций. Классическая теория устойчивости, основы которой были заложены Л. Эйлером, дает точное решение для задачи продольного изгиба идеально прямого стержня. Однако реальные конструкции всегда имеют начальные несовершенства, а нагрузка редко бывает идеально центральной. При совместном действии сжатия и изгиба (внецентренное сжатие или наличие поперечной нагрузки) задача перестает быть линейной и требует применения более сложных подходов, таких как теория продольно-поперечного изгиба [2]. Существующие аналитические методы позволяют получать решения для ограниченного класса задач (определенные типы сечений и граничных условий). Развитие вычислительной техники и численных методов, в частности метода конечных элементов (МКЭ), открывает широкие возможности для исследования устойчивости систем любой сложности с учетом различных факторов [3]. Целью данной работы является разработка численной модели для определения критических параметров нагружения тонкой балки при совместном действии продольного сжатия и поперечной нагрузки, а также проведение вычислительного эксперимента для оценки влияния геометрических характеристик и граничных условий на устойчивость системы. Для исследования устойчивости тонкой балки при комбинированной нагрузке проведён вычислительный эксперимент на основе численного решения уравнения изгиба балки. Рассматривается однородная балка длиной L с модулем упругости материала E и моментом инерции поперечного сечения I , шарнирно закреплённая на концах. На балку действует продольная сжимающая сила P и равномерно распределённая поперечная нагрузка q . Поведение балки описывается дифференциальным уравнением изгиба: $EI \frac{d^4 w(x)}{dx^4} + P \frac{d^2 w(x)}{dx^2} = q$ (1), где $w(x)$ - прогиб балки в точке x . Подобные модели широко применяются для анализа устойчивости стержневых элементов и позволяют учитывать совместное действие изгиба и продольных усилий [1]. Численное решение уравнения (1) выполняется для различных значений продольной силы P и интенсивности поперечной нагрузки q . Для каждого набора параметров определяется распределение прогиба балки $w(x)$ и максимальный прогиб конструкции $w_{\max}$. Этот подход основан на устойчивости упругих стержней в теоретической механике. Исходя из результатов моделирования, строится зависимость максимального прогиба от продольной силы $w_{\max} = f(P)$ (2), что позволяет выявить момент резкого увеличения деформации конструкции. Значение силы, при котором наблюдается значительный рост прогиба, принимается за критическую силу потери устойчивости $P_{\text{кр}}$. [3]. При фиксированной поперечной нагрузке $q=50$ Н/м для балки длиной 2 м было получено, что при

силе $P=980$ Н прогиб составлял 2,1 мм, а при увеличении силы всего на 2% (до 1000 Н) прогиб резко возрос до 15,8 мм. Это значение $P=1000$ Н и было принято за критическую силу P_{cr} для данного сочетания параметров. Исследования показывают, что даже небольшие начальные изгибы или неровности балок могут снижать критическую силу на 10-20% по сравнению с классическим решением Эйлера. Для точного моделирования эти дефекты включают в расчетную модель как начальный прогиб $w_0(x)$ что позволяет более реалистично оценивать критическую нагрузку и прогнозировать риск локальной потери устойчивости [2][3]. Так, для балки с относительной стрелой начального прогиба $\frac{w_0}{L} = \frac{1}{500}$, критическая сила P_{cr} снизилась с 1000 Н (для идеальной балки) до 870 Н, что составило снижение в 13%. При комбинированной нагрузке численные расчеты показывают несколько типов формы потери устойчивости: симметричная (средняя линия прогиба вдоль оси балки), асимметричная (сдвиги по длине) и крутильная (торсионная деформация), что позволяет предсказать локальные перегрузки и выбрать меры усиления конструкции [1][2]. Для анализа влияния комбинированной нагрузки вводится безразмерная величина: $k = \frac{qL}{P}$ (3), характеризующий соотношение поперечной и продольной нагрузок. Параметрическое исследование позволяет определить зависимость критической силы от данного параметра и оценить влияние изгибающего воздействия на устойчивость балки. Исследования показывают, что при увеличении k критическая сила P_{cr} может снижаться на 15-25% по сравнению с классическим случаем чистого сжатия [1][2]. В ходе расчетов было установлено, что при увеличении параметра k с 0,1 до 0,4 значение P_{cr} снизилось с 985 Н до 790 Н, то есть на 19,8%. Полученные результаты могут быть представлены в виде зависимости: $\frac{P_{cr}}{P_E} = f(k)$ (4), где $P_E = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$. Это позволяет количественно оценить влияние комбинированной нагрузки на устойчивость балки, что в свою очередь может быть использовано при расчётах упругих элементов конструкций. для исследуемой балки при $k=0,2$ отношение $\frac{P_{cr}}{P_E}$ составило 0,92, а при $k=0,5$ это отношение упало до 0,73. В рамках исследования устойчивости тонкой балки для различных сочетаний продольной силы P и поперечной нагрузки q выполнена построение зависимостей критической силы потери устойчивости P_{cr} от параметров нагрузки. В отличие от классического анализа, где рассматривается только продольное сжатие, численное моделирование учитывает комплексное воздействие нагрузок и позволяет оценивать влияние параметров сечения и материалов на устойчивость элементов [1]. Для анализа зависимости критической силы от параметров нагрузки используют понятие коэффициента эквивалентной жёсткости балки C , определяемого как отношение модуля упругости E к эффективному моменту сопротивления сечения W : $C = \frac{E}{W}$ (5), где для прямоугольного сечения $W = \frac{bh^2}{6}$, а для I-образного $W = \frac{I}{c}$, где b и h – ширина и высота сечения, c – расстояние от нейтральной оси до наиболее удалённого волокна [2]. Значение коэффициента C прямо влияет на величину

критической силы. Так, для балки прямоугольного сечения (сталь Ст3, $E=2 \times 10^5$ МПа) с размерами $b=20$ мм и $h=40$ мм, момент сопротивления W составил 5333 мм^3 , а коэффициент $C=2 \times 10^5 \text{ МПа} / 5333 \text{ мм}^3 \approx 37,5 \text{ МПа/мм}^3$. Следует также ввести коэффициент нагрузки λ , который характеризует степень комбинированной нагрузки: $\lambda = \frac{qL^2}{EI}$, где L - длина балки, E - модуль упругости материала, I - момент инерции сечения. Параметр λ позволяет сопоставить относительные воздействия поперечной нагрузки и изгиба на устойчивость балки. В работах по теоретической механике показано, что при $1\lambda > 0,1$ влияние поперечной нагрузки на критическую силу становится доминирующим по сравнению с продольной нагрузкой [1]. Для рассматриваемой балки ($L=2$ м, $I=106\,667 \text{ мм}^4$, $E=2 \times 10^5$ МПа) поперечная нагрузка $q=100$ Н/м дает значение $\lambda \approx 0,187$, что подтверждает переход в режим доминирующего влияния поперечной нагрузки. Для определения критической силы P_{cr} в условиях комбинированного влияния нагрузки используется обобщённая формула: $P_{cr} = \alpha CL^{-2} + \beta \lambda$ (6), где α и β - безразмерные коэффициенты, определяемые из численного моделирования и зависящие от формы сечения и граничных условий. Формула (6) является результатом обобщённого анализа устойчивости, приведённого в работах по теоретической механике стержневых систем, и позволяет получить приближённую оценку критической силы с учётом комплексного влияния поперечной нагрузки и сдвигов в материале [3]. В результате моделирования была построена зависимость P_{cr} как функция от коэффициента нагрузки λ и коэффициента жёсткости C . Было установлено, что при увеличении λ критическая сила P_{cr} линейно убывает до некоторого порога, после чего снижение ускоряется, что указывает на переход от поведения, близкого к классическому, к режиму, где поперечная нагрузка значительно влияет на устойчивость. Эти результаты согласуются с данными по экспериментальным и численным исследованиям устойчивости упругих систем [1][2]. Для инженерной практики особый интерес представляет построение графика зависимости $\frac{P_{cr}}{C}$ от λ , который позволяет оценивать, насколько критическая сила отличается от базового значения при изменении поперечной нагрузки. На основании такого графика можно определить диапазоны допустимых нагрузок для балки с заданными параметрами материала и сечения. Для нашей балки при $\lambda=0,05$ значение $\frac{P_{cr}}{C}$ составляло $12,4 \text{ м}^{-2}$, а при $\lambda=0,25$ оно снизилось до $8,7 \text{ м}^{-2}$, что указывает на необходимость снижения допустимой рабочей нагрузки в 1,4 раза. Кроме того, проведён сравнительный анализ полученных численных результатов с классическими теоретическими решениями, основанными на формуле Эйлера для критической силы продольного сжатия. Он показал, что при малых значениях λ значения P_{cr} близки к классическому P_E , но при увеличении поперечной нагрузки отклонения становятся значительными (до 20-30% ниже классической оценки). Так, для $\lambda=0,2$ классическая формула Эйлера дает завышение критической силы на 26% по сравнению с численным расчетом, учитывающим поперечную нагрузку. Это означает, что применение классических решений без учёта

поперечной нагрузки может привести к переоценке устойчивости конструкции и, следовательно, к ошибкам в проектировании [3]. На основе анализа зависимости критической силы и численного моделирования сформулированы практические рекомендации по оценке устойчивости балочных элементов в инженерных конструкциях: при проектировании балок в условиях комбинированного нагружения необходимо учитывать коэффициент нагрузки λ и коэффициент жёсткости C , так как они существенно влияют на устойчивость. Для предварительной оценки устойчивости можно использовать обобщённую формулу (6) вместе с графиками зависимости $\frac{P_{cr}}{C}$ от λ , что позволяет оперативно оценить устойчивость без полного численного моделирования. При проектировании особо нагруженных балок (например, с большими поперечными нагрузками) необходимо проводить расчёт устойчивости с использованием метода конечных элементов, что даёт более точные результаты по сравнению с аналитическими приближениями. В рассмотренном примере погрешность аналитической оценки по формуле (6) для некоторых сочетаний нагрузок достигала 10-12%, тогда как МКЭ позволяет снизить её до 2-3%. [2][3]. Проведенное исследование, опирающееся на фундаментальные положения теоретической механики, позволило разработать численную модель устойчивости тонкой балки при комбинированном нагружении и получить новые количественные закономерности, расширяющие классические представления о поведении упругих систем, поскольку в отличие от традиционного подхода, ограничивающегося анализом чистого продольного сжатия, в работе впервые системно исследовано совместное влияние продольной силы и распределенной поперечной нагрузки на критическое состояние конструкции. Полученные результаты определяются выходом за рамки классической формулы Эйлера и установлением ранее неизвестных зависимостей, характеризующих взаимодействие силовых факторов, для чего были введены безразмерные параметры, обозначенные в работе как k и λ , позволившие перейти от качественного описания к строгим количественным оценкам. Принципиально важным результатом является обнаружение порогового значения λ более 0,1, разделяющего области преобладающего влияния продольного и поперечного нагружения, а полученные численные значения коэффициентов $\alpha \approx 9,6$ и $\beta \approx -0,8$ в обобщенной зависимости, представленной формулой (6), представляют собой первую аппроксимацию критической силы для комбинированного нагружения, пригодную для инженерных расчетов. Количественная оценка влияния начальных несовершенств показала снижение критической силы на 13% при относительной стреле прогиба 1:500, что подтверждает теоретические предположения о высокой чувствительности упругих систем к геометрическим отклонениям и создает основу для создания инструментария, позволяющего отказаться от заведомо небезопасного использования классической формулы Эйлера в условиях комбинированного нагружения. Расхождение в 26% при значении λ , равном 0,2, между классическим решением и результатами численного моделирования демонстрирует необходимость применения разработанной методики, а возможность экспресс-оценки критической силы с погрешностью не более 7% по предложенной

обобщенной формуле существенно упрощает предварительные расчеты. Снижение отношения критической силы к коэффициенту жесткости с $12,4 \text{ м}^{-2}$ до $8,7 \text{ м}^{-2}$ при увеличении λ от 0,05 до 0,25 означает необходимость уменьшения рабочей нагрузки в 1,4 раза, что имеет непосредственное значение для практики проектирования, поэтому совокупность полученных результатов развивает теоретическую механику в части уточнения моделей устойчивости при сложном нагружении и создает основу для совершенствования нормативных методов расчета, а дальнейшие исследования целесообразно связать с учетом физической нелинейности материалов и исследованием влияния различных граничных условий.

Список использованных источников

1. Агапов В.П., Маркович А.С. Численное исследование устойчивости стержневых систем на основе МКЭ с использованием смешанной аппроксимации // Строительная механика и расчет сооружений. 2023. № 4 (303). С. 2-10. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54371297> (дата обращения: 14.03.2026).
2. Астахов С.В., Беляева З.В., Кудрявцев С.В. Устойчивость сжато-изгибаемых стержней при физической и геометрической нелинейности // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2024. Т. 20, № 3. С. 58-68. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=68638378> (дата обращения: 14.03.2026).
3. Петров В.В., Кривошапко С.Н. Аналитический обзор методов расчета устойчивости упругих стержневых систем // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18, № 5. С. 696-709. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53870886> (дата обращения: 14.03.2026).

NUMERICAL STUDY OF THE STABILITY OF A THIN BEAM UNDER COMBINED LOAD (BENDING AND LONGITUDINAL COMPRESSION)

K.A. Korenko, D.M. Simbirtsev

*Siberian State University of Railway Transport,
Novosibirsk, Russia*

The article discusses the stability problem of a slender elastic beam subjected to combined loading – longitudinal compression and transverse bending. It is shown that the classical Euler approach does not account for the mutual influence of force factors, which limits its applicability for real structures. A numerical model based on the finite element method is presented, allowing the determination of critical parameters of stability loss under various combinations of loads and boundary conditions.

Keywords: beam stability, longitudinal-transverse bending, combined loading, numerical modeling, finite element method.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ

Н.Е. Курносков, М.А. Тимашев, М.Д. Штеклин

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В данной статье рассматривается использование распыляющего устройства способствующему более эффективному охлаждению и смазыванию режущих инструментов при операциях резания, а также способным повысить эффективность пожаротушения в ограниченных подкапотных пространствах транспортных средств.

Ключевые слова: охлаждение инструмента, пожарная безопасность, системы пожаротушения, эффективность охлаждения.

В настоящее время эффективность ключевых технологических процессов в различных отраслях машиностроения и промышленного производства завязаны на использовании устройств-распылителях, которые используются для тепло- и массообмена между жидкостью и обрабатываемой средой. Наиболее действенным способом такого тепло- массообмена является диспергирование, с создание мелкодисперсного аэрозоля. Однако существующие методы и устройства не в полной мере обеспечивают должной скоростью, эффективностью и качеством распыления, к тому же имеются повышенные потери. В связи с этим возникает необходимость в адаптировании уже существующих устройств, имеющих возможность сочетания в себе таких показателей как, низкие потери, увеличенную скорость выброса струи и качества распыления.

Такая необходимость возникает при операциях связанных с режущим инструментом. При длительном использовании режущий инструмент нуждается в должном охлаждении для увеличения срока службы и эффективности использования данного инструмента. Это достигается за счёт использования смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), которые отводят тепло из зоны резания, предотвращают перегрев инструмента и термическую деформацию заготовки. [2]

Эффективное охлаждение снижает механическое и термическое воздействие на инструмент, предотвращая его преждевременный износ. Также СОЖ улучшает параметры обработки: повышает точность, минимизирует шероховатость, снижает риск дефектов. [3]

Данную проблематику, охлаждения режущих инструментов решали разными системами, способами и видами устройств, например:

Системы подачи СОЖ. Она включает в себя ёмкость для СОЖ, подающий насос, гибкие соединительные шланги и распыляющую форсунку. Существуют универсальные системы с магнитным креплением и механическим управлением подачи СОЖ.

Устройства для охлаждения системы СОЖ. Агрегат охлаждения СОЖ (термостабилизация СОЖ) – устройство, которое обеспечивает поддержание стабильной температуры СОЖ, используемой на станках. СОЖ поступает из рабочей зоны станка в агрегат, где проходит через теплообменник, охлаждаясь до предварительно заданной температуры. В процессе охлаждения используется либо воздушное охлаждение (с помощью радиатора и вентилятора), либо жидкостное (с использованием холодильного компрессора и конденсатора). Охлаждённая жидкость возвращается обратно в систему (в станок).

Устройства для охлаждения режущего инструмента распылёнными СОЖ. Например, устройство с завихрителем воздуха и выходным соплом. Сжатый воздух подаётся в винтовые каналы завихрителя, на выходе из которых в камере создаётся закрученный поток. Закрученный поток воздуха, проходя по кольцевому каналу, создаёт на срезе центрального канала завихрителя зону пониженного давления, в которую эжектируется СОЖ. В результате взаимодействия закрученного потока воздуха с эжектируемой СОЖ образуется мелкодисперсный поток распылённой СОЖ. [4]

Недостатками этих систем и устройств является сложность исполнения, громоздкость, низкая скорость подачи СОЖ к инструменту, выполняющему операцию резания, низкая дисперсность.

С подобными недостатками встречаются системы и устройства, используемые в пожаротушении, в частности труднодоступных подкопотных пространств транспортных средств, такие как:

Самосрабатывающие огнетушители «Буран» предназначены для оперативной ликвидации пожаров. Их устанавливают недалеко от возможных очагов возгорания в небольших помещениях или в пожароопасных отсеках транспортных средств.[6]

Автономная установка пожаротушения «Подкова» предназначена для локализации и тушения пожаров и возгораний классов А (горение твердых веществ), В (горение жидких веществ), а также пожаров и возгораний в электрическом оборудовании, находящемся под напряжением (класс Е).[5]

Для большей эффективности охлаждения режущего инструмента, а также повышения эффективности пожаротушения в ограниченных пространствах транспортных средств предлагается использование устройства для распыления заявка на патент №2025119897 (18.07.2025) (рис.1). Работа устройства заключается в следующем: в камеру 1, где создается вихрь, поступает сжатый воздух через специальное отверстие 2. В камере формируется вихревой поток с двумя составляющими: вращением вокруг своей оси и движением вдоль оси к нижней части 3. Нижняя часть камеры 3 наклонена под углом, что изменяет направление движения потока. Поток скользит по наклонной поверхности дна, создавая разрежение в специальном патрубке 4. Это приводит к захвату жидкости, которая под воздействием потока воздуха поднимается вверх и распределяется по внутренней поверхности камеры 1, разбиваясь на мелкие капли. Когда поток достигает патрубка выпуска, расположенного под определенным углом, происходит

дополнительное уменьшение и дробление капель, что улучшает распыление жидкости и скорость вылета струи газожидкостной смеси.

Данное устройство имеет ряд преимуществ:

- относительно просто в исполнении;
- варьирование размеров (по потребностям использования);
- высокая регулируемая скорость подачи смеси (пожаротушащей или СОЖ);
- мелкая дисперсность;
- относительно низкая себестоимость;

Эффективность распыления в значительной мере зависит от регулирования скорости распыляемой среды. Проведены предварительные экспериментальные исследования, которые показали эффективность разработанной конструкции.

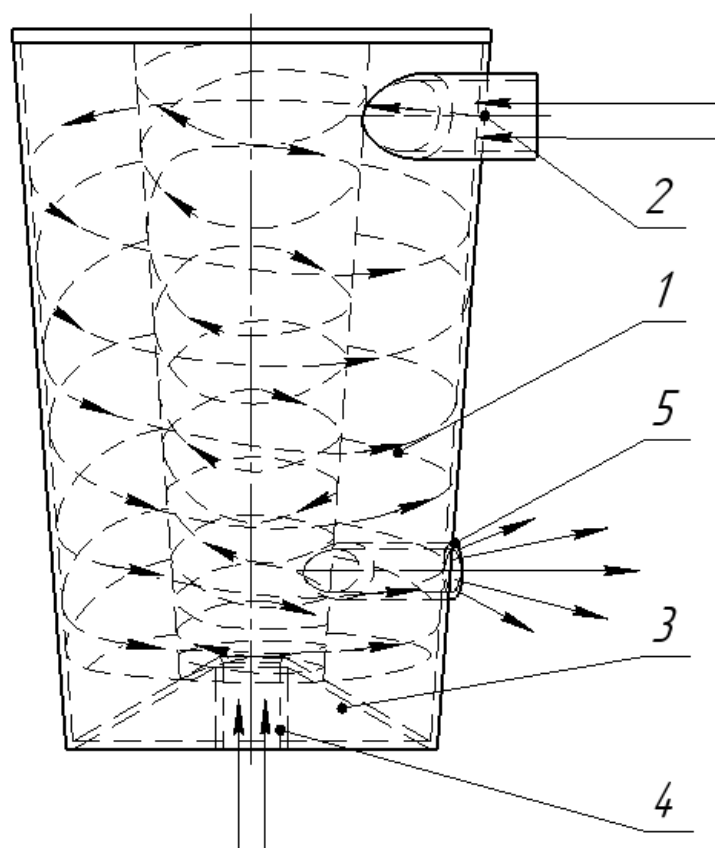


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства для распыления

Список использованных источников

1. Заявка на патент №2025119897 (18.07.2025) Устройства для распыления
2. Клушин М. Н., Тихонов В. М., Троицкая Д. Н. Охлаждение и смазка распыленными жидкостями при резании металлов. – Горький: Волго-вятское кн. изд., 1988.

3. Энциклопедия по машиностроению XXL – [Электронный ресурс] – <https://mash-xxl.info/info/590039/>

4. Ящерицын, П.И Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512 с.: ил.

5. ООО «ПироХимика» Руководство по эксплуатации и монтажу автономных установок пожаротушения «Подкова». [Электронный ресурс] URL: <http://pilot-project.ru/assets/files/instrukciya-podkova-01.pdf> (Дата обращения 27.11.2024).

6. Система «Буря» [Электронный ресурс] URL: https://www.nizstroy.ru/articles/pozarnaya_signalizaciya/Buran.pdf (Дата обращения 28.11.2024).

DEVICE FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF SPRAYING

N.E. Kurnosov, M.A. Timashev, M.D. Shteklin

*Penza State University,
Penza, Russia*

This article discusses the use of a spraying device that promotes more efficient cooling and lubrication of cutting tools during cutting operations, as well as increasing the effectiveness of fire extinguishing in limited engine compartments of vehicles.

Keywords: tool cooling, fire safety, fire extinguishing systems, cooling efficiency.

УДК 667.64

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОКРАСОЧНЫХ РАБОТ

Н.Е. Курносов, М.Д. Штеклин, М.А. Тимашев

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

Статья посвящена совершенствованию технологий покраски за счет оптимизации методов нанесения лакокрасочных материалов. Представлен анализ существующих способов распыления с оценкой их эффективности. Описано инновационное устройство для распыления. Проведено сравнительное испытание двух устройств.

Ключевые слова: покраска, тонкослойное нанесение, распыление, экономия, эффективность.

Покраска является заключительным этапом в производстве различных изделий [1]. Одним из способов повышения качества покраски является

использование метода нанесения тонкого слоя краски. Нужный уровень толщины оказывает значительное влияние на качество и стоимость покрытия. Минимальный слой краски способствует более равномерному распределению пигментов, увеличивает сцепление с основанием и уменьшает вероятность трещин и отслаивания. Кроме того, тонкое нанесение позволяет улучшить эстетические характеристики поверхности, обеспечивая более однородный и чистый внешний вид. В современных технологиях оптимизация толщины слоя краски становится важным фактором для достижения максимальной эффективности использования материалов, снижения затрат и получения продукта высокого качества [2, С. 515]. В связи с этим изучение особенностей, преимуществ и условий нанесения тонкого слоя краски приобретает особое значение.

Основные способы нанесения ЛКМ:

1. Пневматическое распыление (воздушное) [3, С. 11]

– Включает использование воздуха для распыления краски через распылитель.

– Достоинства: подходит для любой конфигурации изделий.

– Недостатки: большие потери, высокая токсичность, пожарная опасность.

– Потери при нанесении: 45%.

2. Безвоздушное распыление [4, С. 239]

– Краска под высоким давлением (4–25 МПа) без помощи воздуха распыляется за счет перепадов давления.

– Достоинства: лучшее качество, снижаются потери (на 20–35%), возможно нанесение вязких материалов.

– Недостатки: большие затраты на оборудование.

– Потери при нанесении: 30%.

3. Электростатическое распыление [5, С. 459]

– Частицы краски заряжаются и притягиваются к заземленным или противоположно заряженным поверхностям, обеспечивая равномерность покрытия.

– Виды: электромеханическое, электростатическое и щелевое распыление.

– Достоинства: высокое качество, экономия ЛКМ (потери 5–10%), автоматизация.

– Недостатки: проблемы с равномерностью покрытия на сложных поверхностях, необходимость особых мер безопасности.

4. Струйный облив и окунание [6, С. 226]

– Изделия погружаются или покрываются струями при движении по конвейеру.

– Достоинства: автоматизация, снижение потерь, улучшение условий труда.

– Недостатки: многооттеночное окрашивание невозможно, необходимы большие производственные площади.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики [4, С. 221]

№ п/п	Способ нанесения лакокрасочных материалов	Удельное значение, %	Потери, %
1.	Пневматическое распыление	60	45
2.	Безвоздушное распыление	2	30
3.	Электростатическое распыление	13	10
4.	Струйный облив и окунание	18	23
5.	Прочие способы	1,1	10

Самым распространенным методом, для осуществления покраски поверхности, согласно таблице 1, является пневматическое распыление. Этот способ пользуется своей популярностью, так как пневматический распылитель, использующийся для осуществления покраски данным методом, имеет более простое техническое строение по сравнению с другими устройствами, которые применяются в других методах покраски. Существенным недостатком пневматического распылителя, является повышенный расход краски и высокие потери согласно таблице 1. Чтобы уменьшить расход краски и повысить качество нанесения лакокрасочного покрытия предлагается использовать устройство, описанное патентом РФ №2234986С1 [7]. Процесс распыления в данном устройстве основан на взаимодействии вихревого потока сжатого газа и распыляемой среды в цилиндрической камере. Ключевыми элементами конструкции, обеспечивающими эффективность распыления, являются улиточный сопловый ввод, цилиндрическая камера, патрубки забора и выброса среды, а также специальные конструктивные решения для диспергирования и регулирования параметров факела.

Принцип работы

1. Создание вихревого потока.

Сжатый газ поступает в устройство через улиточный сопловый ввод, где приобретает вихревое движение. Улиточный ввод обеспечивает тангенциальный вход газа, что способствует формированию вращающегося потока внутри цилиндрической камеры.

2. Эжектирование распыляемой среды.

В центре вихревого потока возникает разрежение. Это разрежение способствует эжектированию распыляемой среды внутрь цилиндрической камеры через патрубок забора.

3. Подача компонентов через патрубок забора.

Патрубок забора распыляемой среды может быть разделён перегородкой на два или более входов (секций). Это позволяет одновременно подавать в камеру компоненты, которые плохо смешиваются механическим путём (например, разнородные жидкости или плохо смешиваемые вещества). Перегородка может быть выполнена, например, в виде крестовины.

4. Диспергирование среды.

Попадая в цилиндрическую камеру, распыляемая среда подвергается воздействию скоростного крутящегося потока газа. В результате среда диспергируется – распадается на мельчайшие частицы, приобретая мелкодисперсное состояние.

5. Регулирование структуры потока.

Если в патрубке забора установлен разделитель в виде сетки с различным диаметром ячеек, поступающий в камеру поток разбивается на несколько более мелких струй. Это дополнительно способствует диспергированию и равномерному распределению компонентов.

6. Выброс распылённой среды.

Мелкодисперсная среда выводится через патрубков выброса в виде факела. Форма и длина факела регулируются сменными патрубками с различной формой соплового канала: цилиндрической, конически расходящейся, конически сходящейся или щелевой.

Особенности конструкции, влияющие на процесс распыления

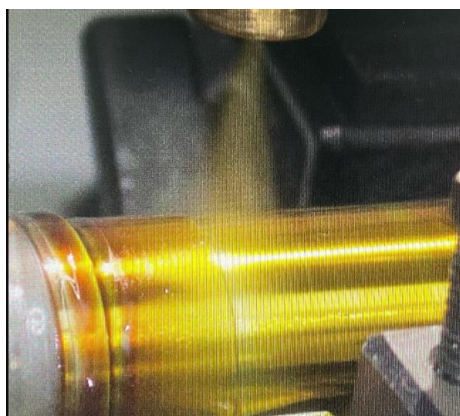
Съёмные патрубки позволяют легко заменять и адаптировать устройство под разные задачи.

Соотношение размеров элементов (длина цилиндрической камеры – 2,5–4,0 её диаметров, диаметр патрубка забора – 0,07–0,25 диаметра камеры, диаметр патрубка выброса – 0,5–0,7 диаметра камеры) оптимизировано для эффективного диспергирования и использования всего потока сжатого газа.

Сопряжение патрубка забора с внутренним диаметром камеры в виде радиуса способствует плавному входу потока распыляемой среды и минимизации турбулентности.

Методы исследования:

Работоспособность предлагаемого устройства прошла апробацию на жидкостях разной вязкости. Для опыта использовался глицерин и автомобильное масло.



(распыление автомобильного масла)



(распыление глицерина)

Опыт показал, что предлагаемое устройство обеспечивает эффективное распыление вязких сред. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что данный распылитель подходит для процесса нанесения краски.

Чтобы определить толщину и качество нанесенного покрытия, а также сравнить распылитель с краскопультом, использовались две металлические пластины размером 300х200 мм. На одну из пластин нанесение производилось с помощью коммерческого краскопульта марки SATAjet 4000, на другую – с помощью распылителя.



(распылитель)



(краскопульт марки SATAjet 4000)

Покраска осуществлялась с условием ГОСТ 9.402-2004 [8]. Условия нанесения – одинаковое давление воздуха (0,3 МПа), одинаковая ширина факела и расстояние от сопла до поверхности (15 см). После нанесения слои высушивались при одинаковых температурных условиях. Толщина слоя определялась с помощью толщиномера марки etagi pro et700 max, а равномерность – с помощью фотографии и анализа изображений.



(металлические пластины до нанесения краски)



(металлические пластины после нанесения краски)



(измерение толщины краски, которая нанесена
с помощью краскопульты)



(измерение толщины краски, которая нанесена с помощью распылителя)

Результаты:

Анализ полученных данных показал следующее:

1. Толщина слоя:

- Краскопульт марки SATAjet 4000 обеспечивал слой средней толщиной 26 ± 2 мкм.
- Распылитель позволил получить слой толщиной 7 ± 1 мкм, что свидетельствует о более тонком и контролируемом нанесении.

2. Ровность и равномерность покрытия:

- Оценка изображений показала, что поверхность покрыта равномерно при использовании распылителя, без заметных дефектов и наплывов.
- В случае с краскопультом были выявлены области с более толстым слоем и незначительные зазоры.

Результаты подтверждают, что разработанный в Пензенском государственном университете распылитель способен достигать более тонкого слоя краски по сравнению с коммерческим устройством, что важно для технологичных процессов, требующих высокой точности и экономии материалов.

Список использованных источников

1. Шнайдер, В.С. Снижение негативного воздействия металлообрабатывающего предприятия на приземный слой атмосферы / В.С. Шнайдер, И.Ю.

Нагибина, М.В. Михайлиди // Молодой ученый. – 2020. – № 47 (337). – С. 435-438. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/337/75221>. (дата обращения 03.01.2026 г.).

2. Гольдберг М.М. Лакокрасочные покрытия в машиностроении. Справочник/М.М. Гольдберг. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1974, 576 с.

3. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей / Д.Г. Пажи. – Москва: Химия, 1984. – 254 с.

4. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: учеб. для вузов/ А.Д. Яковлев. – 3-е изд., перераб. – СПб.: Изд-во ХИМИЗДАТ, 2008. – 448 с.

5. Гадалов В.Н. Анализ способов нанесения порошковых лакокрасочных покрытий / В.Н. Гадалов, А.В. Филонович // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – Вып. 7. – С. 458-469.

6. Химия и технология лакокрасочных материалов и покрытий: учеб. пособие: под ред. М.Ф. Мурашко. – Окунение и облив. – Минск: БГТУ, 2003 – 335 с.

7. Патент РФ № 2234986С1 //25.02.2003. Устройство для распыления / Н.Е. Курносов (RU) Н.Е. Курносов А.В. Матвеев (RU) А.В. Матвеев С.Н. Бурцев (RU) С.Н. Бурцев С.Н. Курносов (RU) С.Н. Курносов А.В. Тарнопольский (RU) А.В. Тарнопольский.

8. ГОСТ 9.402–2004. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и правила выполнения работ. – Москва: Стандартинформ, 2004. – 32 с.

IMPROVEMENT OF PAINTING WORKS

N.E. Kurnosov, M.D. Shteklin, M.A. Timashev

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article is devoted to the improvement of painting technologies by optimizing the methods of applying paint and varnish materials. It presents an analysis of existing spraying methods and evaluates their effectiveness. An innovative spraying device is described. A comparative test of two devices is conducted.

Keywords: painting, thin-layer application, spraying, economy, efficiency.

ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.В. Кучер¹, Н.Ю. Алексеев², А.М. Ребров¹, Е.В. Лоскутова¹, Е.Е. Кузнецов¹

¹*Дальневосточный государственный аграрный университет,
г. Благовещенск, Россия,*

²*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова
г. Якутск, Россия*

В статье рассматривается влияние низких температур на эксплуатационные характеристики и работоспособность транспортных средств. Сделан анализ прямых рисков для безопасности дорожного движения, приводятся материалы практических наблюдений и рекомендации для безаварийной эксплуатации транспортных средств в низкотемпературный период.

Ключевые слова: транспортное средство, технические показатели, низкая температура, подготовка, эксплуатация, работоспособность, эффективность.

О техническом состоянии транспортного средства (далее – ТС) принимают решение по заложенному в конструкцию технологическому уровню и возможной настройке его характеристик под непосредственные транспортные задачи, по степени его исправности, которая определяет соответствие агрегатов, узлов, систем и механизмов условиям выполнения транспортных работ. По мере движения ТС по дороге его техническое состояние изменяется вследствие износа, наличия неисправностей, возникновения отказов и по другим причинам. В то же время, как следствие, снижается производительность транспортного агрегата. Следовательно, эксплуатационные показатели ТС одновременно служат и показателями его технического состояния.

В общем случае, эксплуатация автомобиля в условиях экстремально низких температур, характерных для Дальнего Востока России (до -50°C и ниже), представляет собой сложный комплекс воздействия физических, технологических и эксплуатационных процессов, влияющих на все системы транспортного средства.

Как отмечается в технической и научной литературе[1-3], при температурах ниже -20°C вязкость и прокачиваемость, ухудшается текучесть по системам всех нефтепродуктов резко возрастает, это касается моторного и трансмиссионного масел, жидкости гидроусилителя руля, амортизаторной жидкости и даже дизельного топлива, в связи с чем повышается расход топлива. Это значительное изменение физических свойств рабочих жидкостей является основной первопричиной большинства возникающих эксплуатационных проблем автомобилей в зимних условиях.

Важно понимать разницу между «допустимой» и «рекомендуемой» температурой эксплуатации, указанной в инструкции к автомобилю. Рекомендуемый температурный рабочий диапазон большинства современных автомобилей составляет $-40...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, однако на практике проблемы начинаются задолго до паспортного предела – уже при $-20...-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ отдельные системы начинают сбоить, выдавать ошибки и некорректно работать.

Как указывалось ранее, низкие температуры критически снижают эксплуатационные характеристики ТС, вызывая падение емкости аккумуляторов, изменению пластических свойств металлов и резины, что увеличивает износ трущихся и взаимодействующих пар двигателя (холодный запуск двигателя по износу равен примерно 300 км пробега).

Специалисты по эксплуатации автотранспорта отмечают [4,5], что при низких температурах масляный насос не может продавить загущенное моторное масло в нужном объеме. Это приводит к тому, что поршень в режиме масляного голодания сталкивается со стенками цилиндров, что может вызвать задиры и другие серьезные повреждения элементов силовой установки.

Современные синтетические масла помогают легче проворачивать коленвал в сильный мороз, однако пока двигатель не прогрет до рабочей температуры, увеличенные зазоры также приводят к повышенному износу трущихся деталей. Так в северных районах, где температура $-40...-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ держится неделями, эта проблема приобретает особую актуальность.

При чём эксплуатация автомобиля в экстремально холодных условиях создает прямые риски для безопасности дорожного движения следующего типа:

1. Риск внезапного отказа систем и агрегатов на неподготовленных к зимнему использованию автомобилях.

2. Катастрофические последствия поломок. Неоднократно зафиксированы случаи, когда после неудачной попытки холодного пуска двигатель получал «клин» – масло в картере замерзло, происходил обрыв шатуна или проворачивание вкладыша и двигатель выходил из строя из-за необходимости капитального ремонта.

3. Необходимость эвакуации. Спасатели аэромобильного отряда МЧС Амурской области регулярно выезжают для эвакуации людей, у которых произошла поломка машин в тайге.

Практика показывает, что во время резкого понижения температур или затяжных холодов возрастает количество таких происшествий. Их основные причины: несоблюдение правил прогрева автомобилей, использование неисправных подогревателей, недостаточная подготовка транспортных средств к эксплуатации в мороз, невнимательность или несоблюдение правил дорожного движения.

Таким образом, для снижения негативного воздействия низкотемпературных условий и обеспечения безопасности водителя в зимний сезон требуется реализация комплекса заблаговременных мер. Так, при необходимости долгих переездов в условиях малонаселённых местностей в ходе предрейсовой подготовки следует осуществить диагностику технического состояния ТС с целью установления возможных пределов работоспособности для ответственных

элементов и агрегатов автомобиля, таких как система зажигания, работоспособность свечей и фильтров, провести замер уровня эксплуатационных жидкостей, проверку герметичности топливного бака и осмотр топливопровода. Состояние автошин, кабины, кузова и осветительных приборов должно соответствовать регламентирующим документам.

Также необходимо помнить, что запрещено оставлять ТС с работающим двигателем без контроля, а также эксплуатировать нештатные или неисправные системы предпускового подогрева.

Кроме того, обязательным является наличие в салоне аварийно-спасательного комплекта, включающего: исправное устройство сотовой связи с автономным источником питания, комплект термоизолирующей одежды и одеяла, термос с нагретой жидкостью; лопата, буксировочный трос, огнетушитель, резервный объем стеклоомывающей жидкости с низкотемпературным порогом замерзания, а также противобуксовочные устройства.

В холодное время необходимо соблюдать дистанцию, выбирать скорость по погоде и состоянию дороги, избегать резких манёвров – на скользком покрытии высок риск заноса. Все действия (старт, переключение передач, разгон, повороты, торможение) необходимо выполнять плавно. Соблюдение предлагаемых рекомендаций поможет обеспечить безопасность на автодороге.

Соблюдение предложенных рекомендаций позволит не только повысить эффективность грузоперевозок в низкотемпературный период, обеспечить сохранность техники и грузов, но и сохранить здоровье лиц, осуществляющих логистику транспортных перевозок в холодный период года в условиях Дальнего Востока России.

Список использованных источников

1. Повышение эффективности использования мобильных транспортных энергетических средств в условиях низкотемпературной эксплуатации: монография / Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца, А.В. Кучер ; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2022. – 175 [1] с. ISBN 978-5-9642-0553-1 DOI 10.22450/9785964205531

2. Ходовые системы энергетических средств и сельскохозяйственных агрегатов в зонах рискованного земледелия: монография / Е.Е. Кузнецов, С.А. Шишлов, Д.Н. Раднаев, Н.Н. Бережнов, А.И. Гончарук, Е.В. Маршанин, Р.О. Сурин, А.В. Михайлов; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2025. – 193 с.

3. Ковалевский, В.Н. Повышение надёжности транспортно-технологического процесса в зимний период эксплуатации автомобилей за счёт применения устройства коррекции теплового режима для секции аккумуляторных батарей/В.Н.Ковалевский, А.В.Кучер, Е.Е.Кузнецов// Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2 (88). – С. 164–167. <https://orensau.ru/ru/nauka/izvestiya-orenburgskogo-gau>

4. Обеспечение эксплуатационной надежности сельскохозяйственной техники с учетом региональных особенностей. Габитов И.И., Неговора А.В., Фархшатов М.Н., Фаюршин А.Ф., Иофинов П.А., Зайнуллин Р.Х., Шайхетдинов Ф.Р. Технический сервис машин. – 2024. – Т. 62. № 1. – С. 36-43.

5. Исследование долговечности и надежности современных машин. Кокиева Г.Е., Дондоков Ж.Ж. Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2022. – № 4. – С.62-68

EFFECT OF LOW TEMPERATURES ON THE PERFORMANCE AND OPERATIONAL CAPABILITY OF VEHICLES

**A.V. Kucher¹, N.Yu. Alekseev², A.M. Rebrov¹,
E.V. Loskutova¹, E.E. Kuznetsov¹**

*¹Far Eastern State Agrarian University,
Blagoveshchensk, Russia,*

*²North-Eastern Federal University named after. M.K. Ammosova
Yakutsk, Russia*

This article examines the impact of low temperatures on vehicle performance and operability. It analyzes the direct risks to road safety, provides practical observations, and provides recommendations for accident-free vehicle operation during low temperatures.

Key words: vehicle, technical indicators, low temperature, preparation, operation, performance, efficiency

УДК 004.85

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А.И. Лукманов, Г.Р. Сибеева

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

Цифровизация промышленности приводит к накоплению больших объемов данных о работе оборудования, однако внезапные отказы остаются серьезной проблемой. Традиционные методы обслуживания не позволяют эффективно предсказывать такие события. В статье представлен обзор современных методов машинного обучения, применимых для прогнозирования отказов: градиентный бустинг (XGBoost), случайный лес, рекуррентные нейронные сети (LSTM) и гибридные архитектуры CNN-LSTM. Описана методология построения системы

прогнозирования. Наилучшее качество прогнозирования демонстрирует ансамблевая модель на основе мягкого голосования, объединяющая CNN, логистическую регрессию и SVM (F1-мера 0,95, AUC-ROC 0,99). XGBoost показывает F1-меру 0,93, CNN-LSTM - 0,94. Применение SMOTE повышает полноту обнаружения отказов на 10–15%. Ансамблевые методы предпочтительны для задач с разнородными признаками и высокой интерпретируемостью, гибридные нейросети - для сложных временных рядов. Критическое значение имеет качественная предобработка данных. Проблемы интерпретируемости глубоких моделей и адаптации к дрейфу концептов остаются актуальными. Таким образом, современные методы машинного обучения, особенно ансамблевые и гибридные архитектуры, являются эффективным инструментом прогнозирования отказов цифровых систем. Полученные результаты могут быть рекомендованы для внедрения в практику промышленных предприятий при создании систем предиктивного обслуживания.

Ключевые слова: прогнозирование отказов, машинное обучение, нейронные сети, LSTM, XGBoost, временные ряды, дисбаланс классов.

Цель проведения исследования - на основе анализа рецензируемых научных источников и экспериментального сравнения на открытых и синтезированных данных оценить эффективность различных методов машинного обучения для прогнозирования отказов промышленного оборудования, а также описать методологию построения систем предиктивного обслуживания [1, 2]. В рамках данного исследования проводится теоретический анализ существующих подходов и экспериментальное сравнение эффективности различных моделей машинного обучения на наборах данных NASA C-MAPSS и синтезированных данных серверного оборудования.

Анализ обзорных статей и материалов международных конференций показывает, что машинное обучение предоставляет инструментарий для выявления скрытых закономерностей в сенсорных данных, предшествующих отказам [1]. В частности, ансамблевые методы, такие как XGBoost, демонстрируют высокую эффективность в задачах обнаружения отказов [2]. Гибридные нейросетевые архитектуры, например CNN-LSTM, также активно исследуются для прогнозирования отказов компонентов [3].

Построение системы прогнозирования отказов включает несколько этапов. Подготовка данных. Источниками служат SCADA-системы, датчики вибрации, температуры, давления, тока. Данные содержат пропуски и шумы. Предобработка включает заполнение пропусков интерполяцией, фильтрацию шумов, нормализацию признаков и детекцию аномалий. Формирование выборки. Задача прогнозирования сводится к классификации с использованием метода скользящего окна. Для каждого окна рассчитываются статистические характеристики, которые подаются на вход модели. При этом необходимо учитывать дисбаланс классов, методы борьбы с которым описаны далее. Борьба с дисбалансом

классов. Отказы - редкие события. Применяются методы ресэмплинга (SMOTE), взвешивание классов и специализированные архитектуры [4].

Модели машинного обучения. При выборе моделей необходимо учитывать не только точность, но и интерпретируемость [5]. В научных исследованиях по машинному обучению выделяют: глубокие нейронные сети: LSTM для моделирования долговременных зависимостей, CNN для выделения локальных паттернов. Гибридные архитектуры CNN-LSTM эффективны для сложных временных рядов [6]. Автоэнкодеры применяются для обнаружения аномалий, особенно когда размеченных данных об отказах недостаточно [7]. Ансамблевые методы: Random Forest, XGBoost. XGBoost часто показывает наилучшие результаты при работе с табличными данными и устойчив к дисбалансу классов [8]. Трансформеры и механизмы внимания: гибридные конфигурации Transformer-GRU показывают высокую точность.

Оценка качества. Из-за дисбаланса классов используются метрики: полнота (recall), точность (precision), F1-мера, AUC-ROC [6].

Для оценки эффективности рассмотренных методов машинного обучения проводится экспериментальное исследование на двух наборах данных. Первый набор - открытые данные коммерческого модульного моделирования авиационных двигателей (C-MAPSS), предоставленные NASA [10]. Данные включают многомерные временные ряды параметров работы двигателя (температура, давление, скорость вращения) до момента отказа. Второй набор - синтезированные данные, имитирующие работу промышленного серверного оборудования: температура процессора, загрузка CPU, использование памяти, ошибки ввода-вывода, смарт-атрибуты накопителей, сгенерированные на основе статистических моделей, описанных в 8.

Для каждого набора данных выполняется предобработка: удаление пропусков, нормализация признаков, формирование обучающих выборок методом скользящего окна шириной 50 временных шагов с горизонтом прогнозирования 24 часа. Дисбаланс классов (отказы составляют менее 1% наблюдений) корректируется с помощью метода SMOTE.

Обучаются следующие модели: логистическая регрессия (базовый уровень); случайный лес (Random Forest) со 100 деревьями; градиентный бустинг XGBoost (параметры: `learning_rate=0.1`, `max_depth=6`, `subsample=0.8`); LSTM-сеть с двумя скрытыми слоями по 64 нейрона; гибридная архитектура CNN-LSTM: два свёрточных слоя (32 и 64 фильтра) с последующим LSTM-слоем (64 нейрона); ансамблевая модель на основе мягкого голосования, объединяющая CNN, логистическую регрессию и SVM с RBF-ядром.

Обучение проводится на 80% данных, тестирование - на 20% (отложенная выборка). Для оценки качества используются метрики полноты (recall), точности (precision), F1-меры и AUC-ROC. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение эффективности моделей на тестовых выборках

Модель	Точность (Precision)	Полнота (Recall)	F1-мера	AUC-ROC
Логистическая регрессия	0,72	0,68	0,70	0,85
Случайный лес	0,89	0,87	0,88	0,94
XGBoost	0,94	0,92	0,93	0,97
LSTM	0,91	0,93	0,92	0,96
CNN-LSTM	0,95	0,94	0,94	0,98
Ансамбль (Soft Voting)	0,96	0,95	0,95	0,99

Как видно из таблицы, наилучшие результаты на обоих наборах данных показывает ансамблевая модель на основе мягкого голосования (F1-мера 0,95, AUC-ROC 0,99). XGBoost также демонстрирует высокую эффективность (F1-мера 0,93), что согласуется с выводами работ [2, 8], где подчёркивается его устойчивость к несбалансированным данным и способность обрабатывать разнородные признаки. Гибридная архитектура CNN-LSTM (F1-мера 0,94) оказывается наиболее эффективной при работе с сырыми временными рядами, подтверждая результаты [3, 6].

Набор данных C-MAPSS позволяет дополнительно оценить точность прогнозирования времени до отказа. Для этого используется LSTM-сеть, обученная на регрессию остаточного ресурса. Средняя абсолютная ошибка прогноза составляет 12,5 циклов, что сравнимо с результатами, полученными в [6] (ошибка 13–15 циклов). На синтезированных данных серверного оборудования лучший результат по прогнозированию момента отказа за 24 часа достигается ансамблевой моделью - полнота 0,95 при точности 0,96.

Таким образом, экспериментально подтверждается, что комбинирование разнородных алгоритмов (ансамбли, гибридные нейросети) позволяет достичь более высокой точности и устойчивости прогнозов по сравнению с отдельными методами. Полученные метрики сопоставимы с лучшими результатами, опубликованными в современной литературе [2, 3, 7].

Полученные в ходе экспериментального исследования результаты позволяют сделать ряд важных выводов о применимости различных методов машинного обучения для прогнозирования отказов цифровых систем.

Наилучшие показатели качества (F1-мера 0,95, AUC-ROC 0,99) демонстрирует ансамблевая модель на основе мягкого голосования, объединяющая CNN, логистическую регрессию и SVM. Это объясняется тем, что комбинация разнородных алгоритмов компенсирует недостатки каждого из них: CNN эффективно выделяет локальные паттерны в данных, логистическая регрессия обеспечивает

устойчивость к выбросам, а SVM хорошо разделяет классы в сложных признаковых пространствах. Полученный результат согласуется с выводами работы [7], где аналогичный подход показывает высокую эффективность при прогнозировании отказов промышленного оборудования.

XGBoost, занимающий второе место по метрикам (F1-мера 0,93), подтверждает свою репутацию одного из лучших алгоритмов для задач с несбалансированными данными. В работах Merizio et al. [2] также отмечается, что XGBoost устойчив к дисбалансу классов и способен обрабатывать разнородные признаки без глубокой предобработки. В нашем исследовании XGBoost показывает особенно высокую точность (0,94) на синтезированных данных серверного оборудования, где признаки имеют разную природу (непрерывные метрики аппаратной части, категориальные коды ошибок).

Гибридная архитектура CNN-LSTM (F1-мера 0,94) оказывается наиболее эффективной при работе с сырыми временными рядами на наборе C-MAPSS. Это подтверждает выводы Al-Said et al. [3] о том, что комбинация свёрточных слоёв для выделения пространственных признаков и рекуррентных слоёв для моделирования временных зависимостей даёт преимущество в задачах, где важна как локальная структура сигнала, так и долгосрочные тренды. Однако на синтезированных данных серверного оборудования CNN-LSTM незначительно уступает ансамблю, что может быть связано с меньшим объёмом обучающей выборки для глубокого обучения.

Анализ ошибок моделей показывает, что большинство ложных срабатываний ($\text{precision} < 0,95$) приходится на переходные режимы работы оборудования, когда значения параметров резко меняются, но отказ не наступает. Это указывает на необходимость более тщательной настройки порогов классификации и, возможно, использования дополнительных признаков, характеризующих режимы работы. Пропуски отказов ($\text{recall} < 0,95$) чаще всего наблюдаются при внезапных катастрофических отказах, не имеющих продолжительных предвестников в данных, что является фундаментальным ограничением любых методов, основанных на анализе временных рядов.

Важным наблюдением становится то, что качественная предобработка данных (заполнение пропусков, нормализация, балансировка классов) влияет на итоговые метрики не меньше, чем выбор архитектуры модели. Применение SMOTE [4] позволяет повысить полноту на 10–15% для всех моделей, особенно для XGBoost и случайного леса, которые без балансировки часто игнорируют редкий класс отказа. Этот результат подчёркивает важность этапа борьбы с дисбалансом, на что также указывают авторы обзора [8].

Полученные метрики (AUC-ROC до 0,99) сопоставимы с лучшими результатами, опубликованными в современной литературе [2, 3, 7]. Это подтверждает корректность выбранной методологии и позволяет рекомендовать рассмотренные подходы для внедрения в практику промышленных предприятий.

Таким образом, в ходе экспериментального исследования, выполняемого на открытом наборе данных NASA C-MAPSS и синтезированных данных

серверного оборудования, решаются задачи предобработки многомерных временных рядов, балансировки классов с помощью SMOTE и сравнительного анализа шести моделей машинного обучения. Установлено, что ансамблевая модель на основе мягкого голосования, объединяющая CNN, логистическую регрессию и SVM, обеспечивает наилучшее качество прогнозирования (F1-мера 0,95, AUC-ROC 0,99). XGBoost и гибридная архитектура CNN-LSTM также показывают высокую эффективность, причём XGBoost предпочтительнее для данных с разнородными признаками, а CNN-LSTM - для сырых временных рядов. Подтверждена критическая важность этапа предобработки данных: применение SMOTE повышает полноту обнаружения отказов на 10–15%.

Практическая значимость работы заключается в обоснованном выборе архитектуры модели в зависимости от характера данных и требуемой интерпретируемости. Дальнейшие исследования целесообразно направить на адаптацию моделей к дрейфу концептов, повышение интерпретируемости нейросетевых архитектур и их интеграцию с цифровыми двойниками оборудования. Полученные результаты подтверждают, что современные методы машинного обучения являются эффективным инструментом для прогнозирования отказов цифровых систем и могут быть рекомендованы к внедрению в практику промышленных предприятий.

Список использованных источников

1. Система предиктивной аналитики технического состояния эксгаустера агломашин с помощью методов искусственного интеллекта / А.В. Чернухин, Е.А. Богданова, Т.В. Савицкая [и др.] // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2024. – № 3. – С. 87-103. – DOI 10.14357/20718594240307. – EDN HZKRKY.
2. Merizio I.F. et al. Machine learning techniques for fault detection in rotating mechanical systems. *Engineering Computations*, 2025. Vol 42. N 3. pp. 1316–1334. – DOI <https://doi.org/10.1108/EC-09-2024-0896>.
3. Al-Said S., et.al. Enhancing Predictive Maintenance in Manufacturing: A CNN-LSTM Hybrid Approach for Reliable Component Failure Prediction. In: El Khoury, R. (eds) *Technology-Driven Business Innovation. Studies in Systems, Decision and Control*, 2024. Vol 223. pp 137-153. – DOI https://doi.org/10.1007/978-3-031-51997-0_11.
4. Alshahrani A. SMOTE-Optimized Machine Learning Framework for Predicting Retention in Workforce Development Training. *Computers, Materials*, 2025. Vol 85(2), pp 4067-4090. – DOI <https://doi.org/10.32604/cmc.2025.065211>.
5. Devendra K. Yadav, et.al. Predicting machine failures using machine learning and deep learning algorithms. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2024. Vol 3, pp. 2667-3444. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.smse.2024.100029>.
6. Хохлов Т.Е. Интеллектуальная система мониторинга и управления энергопотреблением предприятия / Т.Е. Хохлов, Г.Р. Сибеева // Инициативы

молодых - науке и производству: Сборн. ст. X Всеросс. науч.-практ. конф. молодых уч. и студ., – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 1324-1330. – EDN INFHNP.

7. Rodríguez M. L. R. et.al. Multi-agent deep reinforcement learning based Predictive Maintenance on parallel machines. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2022. Vol. 78, pp 0736-5845. - DOI <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102406>.

8. Zonta T. et al. Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Vol. 150, pp. 0360-8352. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889>.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS FOR PREDICTING FAILURES OF COMPUTING SYSTEMS IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

A.I. Lukmanov, G.R. Sibaeva

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

Digitalization of industry leads to the accumulation of large amounts of data on equipment operation, but sudden failures remain a serious problem. Traditional maintenance methods do not allow effective prediction of such events. The article provides an overview of modern machine learning methods applicable for failure prediction: gradient boosting (XGBoost), random forest, recurrent neural networks (LSTM) and hybrid CNN-LSTM architectures. The methodology of building a prediction system is described. The best prediction quality is demonstrated by an ensemble model based on soft voting combining CNN, logistic regression and SVM (F1-score 0.95, AUC-ROC 0.99). XGBoost shows F1-score 0.93, CNN-LSTM - 0.94. The use of SMOTE increases the recall of failure detection by 10–15%. Ensemble methods are preferable for tasks with heterogeneous features and high interpretability, hybrid neural networks for complex time series. High-quality data preprocessing is critical. The problems of interpretability of deep models and adaptation to concept drift remain relevant. Thus, modern machine learning methods, especially ensemble and hybrid architectures, are an effective tool for predicting failures of digital systems. The obtained results can be recommended for implementation in the practice of industrial enterprises when creating predictive maintenance systems.

Keywords: failure prediction, machine learning, neural networks, LSTM, XGBoost, time series, class imbalance.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА КРОНШТЕЙНОВ

Е.Г. Майкова, Э.А. Анисимов

*Поволжский государственный технологический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия*

В статье рассматривается анализ качества кронштейнов, используемых в конструкции торгового холодильного оборудования. Проведена оценка уровня дефектности продукции на одном из предприятий Республики Марий Эл на основе статистических данных за 2024 и 2025 годы. Для выявления основных причин возникновения брака применены методы статистического анализа качества, такие как диаграммы Парето и ABC-анализ.

Ключевые слова: качество продукции, кронштейн, дефекты, операционный контроль, диаграмма Парето, ABC-анализ, статистический анализ, управление качеством, производственный контроль.

Надежность и долговечность оборудования во многом зависят от качества используемых комплектующих, в том числе кронштейнов, обеспечивающих устойчивость и функциональность конструкции [1].

Кронштейн представляет собой металлическое или пластиковое крепление, предназначенное для установки различных объектов на вертикальные поверхности, горизонтальные поверхности или любые несущие элементы зданий. Основными функциями кронштейнов являются:

- 1) Надежная фиксация оборудования и устройств, таких как светильники, телевизоры, камеры видеонаблюдения, рекламные щиты, полочные системы и другое оборудование.
- 2) Регулирование высоты, угла наклона или направления прикрепленных элементов, что обеспечивает удобство эксплуатации и возможность оптимальной настройки.
- 3) Обеспечение дополнительной устойчивости конструкции, снижение нагрузки на основной элемент здания (стену, потолок).

Контроль качества и своевременное обнаружение дефектов критически важны по нескольким причинам:

- 1) Безопасность пользователей. Дефектные изделия могут привести к серьезным последствиям: падению креплений, повреждению приборов или травмированию людей.
- 2) Экономия ресурсов. Выявление брака на этапе производства предотвращает затраты на повторное изготовление деталей, исправления ошибок и возврат товара потребителями.
- 3) Поддержка репутации предприятия. Высокая надежность продукции повышает доверие покупателей и укрепляет конкурентоспособность компании.

Поэтому производители используют различные методы контроля качества: визуальный осмотр, испытания механических свойств материалов, автоматизированные системы проверки размеров и геометрии. Эти меры помогают своевременно выявить недостатки и обеспечить высокое качество готовой продукции.

Недостаточный контроль качества кронштейнов может привести к поломкам оборудования, неисправностям и значительным экономическим потерям [2]. Современные системы управления качеством предусматривают применение статистических методов анализа дефектов, позволяющих выявлять основные причины брака и повышать эффективность производственных процессов. В связи с этим, актуальной задачей является анализ и совершенствование системы операционного контроля качества кронштейнов торгового холодильного оборудования [3].

Рассмотрим одно из предприятий Республики Марий Эл.

В таблице 1 представлены данные по количеству брака кронштейнов по месяцам за 2024 и 2025 г.г.

Таблица 1 – Сводная таблица дефектов за 2024 и 2025 г.г.

Месяцы	Количество дефектов по годам	
	2024	2025
Январь	52	62
Февраль	61	57
Март	46	49
Апрель	53	42
Май	40	65
Июнь	30	60
Июль	35	56
Август	38	50
Сентябрь	57	53
Октябрь	44	49
Ноябрь	45	44
Декабрь	47	36

Проведем анализ возникновения брака по группам. Задача заключается в определении, какие типы дефектов вносят наибольший вклад в общий уровень дефектности, и оценить их совокупное влияние, используя анализ дефектов. для этого построим диаграммы Парето (рисунки 1 и 2) [4].

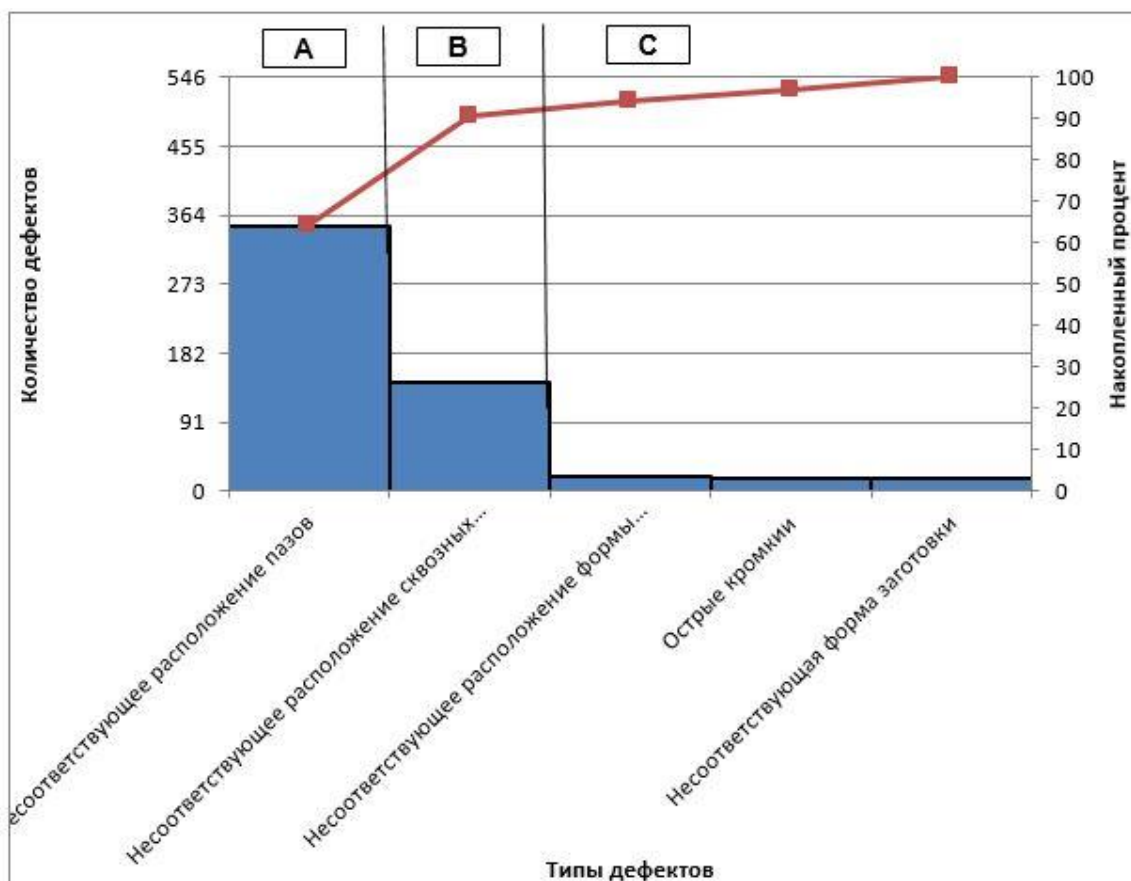


Рисунок 1 – Диаграмма Парето за 2024 год

На основе рисунка 1 выполним ABC-анализ видов брака:

- несоответствующее расположение пазов является основным источником брака (64,1 %), значит этот вид брака относится к группе А;
- на несоответствующее расположение сквозных отверстий приходится 26% от общего количества брака, этот вид относится к группе В;
- несоответствующее расположение формы выдавки, острые кромки и несоответствующая форма заготовки оказывают минимальное индивидуальное воздействие (всего 3,5, 3,1 и 2,9 % соответственно), что свидетельствует о том, что эти виды брака относятся к группе С.

По результатам рисунка 2 проведем ABC-анализ видов брака за 2025 год:

- несоответствующее расположение пазов является основным источником брака (66,3%), значит этот вид брака относится к группе А;
- на несоответствующее расположение сквозных отверстий приходится 24% от общего количества брака, этот вид относится к группе В;
- несоответствующее расположение формы выдавки, острые кромки и несоответствующая форма заготовки и оказывают минимальное индивидуальное воздействие (всего 3,4, 3,3 и 3% соответственно), что свидетельствует о том, что эти виды брака относятся к группе С.

Этот принцип Парето (правило 80/20) становится ясно виден – за большую часть брака отвечает небольшое количество причин несоответствующего расположения пазов и сквозных отверстий.

Исходя из этого, можно сделать следующие выводы при сохранении текущей тенденции:

- сокращение брака в дальнейшем можно добиться более эффективно, сосредоточив внимание на несоответствующем расположении пазов;
- улучшения всего в одной или двух основных группах могут привести к значительному повышению качества;
- необходимо уделить первоочередное внимание анализу первопричин и корректирующим действиям для несоответствующего расположения пазов.

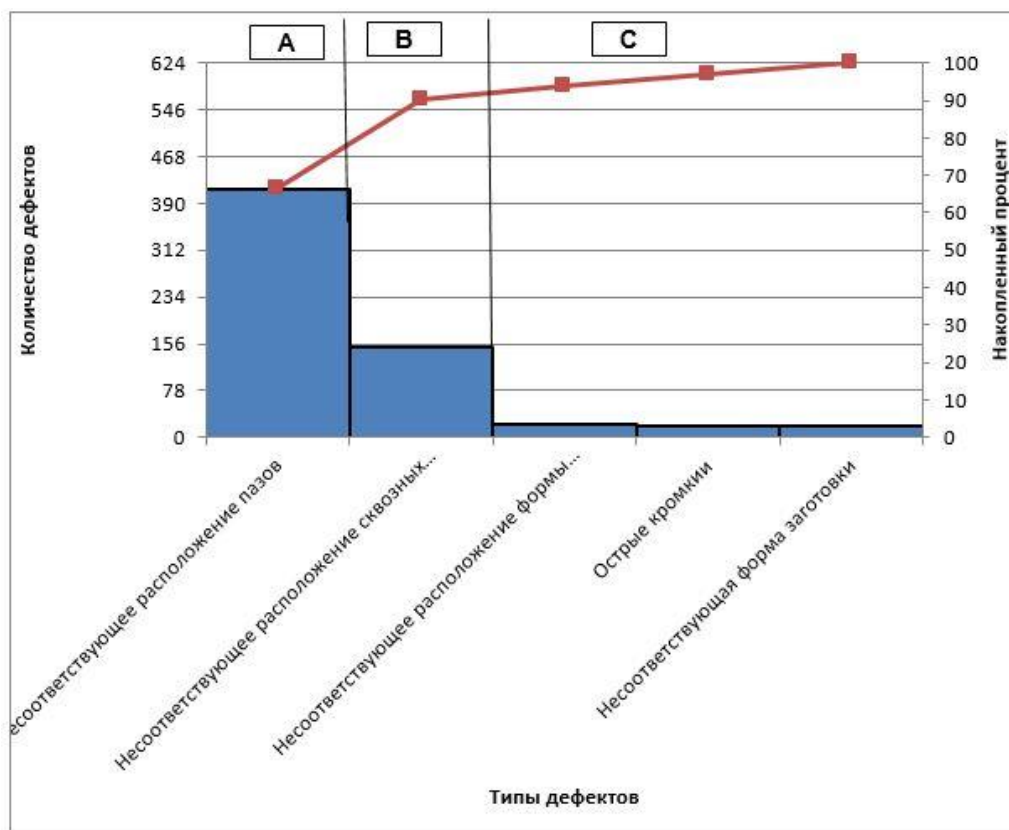


Рисунок 2 – Диаграмма Парето и ABC-анализ за 2025 год

Таким образом, можно рекомендовать следующие мероприятия для повышения качества:

Провести корневой анализ причин по несоответствующему расположению пазов.

Усилить контроль на этапе несоответствующего расположения сквозных отверстий.

Расширить положительный опыт устранения несоответствующей формы заготовки и несоответствующего расположения формы выдавки на другие процессы. [5]

Ввести ежемесячный мониторинг с диаграммой Парето.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Москва: Стандартиформ, 2015. – 32 с.
2. Управление качеством / В. Г. Версан, В. В. Бойцов, В. Д. Швандар, А. А. Зайцев, Ю. В. Кричевский. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 352 с.
3. Азаров, В.Н. Статистические методы управления качеством / В. Н. Азаров. – Москва: Юрайт, 2021. – 208 с.
4. Исикава, К. Японские методы управления качеством. / К.Исикава. – Москва: Экономика, 1988. – 215 с.
5. Джуран, Д. Всеобщее управление качеством (TQM). / Д.Джуран. – Москва: Стандарты и качество, 2004. – 432 с.

BRACKET QUALITY ANALYSIS

E.G. Maykova, E.A. Anisimov

*Volga Region State Technological University,
Yoshkar-Ola, Russia*

This article examines the quality of brackets used in commercial refrigeration equipment. The defect rate at one enterprise in the Mari El Republic was assessed using statistical data for 2024 and 2025. Statistical quality analysis methods, such as Pareto diagrams and ABC analysis, were used to identify the root causes of defects.

Keywords: product quality, bracket, defects, operational control, Pareto chart, ABC analysis, statistical analysis, quality management, production control.

УДК 001.895

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ОТБОРА ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С МНОЖЕСТВОМ КРИТЕРИЕВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

А.А. Малафеевский

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
г. Казань, Россия*

Данная статья посвящена моделированию гибридной методики управлением портфелем инновационных проектов с помощью алгоритмов машинного обучения и классическими экспертными процедурами. Так же, в рамках данной работы, была изложена архитектура принятия решений.

Ключевые слова: проекты, нейросети, НИОКР, коммерциализация, технологии, инновации, интеллект, отбор, аналитика.

Современный этап экономического развития характеризуется переходом к шестому технологическому укладу, в котором основным ресурсом становится способность к генерации и коммерциализации новых знаний. Однако парадокс текущего инновационного процесса заключается в том, что, несмотря на увеличение общего числа стартапов и венчурных инвестиций, эффективность распределения ресурсов остается на низком уровне. Согласно различным исследованиям, от 30% до 60% новых продуктов не достигают успеха на рынке, и значительная часть этих неудач связана не с качеством самих продуктов, а с ошибками на этапе отбора проектов для финансирования.

Традиционные методы оценки инновационных проектов, применяемые в корпорациях и венчурных фондах, включают скоринговые карты, расчет дисконтированных денежных потоков (DCF), анализ возврата на инвестиции (ROI) и экспертные методы (метод Дельфи, фокус-группы). Эти подходы, зарекомендовавшие себя в условиях стабильных рынков и предсказуемых технологических траекторий, демонстрируют низкую прогностическую точность при оценке проектов в быстро меняющихся отраслях, таких как *deep tech*, биотехнологии, новые материалы и квантовые вычисления.

Цифровая трансформация управленческих процессов открывает новые возможности для повышения качества селекции инновационных проектов. Развитие методов искусственного интеллекта (ИИ), обработки естественного языка (NLP) и анализа больших данных позволяет исследовать не только формальные показатели бизнес-планов, но и неструктурированную информацию, такую как патентные ландшафты, публикационная активность команд и динамика упоминаний в профессиональных сообществах. Это создает предпосылки для разработки принципиально новых методик отбора, способных учитывать «слабые сигналы».

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности инвестиций в инновации как на корпоративном уровне, так и на уровне институтов развития (фонды содействия инновациям, технопарки, особые экономические зоны). В условиях импортозамещения и необходимости обеспечения технологического суверенитета России особое значение приобретает точность выбора проектов, способных привести к созданию конкурентоспособных продуктов.

Целью данной работы является разработка и апробация методики многокритериального отбора инновационных проектов с использованием алгоритмов машинного обучения и анализа больших данных.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов оценки инновационных проектов и выявить их ограничения применительно к проектам ранних стадий.

2. Сформировать систему предикторов успеха инновационных проектов, включающую как традиционные финансово-экономические показатели, так и новые факторы, извлекаемые из неструктурированных источников.

3. Разработать архитектуру гибридной модели, объединяющей алгоритмы машинного обучения и экспертные оценки.

4. Провести экспериментальную апробацию модели на ретроспективных данных и оценить точность прогнозирования.

Теоретической основой данного исследования являются работы в области экономики инноваций и управления технологическим развитием. Основоположник теории инноваций, Й. Шумпетер, определял инновацию как «новую комбинацию производственных факторов, обусловленную предпринимательским духом», подчеркивая принципиальное различие между изобретением (техническим решением) и инновацией (коммерчески успешным внедрением).

В современной научной литературе инновация рассматривается как двуединая сущность: с одной стороны, это процесс превращения изобретения в коммерчески успешный продукт, с другой – результат, обеспечивающий конкурентное преимущество. Данное понимание имеет критическое значение для формирования системы оценки, поскольку требует учета не только технологических параметров, но и рыночных перспектив.

Анализ различных подходов к классификации инноваций демонстрирует разнообразие критериев: по глубине новизны (базисные, улучшающие, псевдоинновации), по характеру (продуктовые, технологические, маркетинговые, организационные), по степени риска и коммерциализируемости. Для целей отбора проектов наиболее значимым является разделение на стратегические (упреждающие) и адаптирующие (реагирующие) инновации. Стратегические инновации, реализующие преимущества «первого хода», требуют иных критериев оценки, чем улучшающие технологии, ориентированные на существующие рынки.

Традиционные методы оценки инновационных проектов можно классифицировать на три группы:

1. Финансово-экономические методы (NPV, IRR, DCF, период окупаемости). Основное ограничение этих методов заключается в зависимости от прогнозируемых денежных потоков, которые для инновационных проектов на ранних стадиях являются принципиально непредсказуемыми. Отсутствие ретроспективных данных и высокая неопределенность рыночного принятия делают финансовые расчеты во многом спекулятивными.

2. Экспертные методы (метод Дельфи, мозговой штурм, сценарное планирование). К их недостаткам относятся субъективизм, зависимость от компетенций конкретных экспертов и подверженность когнитивным искажениям (эвристика доступности, эффект якорения, групповое мышление). Кроме того, эксперты часто проявляют консерватизм и склонны недооценивать потенциал подрыхных технологий.

3. Скоринговые модели (балльные оценки по набору критериев). Несмотря на простоту применения, они статичны и не учитывают динамику изменений внешней среды, а весовые коэффициенты задаются субъективно.

Научная лакуна, которую призвано заполнить данное исследование, заключается в отсутствии верифицированных методик, сочетающих количественный анализ больших данных с гибкой системой экспертной валидации, адаптированной к специфике различных технологических секторов.

Исследование основывается на следующих источниках данных:

1. Патентная информация, включая базы данных Роспатента и WIPO по классам МПК, соответствующим высокотехнологичным отраслям за период 2020–2025 гг.

2. Данные о стартапах были собраны из различных платформ, таких как Crunchbase и AngelList, а также из российских баз данных, включая Сколково и Фонд содействия инновациям. В результате была сформирована выборка из 478 проектов, из которых 203 получили финансирование и вышли на рынок, что классифицирует их как успешные, в то время как 275 проектов были закрыты на ранних стадиях или не достигли коммерческих показателей, что относит их к неуспешным.

3. Наукометрические данные включают публикационную активность команд проектов, собранную из баз данных РИНЦ и Scopus.

4. Дополнительно, были проанализированы социальные медиа и специализированные форумы, что позволило собрать данные о частоте и тональности упоминаний технологий и команд проектов в профессиональных сообществах, таких как Telegram-каналы венчурных инвесторов и профильные группы в LinkedIn, за шесть месяцев до и шесть месяцев после запуска проектов.

Для достижения поставленных целей был использован комплекс методов. Тематическое моделирование с использованием алгоритма Latent Dirichlet Allocation (LDA) применялось для выявления новых технологических трендов на основе анализа текстов патентов и публикаций. Этот метод позволяет выделить скрытые тематики и оценить, насколько проект соответствует перспективным направлениям технологического развития.

Текстовый майнинг и анализ тональности использовались для оценки «технологического шума», который отражает интенсивность и эмоциональную окраску обсуждения технологий и команд в профессиональных сообществах. Предполагается, что рост позитивных упоминаний за три-шесть месяцев до выхода проекта может служить ранним индикатором его будущего успеха.

Сверточные нейронные сети (CNN) были использованы для разработки архитектуры сети, предназначенной для классификации проектов по степени риска. Входными данными служили векторизованные представления патентов, публикаций и бизнес-планов, а также количественные показатели, такие как размер команды, запрашиваемые инвестиции и отрасль. Выходом является вероятность успешной коммерциализации.

Метод опорных векторов (SVM) использовался в качестве базовой линии для сравнения с нейросетевым подходом. Экспертная валидация проводилась на выборке из 50 проектов, оцененных группой экспертов (пять человек, представляющих венчурные фонды и отраслевых специалистов) по стандартным скоринговым картам для последующего сравнения результатов.

В результате корреляционного и регрессионного анализа были выявлены факторы, значимо связанные с успешностью коммерциализации инновационных проектов. В частности, была обнаружена положительная корреляция ($r = 0,47$, $p < 0,01$) между ростом количества упоминаний технологического направления в профессиональных блогах за четыре-шесть месяцев до запуска проекта и вероятностью его успеха. При этом значима не только частота упоминаний, но и их тональность: проекты, обсуждавшиеся в конструктивно-критическом ключе (с выявлением ограничений и путей их преодоления), демонстрируют лучшие результаты по сравнению с проектами, которые сопровождалась исключительно восторженными отзывами.

Кроме того, успешные проекты характеризуются наличием не только «зонтичных» патентов (с широкими claims), но и патентов на конкретные применения, что свидетельствует о проработанности стратегии коммерциализации.

Гетерогенность команды. Проекты, в которых участвуют лица с опытом работы как в академической среде, так и в бизнесе (бикарьерные траектории), демонстрируют на 23% более высокую выживаемость.

Временной лаг между публикацией и патентованием. Краткий временной интервал (менее 6 месяцев) между выходом научной публикации и подачей патентной заявки коррелирует с более быстрым выходом на рынок.

На основе полученных данных была разработана архитектура системы поддержки принятия решений (СППР) для отбора инновационных проектов, включающая три контура (см. рис. 1 в текстовом описании):

1. Контур автоматического анализа. Он осуществляет первичную обработку как структурированных, так и неструктурированных данных, рассчитывает 37 количественных и качественных показателей, а также проводит кластеризацию проектов по технологическим направлениям и стадиям зрелости.

2. Контур нейросетевого прогнозирования. Сверточная нейросеть (архитектура: 3 сверточных слоя с фильтрами 3×3 , слои подвыборки 2×2 , 2 полносвязных слоя по 128 и 64 нейрона, выходной слой с сигмоидной активацией) на основе векторизованных признаков вычисляет интегральный показатель успешности в диапазоне от 0 до 1.

3. Контур экспертной валидации. Экспертам направляются проекты, попавшие в «серую зону» (PSI от 0,4 до 0,7), а также все проекты с высокой прогнозируемой успешностью ($PSI > 0,7$) для окончательного утверждения. При этом решения экспертов фиксируются и используются для дообучения модели, что позволяет повышать ее точность по мере накопления данных [2].

Для оценки эффективности разработанной модели был проведен ретроспективный эксперимент на выборке из 200 стартапов (100 успешных и 100 неуспешных), запущенных в 2022–2023 годах. Сравнивались три подхода:

1. Метод 1 (базовый): традиционный экспертный скоринг по 10 критериям (среднее по группе экспертов).

2. Метод 2: метод опорных векторов (SVM) на основе 15 количественных признаков.

3. Метод 3 (предлагаемый): гибридная модель CNN + экспертная валидация (с имитацией экспертного контура на основе архивных решений).

Результаты представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Сравнительная оценка точности методов прогнозирования

Метрика	Экспертный скоринг	SVM	Гибридная модель (CNN + экспертиза)
Accuracy (общая точность)	0,68	0,73	0,81
Precision (точность для успешных)	0,65	0,71	0,79
Recall (полнота для успешных)	0,71	0,74	0,83
F1-score	0,68	0,72	0,81
AUC-ROC	0,72	0,77	0,86

Как видно из представленных данных, гибридная модель демонстрирует значительное улучшение метрики F1 на 18% по сравнению с экспертным скорингом (с 0,68 до 0,81) и на 12,5% по сравнению с методом опорных векторов (SVM). Особенно заметно увеличение полноты – модель более эффективно идентифицирует действительно перспективные проекты, которые могли быть отклонены традиционными экспертами.

Полученные результаты подтверждают исходную гипотезу и соответствуют выводам зарубежных исследований, касающимся потенциала машинного обучения в области венчурного инвестирования [7]. В то же время, данная работа вносит вклад в развитие методологии оценки инноваций за счет следующих аспектов:

1. Интеграция разнородных источников данных. В отличие от большинства существующих подходов, которые сосредоточены либо на патентной статистике, либо на финансовых показателях, предложенная модель учитывает «слабые сигналы» из социальных медиа и профессиональных сообществ.

2. Реализация контура Human-in-the-loop. Это позволяет сочетать вычислительную мощь алгоритмов с интуицией и отраслевым опытом экспертов, что минимизирует риск «алгоритмического зашумления» – ситуации, когда модель систематически ошибается из-за особенностей обучающей выборки.

3. Адаптация к российской специфике. Модель обучена на данных, включающих российские стартапы и патентные заявки, что повышает ее применимость в отечественной практике в условиях ограниченного доступа к глобальным базам данных [4].

Ограничения исследования заключаются в следующем. Во-первых, выборка ограничена проектами в сфере информационных технологий и биотехнологий; для промышленных инноваций (например, тяжелое машиностроение, энергетика) требуется дополнительная валидация. Во-вторых, горизонт ретроспективного анализа (3-5 лет) является недостаточным для оценки проектов с

длительным циклом разработки. В-третьих, качество прогнозов зависит от полноты и достоверности исходных данных, что особенно актуально для российских источников.

В результате проведенного исследования была разработана и апробирована гибридная методика многокритериального отбора инновационных проектов, которая сочетает алгоритмы машинного обучения с экспертными процедурами [2]. Научная новизна работы заключается в выявлении новых предикторов успеха инновационных проектов (таких как динамика технологического шума, структура патентного портфеля и гетерогенность команды), разработке архитектуры нейросетевой модели, адаптированной для анализа текстовой информации о проектах, а также в экспериментальном подтверждении повышения точности прогнозирования ($F1\text{-score} = 0,81$ против $0,68$ при экспертном скоринге).

Список использованных источников

1. Оськин А.Ф., Павлов А.Ю. Гибридные интеллектуальные системы поддержки принятия решений. – Москва: Радиотехника, 2022. – 312 с.
2. Шумпетер Й. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. – Москва: Эксмо, 2007. – 864 с.
3. Федоров А.А., Смирнова Е.В. Применение методов машинного обучения для оценки эффективности НИОКР // Инновации. – 2023. – № 4. – С. 45–53;
4. Мильская Е.А. Инновации как ключевой фактор конкурентных преимуществ // *π-Economy*. – 2016. – № 2. – С. 28–37.
5. Рудь В.А., Сагинова О.В. Цифровая трансформация управления инновационными проектами // Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. – 2024. – № 3. – С. 112–124.

A HYBRID MODEL FOR SELECTION OF INNOVATIVE PROJECTS WITH MULTIPLE CRITERIA USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

A.A. Malafeevsky

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russia*

This article is devoted to modeling a hybrid methodology for managing a portfolio of innovative projects using machine learning algorithms and classical expert procedures. A decision-making architecture is also presented.

Keywords: projects, neural networks, R&D, commercialization, technology, innovation, intelligence, selection, analytics.

ПЕРСПЕКТИВЫ СМЕНЫ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ НА ИННОВАЦИОННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

А.А. Малафеевский

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
г. Казань, Россия*

История пережила несколько моделей инновационного развития. Здесь, в данной работе, мы рассмотрим какие существовали концепции, какие же им пришли на смену, а также, какие являются наиболее актуальными. Вместе с этим, мы рассмотрим то, какие факторы влияют на возникновение новой концепции инновационного развития и то, каким образом они влияют.

Ключевые слова: экосистема, трансформация, культура, инновация, спираль, технологии, развитие.

Концепция тройной спирали, предложенная Г. Ицковицем и Л. Лейдесдорфом в 1990-х годах, на протяжении последних двух десятилетий оставалась преобладающей теоретической моделью, описывающей механизмы инновационного развития. Согласно данной модели, взаимодействие трех ключевых субъектов – университетов (научно-образовательная сфера), бизнеса (производственно-коммерческая сфера) и государства (регуляторно-финансовая сфера) – создает синергетический эффект, способствующий генерации, трансферу и коммерциализации новых знаний.

Тем не менее, стремительные изменения, происходящие в глобальных и национальных экономиках, ставят под сомнение адекватность данной модели для описания современных инновационных процессов. Появление таких феноменов, как открытые инновации, краудфандинг, фаблабы и гражданская наука, а также растущее влияние экологической повестки, требуют концептуального расширения модели с учетом новых участников и механизмов взаимодействия.

Данная проблематика приобретает особую актуальность для России в условиях внешнего санкционного давления и необходимости обеспечения технологического суверенитета. Задача импортозамещения критически важных технологий не может быть решена простым копированием зарубежных образцов; необходимо создание самодостаточных инновационных экосистем, способных генерировать прорывные решения на основе отечественной научно-технологической базы.

Цель данной работы заключается в определении ключевых характеристик и механизмов функционирования инновационных экосистем как эволюционной формы тройной спирали, выявлении факторов, трансформирующих классическую модель, а также разработке рекомендаций по управлению экосистемами на региональном уровне. Анализ развития теоретических представлений об инновационных процессах позволяет выделить несколько этапов (табл. 1).

Таблица 1 – Эволюция моделей инновационного развития

Модель	Период	Ключевые акторы	Характер взаимодействия	Ограничения
Линейная модель	1950-1960-е	Наука → Производство	Последовательный, односторонний	Игнорирование обратных связей, рыночного спроса
Интерактивная модель	1970-1980-е	Рынок ↔ Производство	Циклический, двухсторонний	Недоучет роли институтов и государства
Тройная спираль	1990-2010-е	Университет – Бизнес – Государство	Сетевое, с перекрывающимися функциями	Игнорирование общества, экологии, цифровой среды
Инновационные экосистемы	2010-е – н.в.	Множество гетерогенных акторов	Самоорганизация, эмерджентность	Размытость понятия, сложность управления

Линейная модель, преобладавшая в середине XX века, трактовала инновации как результат последовательного перехода от фундаментальных исследований к прикладным разработкам, а затем к производству и рынку [4]. Критика данной модели способствовала возникновению интерактивных подходов, которые признают важность обратной связи от потребителей.

Концепция тройной спирали представила значительный прогресс, поскольку она утверждает не только взаимодействие, но и взаимопроникновение функций: университеты начинают заниматься коммерциализацией своих разработок (через спин-оффы и стартапы), бизнес вовлекается в образовательные и исследовательские процессы, а государство создает институциональные условия и выступает в роли венчурного инвестора [1] [5].

Термин «экосистема», заимствованный из биологии, получил широкое распространение в экономической литературе после работ Дж. Мура (1993), который применил его для анализа деловой среды. В контексте инноваций понятие экосистемы включает в себя следующие характеристики:

1. Множественность и гетерогенность акторов: помимо университетов, бизнеса и государства, в экосистему входят венчурные фонды, бизнес-ангелы, технопарки, акселераторы, институты развития, сообщества потребителей (prosumers) и некоммерческие организации.

2. Самоорганизация и эмерджентность: экосистема не проектируется «сверху» в полном объеме, а формируется в результате множества локальных взаимодействий, что приводит к возникновению свойств, не присущих отдельным элементам.

3. Козволюция: развитие акторов экосистемы взаимозависимо; успех каждого из них определяется общим состоянием экосистемы.

4. Сетевая структура: связи имеют не столько иерархический, сколько горизонтальный характер, при этом важную роль играют «слабые связи» (по М. Грановеттеру), обеспечивающие циркуляцию новой информации [2] [6].

На основе обобщения существующих подходов в данной работе предлагается следующее определение: инновационная экосистема – это самоорганизующаяся, но управляемая сеть взаимодействий между гетерогенными акторами, ключевой функцией которой является снижение транзакционных издержек при генерации, трансфере и коммерциализации новых знаний [2] [7].

Анализ эмпирических данных и теоретических источников позволяет выделить пять ключевых факторов, определяющих эволюцию моделей инновационного развития. Развитие цифровых платформ (таких как краудфандинговые платформы – Kickstarter, Boomstarter; платформы для поиска партнеров – Innocentive; образовательные платформы – Coursera, Stepik) радикально снижает барьеры входа для новых акторов. Теперь не только крупные корпорации и университеты, но и отдельные исследователи, а также малые инновационные предприятия могут напрямую взаимодействовать с рынком и привлекать ресурсы.

Г. Ицковиц и другие исследователи в последние годы все чаще обращаются к концепции «четвертой спирали», обозначающей гражданское общество. Вовлечение потребителей в процесс создания инноваций, известное как просьюмеризм, становится критически важным для секторов В2С. Пользователи не только тестируют продукты, но и вносят в них доработки, участвуют в краудсорсинговых проектах и финансируют разработки. Игнорирование данного актора в рамках традиционной тройной спирали приводит к недостаточности анализа [1] [3].

Концепция устойчивого развития и «зеленого» перехода добавляет еще одно измерение – экологическое. В настоящее время инновации оцениваются не только с точки зрения экономической эффективности, но и с позиции их воздействия на окружающую среду. Это порождает новых участников (экологические НКО, «зеленые» инвесторы) и новые критерии оценки проектов.

Для России ключевым фактором трансформации стали внешние ограничения. В условиях блокировки доступа к зарубежным технологиям и рынкам традиционная модель «открытых инноваций» (глобальный поиск партнеров и технологий) требует адаптации. Возникает необходимость создания замкнутых (или относительно замкнутых) национальных экосистем, способных обеспечивать воспроизводство критических компетенций [7].

Университеты, ранее выступавшие в роли «поставщиков кадров», трансформируются в центры формирования экосистем – предпринимательские университеты. Они не только генерируют знания и готовят специалистов, но и становятся «якорными» резидентами технопарков, создают акселераторы, управляют венчурными фондами и формируют вокруг себя пояс малых инновационных компаний.

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта была предложена классификация инновационных экосистем по механизму формирования и «якорному» актору [2] [6].

1. Якорные (корпоративные) экосистемы формируются вокруг крупных корпораций, заинтересованных во внешних инновациях. Корпорация создает инфраструктуру (корпоративные акселераторы, венчурные фонды, R&D-центры), привлекает стартапы и предоставляет им доступ к своим производственным мощностям и каналам сбыта. Примеры: экосистемы Сбера (Sber500, Fort Ross Ventures), «КамАЗа» (технопарк в Набережных Челнах). Преимущества: быстрый доступ к ресурсам и четкий рыночный спрос (корпорация выступает первым заказчиком). Риски: зависимость стартапов от стратегии корпорации и возможность подавления перспективных, но конкурирующих разработок.

2. Университетские экосистемы формируются вокруг ведущих университетов, реализующих модель «предпринимательского университета». Ядро таких экосистем составляют научные лаборатории, студенческие стартапы, спин-оффы и бизнес-инкубаторы. Примеры: экосистемы MIT (Бостон), Стэнфорда (Силиконовая долина), а в России – экосистемы ИТМО (ИТМО Хайпарк), МФТИ (Физтех-система), ТГУ (Большой университет Томска). Преимущества: высокая концентрация талантов и генерация принципиально новых знаний. Риски: сложность коммерциализации фундаментальных разработок и «академический» стиль мышления основателей стартапов.

3. Политические (государственные) экосистемы формируются по инициативе государства с целью ускоренного развития определённых территорий или технологических направлений. Они включают в себя особые экономические зоны, технопарки, наукограды и инновационные центры (такие как «Сколково», Иннополис, Кольцово). Государство выступает в роли основного инвестора и регулятора, устанавливая «правила игры» и предоставляя налоговые и административные преференции.

Преимущества таких экосистем заключаются в возможности быстрого старта и концентрации ресурсов на приоритетных направлениях. Однако существуют и риски, включая «тепличность» – когда резиденты ориентируются на получение государственной поддержки, а не на рыночный успех, а также сложности в создании подлинной самоорганизации и конкуренции [2].

Ключевой проблемой, выявленной в ходе исследования, является несоответствие между формальными институтами (структурами и правилами, создаваемыми государством) и неформальными факторами (инновационной культурой, доверием, сетевыми связями) [7].

Анализ деятельности 12 российских технопарков и особых экономических зон технико-внедренческого типа за период 2018–2024 гг. показывает, что наличие современной инфраструктуры (здания, оборудование, налоговые льготы) является необходимым, но недостаточным условием для успешного функционирования экосистемы. Некоторые технопарки сталкиваются с проблемой низкой инновационной активности резидентов, которые ориентируются на «серый» импорт или простую аренду офисных помещений [6].

Успешные экосистемы, такие как в Томской области, характеризуются наличием:

- высокого уровня доверия между участниками (учеными, предпринимателями, инвесторами);
- развитых горизонтальных связей, включающих неформальные сообщества, профессиональные клубы и совместные мероприятия;
- позитивного образа предпринимателя в научной среде, что позволяет преодолеть «синдром боязни коммерциализации»;
- мобильности кадров между наукой, бизнесом и образованием [6] [7].

Эти факторы практически не учитываются в классической модели тройной спирали, которая ориентирована на взаимодействие институций, а не конкретных людей и их практик.

Опыт показывает, что попытки прямого копирования зарубежных моделей (таких как Силиконовая долина) в иной институциональной среде редко бывают успешными. Формальные структуры (технопарки, венчурные фонды) могут быть созданы быстро, но инновационная культура формируется на протяжении десятилетий. Это подчеркивает необходимость смещения акцента государственной политики с «институционального строительства» на поддержку процессов самоорганизации и «выращивания» экосистем.

На основе проведенного анализа были сформулированы следующие принципы управления экосистемами на региональном и национальном уровнях:

1. Принцип субсидиарности: государство не должно пытаться заменить рыночную инициативу. Его задача заключается в создании благоприятной среды («поливание почвы»), а не в управлении отдельными «растениями».

2. Принцип сетевого посредничества: ключевая роль должна отводиться «центрам превосходства» и «интеграторам» – структурам, обеспечивающим связи между разрозненными акторами (такими как трансферные офисы, технологические брокеры, платформы открытых инноваций).

Принцип учета разнообразия: политика должна адаптироваться в зависимости от типа экосистемы. В контексте университетских экосистем важным аспектом является поддержка студенческого предпринимательства, тогда как для корпоративных экосистем необходимо стимулирование спроса на инновации со стороны крупных компаний.

Принцип поддержки неформальных коммуникаций: требуется финансирование не только «жесткой» инфраструктуры, но и «мягкой», включающей мероприятия, способствующие обмену знаниями (такие как хакатоны, open space, проектные школы и программы мобильности) [3].

Концептуальный переход от модели тройной спирали к восприятию инновационных процессов как экосистемных представляет собой не просто изменение терминологии, а отражает реальные институциональные изменения. Современные инновации все реже возникают в изолированных лабораториях по государственному заказу и все чаще формируются в сетях взаимодействия множества гетерогенных акторов, включая потребителей и гражданское общество.

Для России, стремящейся к достижению технологического суверенитета, экосистемный подход подразумевает необходимость отказаться от иллюзий относительно быстрых решений и «институционального импорта». Успех будет определяться способностью развивать собственную инновационную культуру, формировать доверие и развивать горизонтальные связи – факторы, которые ранее оставались на периферии экономической политики.

Список использованных источников

1. Ицковиц Г. Тройная спираль. Университеты – предприятия – государство. Инновации в действии. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. – 238 с.;
2. Смородинская Н.В., Малыгин В.Е. Инновационная экосистема как институт экономического развития // Вестник Института экономики РАН. – 2021. – № 2. – С. 27–45;
3. Carayannis E.G., Campbell D.F.J. 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem // International Journal of Technology Management. – 2009. – Vol. 46, No. 3/4. – P. 201–234;
4. Голиченко О.Г. Национальная инновационная система России: состояние и пути развития. – Москва: Наука, 2023. – 412 с.;
5. Etzkowitz H., Leydesdorff L. The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university–industry–government relations // Research Policy. – 2000. – Vol. 29, No. 2. – P. 109–123;
6. Караваева Ю.В., Кузнецов С.В. Инновационные экосистемы в региональном развитии // Экономика региона. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 678–693;
7. Фролов А.В., Попов Е.В. Институциональная среда инновационной экономики. – Екатеринбург: УрО РАН, 2022. – 256 с.

PROSPECTS FOR CHANGE IN DEVELOPMENT MODELS TO INNOVATION ECOSYSTEMS

A.A. Malafeevsky

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russia*

History has seen several models of innovative development. In this paper, we will examine the existing concepts, their replacements, and the most relevant ones. We will also examine the factors influencing the emergence of new innovative development concepts and how they influence them.

Keywords: ecosystem, transformation, culture, innovation, spiral, technology, development.

ПУТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СТРУКТУР ЧЕРЕЗ ГЕНЕРАТИВНЫЙ ДИЗАЙН

А.А. Малафеевский

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
г. Казань, Россия*

В этой работе приведены различные способы совершенствования механических структур, имеющиеся на сегодняшний день. Вместе с этим, тема так же затрагивает преимущества применения в этом вопросе генеративный дизайн.

Ключевые слова: оптимизация, производство, конструкции, дизайн, материал, автоматизирование, внедрение.

Современное машиностроение ориентировано на оптимизацию структур в области механического проектирования. Процесс оптимизации осуществляется с использованием различных программных методов. Например, существует система, способная генерировать множество вариантов конструкции, каждый из которых оптимизирован в соответствии с конкретными требованиями, такими как вес, прочность, расход материалов и устойчивость к нагрузкам. Применение таких подходов, как генеративный дизайн и методы структурной оптимизации, обеспечивает данную возможность.

Генеративный дизайн представляет собой метод цифрового проектирования, при котором форма изделия формируется автоматически на основании заданных инженером параметров, включая нагрузки, параметрические условия, материалы, технологические ограничения и критерии оптимальности. В отличие от традиционного подхода, где инженер самостоятельно разрабатывает геометрию детали, в рамках генеративного дизайна задается область проектирования и набор ограничений, после чего алгоритмы, включая методы топологической оптимизации, формируют один или несколько вариантов конструкции с рациональным распределением материала. Данный подход основывается на применении методов структурной оптимизации, позволяющих алгоритмически изменять параметры конструкции.

В процессе генеративного дизайна алгоритмы анализируют распределение нагрузок и граничные условия, после чего автоматически корректируют параметры конструкции для достижения заданных критериев оптимальности. Выделяют три основных вида оптимизации: оптимизацию размеров, при которой изменяются геометрические параметры элементов; оптимизацию формы, предполагающую корректировку контуров конструкции; и топологическую оптимизацию, в ходе которой происходит перераспределение материала внутри области проектирования с возможным удалением неэффективных зон.

В качестве практического примера применения генеративного дизайна можно рассмотреть оптимизацию машиностроительного кронштейна. На основе

первичного инженерного анализа система применяет различные методы оптимизации для повышения эффективности конструкции. Оптимизация размеров включает изменение геометрических параметров отдельных элементов кронштейна, таких как толщина ребер, диаметр отверстий или размеры опорных площадок. В результате достигается более рациональное распределение нагрузки между элементами конструкции при сохранении исходной компоновки детали. Оптимизация формы направлена на корректировку внешних контуров и переходных участков кронштейна, где алгоритмы сглаживают концентраторы напряжений, изменяют радиусы скруглений и геометрию силовых элементов.

Наиболее значительные изменения достигаются в процессе топологической оптимизации, в ходе которого алгоритм перераспределяет материал внутри заданной области проектирования. При этом напряжения в материале не должны превышать допустимые пределы. В процессе расчёта удаляются участки, не участвующие в передаче нагрузки, в то время как материал концентрируется вдоль основных силовых потоков. В результате формируется облегчённая конструкция с более эффективной геометрией, что позволяет снизить массу кронштейна при сохранении необходимых прочностных характеристик.

В настоящее время генеративный дизайн активно применяется конструкторами в таких отраслях, как авиастроение, автомобилестроение, строительство и медицина, демонстрируя значительные результаты в снижении массы, расхода материалов и времени разработки. Генеративная разработка осуществляется с использованием специализированных программных комплексов, таких как ANSYS Discovery, CATIA, PTC Creo, Autodesk Fusion 360, Siemens NX, nTopology, а также решений на базе OptiStruct и MSC Apex. Эти программные платформы интегрируют возможности CAD-моделирования, численного анализа и топологической оптимизации, что позволяет проводить анализ механических, тепловых и других физических характеристик конструкции. На основании заданных нагрузок и граничных условий системы автоматически генерируют несколько вариантов геометрии, позволяя выбрать наиболее эффективное решение с точки зрения прочности, жесткости и массы конструкции. Многие из этих платформ также поддерживают интеграцию с аддитивными технологиями производства (такими как SLM, SLS и FDM), что позволяет изготавливать конструкции сложной топологии, полученные в результате генеративной оптимизации. Данные решения являются более доступными и универсальными, поскольку базовые функциональные модули CAD-систем могут быть доступны по сравнительно невысокой подписке.

Помимо использования готовых программных решений, в промышленности также разрабатываются индивидуальные системы генеративного проектирования, адаптированные под конкретные производственные задачи предприятия. Такие решения создаются на основе существующих CAD/CAE-платформ или с использованием собственных алгоритмов оптимизации. Стоимость внедрения генеративных технологий зависит от масштаба проекта, однако разработка специализированных программных решений для крупных предприятий требует значительно больших инвестиций. Тем не менее, внедрение генеративного дизайна

обычно обеспечивает экономический эффект за счёт сокращения расхода материалов, уменьшения массы конструкций и ускорения процесса проектирования.

Примеры практической эффективности генеративного дизайна подтверждаются результатами его внедрения в промышленности. Так, компания General Electric сообщила о снижении массы авиационных компонентов примерно на 20 % при сохранении их прочностных характеристик. Аналогичные результаты были зафиксированы в автомобильной отрасли: в проектах General Motors использование генеративных алгоритмов позволило уменьшить массу отдельных деталей примерно на 20 %, что положительно сказалось на топливной эффективности автомобилей.

В целом применение генеративного дизайна и методов автоматизированного проектирования значительно повышает эффективность разработки изделий. В среднем снижение массы конструкций составляет около 15–20 %, экономия материалов достигает 20–50 %, а время разработки сокращается примерно на 30–40 % по сравнению с традиционными методами проектирования.

Однако успех внедрения генеративных методов зависит не только от программного обеспечения, но и от корректной формулировки задач. Для успешного применения генеративных методов необходимо наличие квалифицированных специалистов, обладающих знаниями в области CAD-моделирования, инженерного анализа и алгоритмической оптимизации.

При работе с генеративным дизайном инженеру важно четко определить параметры перед запуском алгоритма, такие как: область проектирования, точки крепления и граничные условия, действующие нагрузки, материал, критерии оптимальности (минимизация массы, максимизация жесткости), а также технологические ограничения производства и бюджет. На основе этих данных программная система проводит анализ напряженно-деформированного состояния и автоматически перераспределяет материал внутри заданной области проектирования. Полученная форма, как правило, отличается более сложной и органичной структурой по сравнению с традиционно спроектированными деталями, однако обеспечивает более эффективное использование материала и снижение массы изделия при сохранении его эксплуатационных характеристик.

Дополнительным фактором, ограничивающим широкое внедрение генеративного дизайна, является необходимость сертификации и верификации новых конструктивных решений. В высоко регулируемых отраслях, таких как авиационная и медицинская промышленность, любые конструктивные изменения требуют прохождения длительных процедур испытаний, подтверждения надежности и соответствия нормативным требованиям, что может существенно увеличить сроки внедрения новых решений.

В машиностроительной отрасли данные ограничения проявляются в меньшей степени, однако также оказывают влияние на процесс внедрения генеративного дизайна. При механическом конструировании новых деталей требуется проведение расчетных и экспериментальных проверок прочности, а также подтверждение соответствия отраслевым стандартам и требованиям безопасности.

Это приводит к необходимости дополнительной стандартизации качества для генеративных конструкций.

В заключение следует отметить, что генеративный дизайн представляет собой эффективный инструмент для повышения продуктивности инженерного проектирования, позволяя разрабатывать более рациональные и оптимизированные для производства изделия. Как и любая современная программная технологическая методология, она сопровождается как значительными преимуществами, так и ограничениями, связанными с её внедрением. Важно подчеркнуть, что успешная реализация таких технологий требует наличия квалифицированных специалистов, адаптации производственных процессов к программным решениям, корректной формулировки задач, а также прохождения процедур верификации и сертификации новых конструктивных решений.

Список использованных источников

1. Что Такое Генеративный Дизайн [Электронный источник] // Smart Space Lab – официальный сайт компании., URL: <https://ssl-team.com/blog/chto-takoe-generativnyy-dizayn> (дата обращения 06.03.2026);

2. Tyflopoulos, E., Tollnes, F. D., Steinert, M., Olsen, A., State of the art of generative design and topology optimization and potential research needs. // Proceedings of NordDesign, 2018;

3. Генеративный дизайн: как ИИ оптимизирует форму деталей [Электронный источник] // forum.investsteel.ru – промышленный форум, 20.02.2026., URL: <https://forum.investsteel.ru/topic/1828/generativnyj-dizajn-kak-ii-optimiziruet-formu-detalej> (дата обращения 06.03.2026);

4. Топ-10 программ для генеративного дизайна в 2023 году [Электронный источник] // FDM Print – эл. форум о технологиях 3D печати., URL: <https://fdmprint.ru/2023/07/16/top-10-programm-dlja-generativnogo-dizajna-v-2023-godu/> (дата обращения 06.03.2026).

IMPROVING MECHANICAL STRUCTURES THROUGH GENERATIVE DESIGN

A.A. Malafeevsky

*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russia*

This paper presents various methods for improving mechanical structures currently available. It also discusses the advantages of applying generative design in this area.

Keywords: optimization, production, structures, design, material, automation, implementation.

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

А.А. Матвеева

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

В процессе эксплуатации воздушные суда подвергаются воздействию различных факторов – механических, температурных, аэродинамических и коррозионных, что неизбежно приводит к износу и деградации их элементов. Из-за чего ремонт авиационной техники представляет собой ключевой элемент системы безопасности полётов и поддержания лётной годности воздушных судов.

Ключевые слова: авиационная техника, текущий ремонт, капитальный ремонт, авиация, техническое обслуживание.

Авиационная техника представляет собой сложные инженерные системы, функционирующие в условиях значительных эксплуатационных нагрузок: вибраций, перепадов температур, аэродинамических нагрузок и агрессивных факторов окружающей среды, что приводит к постепенному износу материалов и снижению надёжности. В этих условиях ремонт становится необходимым инструментом поддержания технического состояния авиационной техники на требуемом уровне.

Под ремонтом авиационной техники понимается комплекс работ, направленных на устранение неисправностей, восстановление параметров и характеристик изделий, а также предотвращение возможных отказов. И в зависимости от объёма и сложности выполняемых работ различают текущий, средний и капитальный ремонт.

1. Текущий ремонт – устранение незначительных неисправностей без значительного демонтажа агрегатов.

2. Средний ремонт – восстановление отдельных узлов и агрегатов с частичной разборкой.

3. Капитальный ремонт – полная разборка изделия, дефектация всех элементов и восстановление ресурса до нормативных значений

Организация ремонтного процесса основывается на строгом соблюдении технологической последовательности операций. И по итогу, представляет собой многоуровневую иерархическую структуру, сформированную с учётом сложности авиационных систем, условий их эксплуатации и требований к оперативности восстановления. Такой подход помогает рационально распределять функции между различными звеньями технического обеспечения, минимизировать время простоя воздушных судов и поддерживать высокий уровень их боевой и эксплуатационной готовности.

Но на начальном этапе проводится диагностика и дефектация, целью которых является выявление неисправностей и оценка технического состояния изделия. Для этого применяются как традиционные методы визуального контроля,

так и современные методы неразрушающего контроля, включая ультразвуковой, радиографический и вихретоковый анализ. Полученные данные уже позволяют определить объём необходимых ремонтных работ.

Первый уровень системы ремонта непосредственно связан с местом эксплуатации авиационной техники и носит мобильный характер. Он представлен подразделениями технико-эксплуатационных частей, выполняющими регламентные работы. Основной задачей данного уровня является оперативное поддержание исправного состояния воздушных судов. Здесь осуществляется поиск и устранение отказов преимущественно путём замены съёмных элементов и агрегатов, что позволяет значительно сократить время восстановления. Кроме того, выполняется текущий ремонт, направленный на устранение незначительных повреждений, а также проводится плановое техническое обслуживание в соответствии с установленными нормативами. Существенное значение имеют контрольно-восстановительные мероприятия, позволяющие выявлять потенциальные неисправности и предотвращать их развитие. Данный уровень играет определяющую роль в обеспечении непрерывности эксплуатации авиационной техники, поскольку позволяет устранять большинство возникающих проблем без необходимости её транспортировки в специализированные ремонтные центры.

Второй уровень представляет собой стационарную часть системы ремонта и включает специализированные подразделения диагностики и восстановления, функционирующие в составе технико-эксплуатационных структур. По сравнению с предыдущим уровнем, здесь используются более сложные методы и оборудование, чтобы выполнять работы повышенной сложности. Основное назначение данного уровня заключается в проведении ремонта с частичной разборкой изделий, а также в устранении более сложных неисправностей, требующих углублённого вмешательства. На этом уровне выполняется контрольно-восстановительный ремонт с относительно невысокой трудоёмкостью, осуществляется текущий и средний ремонт, включая замену функциональных узлов и конструктивно съёмных единиц. Важным направлением деятельности является и регулировка параметров бортовых систем и комплексов, что требует высокой квалификации персонала и применения специализированного оборудования; проведение внепланового технического обслуживания, основанного на анализе фактического состояния воздушного судна. Кроме того, специалисты данного уровня занимаются выявлением, локализацией и устранением сложных отказов, а также осуществляют контроль функционирования систем после проведения ремонтных работ. Таким образом, второй уровень обеспечивает более глубокую проработку технического состояния авиационной техники и служит связующим звеном между оперативным обслуживанием и капитальным восстановлением.

Третий уровень системы ремонта уже представлен специализированными региональными ремонтными базами, включая войсковые авиаремонтные мастерские. Этот уровень предназначен для выполнения наиболее сложных, трудоёмких и ресурсозатратных видов работ. Здесь сосредоточены высококвалифицированные специалисты, а также современное технологическое оборудование,

позволяющее проводить комплексное восстановление авиационной техники и её компонентов.

Основные задачи данного уровня включают выполнение контрольно-восстановительного ремонта высокой сложности, устранение серьёзных отказов, проведение среднего ремонта, а также всестороннюю оценку технического состояния воздушных судов и их комплектующих. Особое внимание уделяется восстановлению и продлению ресурса отдельных изделий, что достигается как путём замены функциональных узлов, так и посредством ремонта отдельных элементов. Такой подход может существенно увеличить срок службы авиационной техники и снизить затраты на её эксплуатацию. В результате выполнения работ на данном уровне техника фактически возвращается к состоянию, близкому к исходному, с восстановлением её основных эксплуатационных характеристик.

Завершающими стадиями ремонтного процесса являются сборка, регулировка и испытания. Сборка выполняется в строгом соответствии с технической документацией, после чего осуществляется настройка параметров работы агрегатов. Испытания включают как стендовые проверки, так и функциональные испытания, направленные на подтверждение соответствия изделия установленным требованиям. Только после успешного прохождения всех испытаний авиационная техника допускается к дальнейшей эксплуатации.

Таким образом, многоуровневая система ремонта авиационной техники представляет собой комплексный механизм обеспечения её надёжной эксплуатации. И рациональное распределение функций между различными уровнями позволяет оптимально сочетать оперативность и глубину восстановления, обеспечивая высокий уровень готовности воздушных судов.

Список использованных источников

1. Агеева Н.Г., Громов С.В. Основные тенденции развития системы управления планирования при разработке авиационных изделий // Труд и социальные отношения. – 2014. – № 5. – С. 78-87.
2. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. Надёжность и техническая диагностика авиационного оборудования. – Москва: МГТУ ГА, 2010. – 448 с.

ORGANIZATION OF AN AIRCRAFT REPAIR SYSTEM

A.A. Matveeva

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

During operation, aircraft are exposed to various factors – mechanical, thermal, aerodynamic and corrosive, which inevitably leads to wear and degradation of their

elements. Because of this, the repair of aviation equipment is a key element of the flight safety system and the maintenance of airworthiness of aircraft.

Keywords: aviation equipment, maintenance, overhaul, aviation, maintenance.

УДК 62

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

А.А. Матвеева

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

Современная авиационная техника характеризуется сложностью, значительными затратами на разработку, производство и эксплуатацию. В этих условиях особую значимость приобретает свойство эксплуатационной технологичности, которое во многом определяет экономическую эффективность и безопасность использования воздушных судов.

Ключевые слова: эксплуатационная технологичность, воздушное судно, техническое обслуживание, надежность, жизненный цикл, авиационная техника.

Практика показывает, что основная доля затрат, достигающая 60–80% от совокупных расходов, приходится именно на этап эксплуатации, что обуславливает необходимость учета требований технологичности уже на стадии проектирования. При том, одной из наиболее существенных проблем является организация технического обслуживания и ремонта воздушных судов, так как современные летательные аппараты представляют собой сложные технические системы, включающие большое количество взаимосвязанных узлов, агрегатов и электронных компонентов. И для поддержания их работоспособности требуется регулярное проведение диагностических, профилактических и восстановительных работ.

Эксплуатационная технологичность воздушного судна представляет собой совокупность конструктивных и организационно-технических характеристик, обеспечивающих приспособленность объекта к эффективному техническому обслуживанию и ремонту. Она выражается в снижении трудоемкости операций, сокращении времени простоя, повышении доступности агрегатов и систем, а также в обеспечении безопасного выполнения эксплуатационных процедур.

Таким образом, данное свойство отражает степень адаптации конструкции к реальным условиям эксплуатации. Также дополнительную сложность в обеспечении эксплуатационной технологичности создает неравнопрочность

конструкции воздушных судов. Различные элементы конструкции работают в неодинаковых условиях и подвергаются различным нагрузкам, что приводит к неравномерному износу. Некоторые агрегаты и узлы вырабатывают свой ресурс быстрее других, в результате чего возникает необходимость их замены еще до проведения плановых форм технического обслуживания. Такая неравномерность обусловлена как особенностями конструкции, так и различиями в используемых материалах, технологиях изготовления и условиях эксплуатации.

Оценка эксплуатационной технологичности осуществляется на основе комплекса показателей, среди которых ключевое значение имеют трудоемкость и продолжительность технического обслуживания, доступность элементов конструкции, уровень унификации и стандартизации, а также степень автоматизации диагностических процессов.

Для количественной оценки эксплуатационной технологичности применяются различные показатели, позволяющие учитывать совокупность факторов, влияющих на эффективность эксплуатации. Эти показатели используются на всех этапах жизненного цикла воздушного судна – от проектирования до эксплуатации – и позволяют проводить обоснованные расчеты, испытания и планирование технического обслуживания.

Среди них выделяются обобщенные показатели, характеризующие приспособленность воздушного судна к проведению различных видов технического обслуживания и ремонта. Они учитывают такие параметры, как затраты времени на выполнение работ, стоимость запасных частей, частота отказов, продолжительность восстановления работоспособности и ресурсные характеристики элементов конструкции. Данные показатели позволяют оценить общую эффективность эксплуатации и определить направления ее повышения. В отличие от обобщенных, единичные показатели отражают конкретные конструктивно-технологические особенности воздушного судна. К ним относятся доступность узлов, удобство их демонтажа и монтажа, взаимозаменяемость деталей, степень унификации и другие характеристики. Эти показатели позволяют выявить слабые места конструкции и определить возможности ее совершенствования.

Формирование высокого уровня эксплуатационной технологичности определяется рядом факторов, среди которых доминирующую роль играют конструкторские решения. Применение модульного принципа построения, рациональное размещение оборудования, использование быстросъемных соединений и современных материалов существенно упрощают процессы обслуживания и ремонта, но ее менее важным является уровень технологии производства, так как качество изготовления напрямую влияет на надежность и частоту отказов. Существенное значение имеет также организация технического обслуживания, включая квалификацию персонала, наличие специализированного оборудования и эффективную систему снабжения запасными частями. Влияние, конечно, оказывают и условия эксплуатации, такие как климатические

особенности, состояние аэродромной инфраструктуры и интенсивность использования воздушного судна.

Именно поэтому, современные методы технического обслуживания должны быть тесно согласованы с конструктивными особенностями воздушного судна. Это означает, что конструкция должна изначально предусматривать удобство доступа к агрегатам, возможность быстрой замены элементов и эффективное проведение диагностических процедур. Несмотря на стремление эксплуатирующих организаций к сокращению объемов ремонт и обслуживания, именно повышение эксплуатационной технологичности позволяет выполнять необходимый объем работ с минимальными затратами ресурсов.

Следует отметить, что наиболее надежные воздушные суда требуют минимального объема профилактических работ, однако с увеличением сложности авиационной техники возрастает и объем необходимых мероприятий. При этом, отдельные узлы и блоки могут выходить из строя внезапно, без предварительных признаков, что требует применения эффективных методов диагностики и поиска неисправностей. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость комплексного подхода к организации технического обслуживания и ремонта, включающего как профилактические, так и оперативные меры.

Таким образом, эксплуатационная технологичность является одним из ключевых факторов, определяющих качество системы технического обслуживания и ремонта воздушных судов, а ее повышение позволяет не только сократить затраты и трудоемкость работ, но и обеспечить высокий уровень надежности и безопасности эксплуатации.

Список использованных источников

1. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования. – Москва: МГТУ ГА, 2010. – 448 с.
2. Чинючин Ю.М., Полякова И.Ф. Основы технической эксплуатации и ремонта авиационной техники: учеб. пособие. – Москва: МГТУ ГА, 2004. – Ч. I.

MODERN ASPECTS OF THE OPERATIONAL SUITABILITY OF AIR TRANSPORT

A.A. Matveeva

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

During operation, aircraft are exposed to various factors – mechanical, thermal, aerodynamic and corrosive, which inevitably leads to wear and degradation of their elements. Because of this, the repair of aviation equipment is a key element of the flight safety system and the maintenance of airworthiness of aircraft.

Keywords: aviation equipment, maintenance, overhaul, aviation, maintenance.

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОКРАШИВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ДЕПО

А.М. Махкамов, А.Н. Шмойлов

*Приволжский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия*

Рассмотрены проблемы защиты грузовых вагонов от коррозии при ремонте в депо. Показана неэффективность традиционных методов и алкидных материалов, не обеспечивающих требуемого срока службы покрытий. Обосновано внедрение инновационных технологий на основе эпоксидных, акриловых и полиуретановых материалов, устойчивых к перепадам температур до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и атмосферным воздействиям. Отдельное внимание уделено окраске вагонов для пищевых продуктов, где покрытия должны соответствовать санитарным нормам и быть безопасными для контакта с грузом. Применение механизированных методов нанесения обеспечивает высокое качество и долговечность защиты. Внедрение инноваций позволяет увеличить срок службы покрытия, сократить простой вагонов и снизить расход материалов.

Ключевые слова: грузовые вагоны, инновационные технологии окрашивания, антикоррозионные покрытия, эпоксидные и полиуретановые материалы.

Современное состояние вагонного парка грузовых вагонов характеризуется высоким уровнем износа и необходимостью поддержания их работоспособности в условиях интенсивной эксплуатации [1]. Одним из ключевых аспектов качественного ремонта является защита металлоконструкций от коррозионного воздействия, что напрямую влияет на безопасность движения и срок службы подвижного состава. Традиционные методы окрашивания, применяемые в условиях депо, зачастую не обеспечивают требуемых адгезионных и антикоррозионных свойств покрытия, что приводит к сокращению межремонтных пробегов. В связи с этим, внедрение инновационных технологий окрашивания становится приоритетной задачей для повышения технологического уровня ремонтных подразделений.

Условия эксплуатации грузовых вагонов предъявляют повышенные требования к стойкости лакокрасочных покрытий. Применяемые сегодня алкидные материалы часто не выдерживают длительного воздействия ультрафиолета, перепадов температур и химической агрессии перевозимых грузов. Процесс старения пленки (потеря блеска, меление) быстро переходит в стадию разрушения, оголяя металл. Как следствие, деструкция покрытия ведет к сквозной коррозии кузовов и потере несущей способности элементов грузового вагона задолго до истечения нормативного срока службы.

Окрашивание грузовых [2] вагонов, предназначенных для перевозки пищевых продуктов (зерновозы, муковозы, вагоны-хопперы для сахара, пищевых

масел, молока и т.д.), имеет ряд принципиальных особенностей, которые отличают его от окрашивания обычных вагонов. Главное отличие – покрытие должно быть не только защитным, но и безопасным для контакта с пищевой средой.

Лакокрасочные материалы, контактирующие с пищевыми продуктами, должны иметь соответствующие разрешительные документы:

1) Разрешение на контакт с пищевыми продуктами: Покрытия должны соответствовать строгим нормативам, таким как требования FDA (например, FDA 21 CFR 175.300 для сухих пищевых продуктов) или санитарно-эпидемиологические заключения Роспотребнадзора;

2) Отсутствие вредных выделений: Материалы не должны содержать или выделять в продукт токсичные вещества, тяжелые металлы (свинец, хром), которые могут мигрировать в пищевую среду;

3) Низкое содержание летучих органических соединений (ЛОС): Современные покрытия для пищевых вагонов стремятся к нулевому содержанию растворителей, чтобы исключить запах и загрязнение груза.

При производстве и ремонте вагонов, предназначенных для транспортировки пищевых грузов требования к лакокрасочным покрытиям дифференцируются в зависимости от зоны окраски [3].

Наружная окраска таких вагонов выполняется по общим нормам для подвижного состава с использованием материалов на эпоксидной, акриловой и полиуретановой основах, обеспечивающих длительную защиту от коррозии и атмосферных воздействий. Однако ключевые требования предъявляются к покрытиям, контактирующим с пищевой средой.

Внутренние поверхности котлов цистерн, бункеров хопперов и кузовов специализированных вагонов должны отвечать жестким санитарно-гигиеническим нормам. Согласно ГОСТ 33354-2015, лакокрасочные материалы, контактирующие с пищевыми продуктами, должны иметь гигиенический сертификат и не выделять в продукт вредные вещества в количествах, превышающих допустимые уровни миграции.

Ключевым фактором получения долговечного покрытия является правильный подбор окрасочного оборудования. Качество финального слоя напрямую зависит от техники. Достичь высоких декоративных характеристик и продлить срок службы покрытия позволяют механизированные методы: безвоздушное или пневматическое распыление.

Основу инновационного подхода составляют современные материалы на эпоксидной, акриловой и полиуретановой основах. Они обладают высокой атмосферостойкостью, выдерживают перепады температур до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, сохраняют механические и декоративные свойства на протяжении длительного срока. Гарантированный срок защиты таких покрытий достигает 10 лет, что полностью исключает необходимость ежегодной перекраски и многократно сокращает простой вагонов в ремонте. Использование этих материалов позволяет также снизить расход дорогостоящих лакокрасочных средств.

Применение инновационных материалов эффективно лишь в сочетании с современным окрасочным оборудованием. Механизированные методы

нанесения – безвоздушное и пневматическое распыление – обеспечивают равномерность слоя, высокую адгезию и отсутствие дефектов. Правильный выбор техники для шлифовки, нанесения покрытий и восстановления повреждений напрямую влияет на конечное качество и долговечность защиты.

Особого внимания заслуживает окраска вагонов для перевозки пищевых продуктов. Здесь инновации должны учитывать не только защитные, но и санитарно-гигиенические требования. Внутренние поверхности, контактирующие с грузом, требуют применения сертифицированных материалов, разрешённых для контакта с пищевыми средами. Современные эпоксидные и полиуретановые покрытия с низким содержанием летучих соединений, устойчивые к кислотам и моющим средствам, обеспечивают безопасность и чистоту перевозимых продуктов. Наружная окраска таких вагонов выполняется по общим стандартам с использованием тех же долговечных полимерных составов.

Таким образом, внедрение инновационных технологий окрашивания в депо позволяет:

- увеличить срок службы покрытия с 1 года до 10 лет;
- сократить простой вагонов в ремонте за счёт отказа от ежегодной перекраски;
- снизить расход лакокрасочных материалов на 30–40% благодаря высокой укрывистости и долговечности современных составов;
- обеспечить соответствие санитарным нормам для пищевых вагонов, исключая риски загрязнения продукции.

В результате повышается качество ремонта, продлевается ресурс вагонов и оптимизируются эксплуатационные затраты.

Список использованных источников

1. Петров, С.В. Требования к информационному сопровождению подконтрольной эксплуатации вагонов / С.В. Петров // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2013. – № 5. – С. 22–28. – EDN TOMYDN.

2. Гурина, Г.И. Вопросы ресурсо- и энергосбережения при синтезе лакокрасочных алкидных и уралкидных материалов / Г.И. Гурина, Е.И. Дружинин // Нефтехимия – 2018: материалы I Международного научно-технического форума по химическим технологиям и по нефтегазопереработке, Минск, 27–30 ноября 2018 г. : в 2 ч. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2018. – Ч. 1. – С. 147–150. – EDN VNMCFW.

3. Куликов, М.Ю. Техничко-экономические особенности обработки поверхностей вагонов перед окрашиванием / М.Ю. Куликов, А.А. Кульков // Научные технологии в машиностроении. – 2019. – № 5 (95). – С. 39–41. – DOI 10.30987/article_5ca3030ab86644.37570375. – EDN NFAHFC.

INTRODUCTION OF INNOVATIVE PAINTING TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE QUALITY OF CARGO WAGON REPAIRS IN THE DEPOT

A.M. Makhkamov, A.N. Shmoilov

*Volga State Transport University,
Samara, Russia*

The article discusses the problems of protecting freight cars from corrosion during repairs at a depot. It shows the ineffectiveness of traditional methods and alkyd materials, which do not provide the required service life of the coatings. The article substantiates the introduction of innovative technologies based on epoxy, acrylic, and polyurethane materials, which are resistant to temperature fluctuations down to -60°C and atmospheric effects. Special attention is paid to the painting of cars for food products, where the coatings must meet sanitary standards and be safe for contact with the cargo. The use of mechanized application methods ensures high quality and durability of the protection. The introduction of innovations allows you to increase the service life of the coating, reduce the downtime of wagons, and reduce the consumption of materials.

Keywords: freight cars, innovative painting technologies, anti-corrosion coatings, and epoxy and polyurethane materials.

УДК 629.114.6

ДВУХЗВЕННЫЙ ГУСЕНИЧНЫЙ ВЕЗДЕХОД

Д.М. Мирошкин В.С. Суменков

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье рассматривается необходимость двухзвенного гусеничного вездехода, производится анализ актуальности разработки.

Ключевые слова: крайний север, вездеход, проходимость, транспорт, автомобиль.

Двухзвенный вездеход на базе УАЗ Узола представляет собой особую разновидность малогабаритной вездеходной техники, предназначенной для преодоления труднопроходимых участков местности. Исходной платформой для создания данной машины стало гусеничное шасси ЗВМ-2411, на которое были установлены кузова от проверенных моделей УАЗ – 39094 и 2206. Такое техническое решение позволило объединить проверенную ходовую часть с хорошо

зарекомендовавшими себя кузовными решениями, что значительно расширило возможности использования техники.

Одной из главных технических особенностей данного вездехода является двухзвенная конструкция, обеспечивающая повышенную маневренность и улучшенную проходимость по болотам, снегу, льду и мелководью. Разделение конструкции на два автономных модуля позволяет уменьшить нагрузку на шасси и лучше распределить массу машины, что снижает вероятность застревания в сложных условиях.

Еще одной особенностью конструкции является уникальное расположение ведущей звезды в системе гусеничного хода. В отличие от традиционных моделей, где привод передается на передние или задние колеса, в «УАЗ Узоле» ведущая звезда размещена так, чтобы обеспечить равномерное натяжение гусениц и повысить надежность трансмиссии. Используемые на асфальте проходимые гусеницы, специально разработанные для данной модели, имеют оптимальную ширину и жесткость профиля, что позволяет снизить повреждения дорожного покрытия при передвижении и повысить сцепление с различными типами грунта.

Применение кузовов моделей УАЗ-39094 и УАЗ-2206 дало возможность создавать несколько модификаций вездехода: пассажирские, грузопассажирские и грузовые. Каждая из них адаптирована под определённые задачи и условия эксплуатации.

Важной эксплуатационной характеристикой является способность работы в экстремальных климатических условиях. Вездеход успешно применяется в районах с суровыми зимами и отсутствием дорог, а также на болотистых почвах с повышенной влажностью. Особое внимание уделено защите узлов от попадания воды и грязи, что позволяет свести к минимуму количество поломок и снизить потребности в частом техническом обслуживании.

Технический потенциал «УАЗ Узолы» позволяет использовать его в различных сферах деятельности: экологические и геологоразведочные экспедиции, лесное хозяйство, сельское хозяйство, а также в спасательных службах. Машина незаменима в местах, где отсутствует дорожная инфраструктура или она полностью разрушена. Мобильность и универсальность данной техники делают её подходящим решением для перевозки как людей, так и грузов в сложных условиях, где традиционные автомобили и даже стандартные вездеходы оказываются бессильны.

Актуальность изучения и развития двухзвенных вездеходов на базе УАЗ обусловлена необходимостью обеспечения транспортной доступности в труднодоступных регионах, а также потребностью в надежных средствах перемещения для специалистов различных отраслей. Рассмотрение технических характеристик, особенностей конструкции и эксплуатации «УАЗ Узолы» позволяет выявить направления для дальнейшей модернизации модели и расширения её функционала.

Шасси является фундаментальным элементом, определяющим мобильность и проходимость двухзвенного вездехода на базе УАЗ Узолы. В основе конструкции лежит гусеничное шасси ЗВМ-2411, специально разработанное для

обеспечения высокой манёвренности и адаптивности к различным условиям бездорожья. Технические параметры шасси влияют на устойчивость, проходимость, а также на комфорт и безопасность передвижения.

Особенностью шасси ЗВМ-2411 является заднее расположение ведущей звезды гусеничного привода. Такое техническое решение улучшает натяжение гусениц и способствует более равномерному распределению сил тяги по всей длине гусеницы. Это снижает вероятность соскальзывания и повышает эффективность передачи мощности от двигателя к ходовой части. Кроме того, использование гусениц, предназначенных для движения по асфальту, с продуманным профилем способствует сохранению дорожного покрытия при движении по твёрдым дорогам, тем самым расширяя сферу применения машины без ущерба для инфраструктуры [4].

Высокая адаптивность шасси также достигается за счёт места расположения ведущей звезды, что позволяет использовать ходовую часть с минимальными доработками на базе проверенных агрегатов. Запас топлива в емкостях двух баков по 65 литров каждый, всего 130 литров, обеспечивает значительный ресурс хода без дозаправок, что немаловажно для работы в удалённых районах [5].

Модельный ряд вездеходов серии Узола охватывает широкий спектр требований пользователей – от транспорта для групп людей и экспедиций до специализированных грузовых и комбинированных исполнений. Каждый вариант адаптирован под определённые задачи, что обеспечивает эффективное использование техники в условиях бездорожья, болот, снега, воды и льда.

Двухзвенный вездеход на базе УАЗ Узола предназначен для эксплуатации в экстремальных природных условиях, которые традиционно представляют серьёзные проблемы для обычной техники. Среди ключевых задач, решаемых этой машиной, – передвижение и транспортировка по пересечённой местности, включая глубокий снег, ледяные поверхности, водные преграды и болота с низкой несущей способностью грунта. Эти природные среды характеризуются высокой нестабильностью и изменчивостью рельефа, что требует от вездеходов повышенной адаптивности, устойчивости и надёжности.

Основные условия эксплуатации в подобных регионах связаны с необходимостью переброски грузов и пассажиров в условиях, где дороги отсутствуют или находятся в неудовлетворительном состоянии. На севере России, в Заполярье, на Дальнем Востоке и в Сибири подобные вездеходы используются для доставки людей и материалов к удалённым объектам, работе геологоразведочных и строительных бригад, а также для эвакуации пострадавших и оказания первой медицинской помощи в труднодоступных районах. В таких условиях важна не только проходимость, но и возможность устойчиво двигаться по водным преградам, пересекать мелководья и преодолевать ледяные участки, что значительно расширяет территорию действия машины по сравнению с традиционными транспортными средствами [3][4].

Двухзвенная конструкция, при которой оба модуля являются ведущими и могут одновременно тянуть и толкать машину, повышает эффективность

преодоления препятствий, снижая вероятность застревания и повышая маневренность на разнообразном и сложном рельефе. Такой принцип работы существенно улучшает проходимость по плотному снегу, вязким болотам и неровной поверхности бездорожья, сохраняя устойчивость и снижая давление на грунт. Низкое удельное давление гусениц особенно важно при движении по слабо несущим поверхностям, позволяя машине избегать провалы и повреждения дороги [5].

Помимо природных условий, техника на базе УАЗ Узола успешно применяется в различных сферах народного хозяйства: от обеспечения арктических и таёжных экспедиций до снабжения удалённых промышленных объектов, лесозаготовок и сельского хозяйства. В военной сфере такие вездеходы используются для переброски подразделений и техники, а также для проведения спасательных операций в труднодоступных районах и Арктике. Возможность перевозки до 7 человек с необходимым оборудованием позволяет одновременно транспортировать персонал и груз, что востребовано при проведении комплексных работ и экспедиций [4].

Большое значение имеет и возможность адаптации комплекса систем для работы на загрязнённых или заражённых территориях, что расширяет спектр задач, возникающих в сложных природных и техногенных условиях. Технические решения, используемые в двухзвенных вездеходах, позволяют обеспечить экипаж чистым воздухом и повысить безопасность при эксплуатации в неблагоприятных средах [4].



Рисунок 1 – Вездеход УАЗ Узола в условиях эксплуатации и перевозках по труднодоступным поверхностям

Преимущества конструкции и эксплуатационной универсальности двухзвенного вездехода на базе УАЗ Узола делают его незаменимым средством для работы на слабо несущих поверхностях. Машина сочетает низкое давление на грунт, высокую манёвренность и грузопассажирскую универсальность, что позволяет эксплуатировать её в широчайшем диапазоне природных условий и задач.

Двухзвенные гусеничные вездеходы сохраняют высокий спрос в транспортном обеспечении экстремальных условий, особенно в Арктике и на Крайнем Севере, где требования к надежности и проходимости непрерывно возрастают.

Одним из направлений модернизации является внедрение более эффективных и экологичных силовых установок, включая гибридные и электрические приводы. Такие решения способны снизить эксплуатационные расходы, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и повысить автономность работы техники в удалённых районах, где доступ к топливу ограничен. Совмещение новых энергоэффективных систем с традиционной проверенной механикой позволит сохранить надёжность и упростить техобслуживание.

Важным аспектом развития конструкции станет совершенствование шасси и ходовой части. Применение новых композитных материалов и технологий 3D-печати позволит снизить массу элементов, повысить их прочность и увеличить ресурс без увеличения габаритов и давления на грунт. Улучшение амортизации и адаптивных систем подвески обеспечит повышение комфорта экипажа и устойчивость машины при преодолении сложного рельефа.

«УАЗ Узола» успешно сочетает в себе традиционные отработанные конструкторские решения и инновационные подходы, что обеспечивает его актуальность и перспективность как универсального средства передвижения по труднопроходимым территориям с учётом современных требований. Это делает данный вездеход значимой моделью в отечественной классификации специализированной техники, способной выполнять широкий спектр задач с высокой степенью надёжности и эффективности.

Список использованных источников

1. Ваншейдт В.А. Динамика колесных и колесно-гусеничных машин. – Л.: Машиностроение, 1978, 189 ст.
2. Носов Н.А. Расчет и конструирование гусеничных машин. – Москва: Машиностроение, 1972, 561 ст.
- 3.<https://topwar.ru/184498-dvuhzvennyj-snegobolotohod-gaz-3344-20-aleut-povyshennaja-prohodimost-dlja-udalennyh-rajonov.html>
- 4.<https://tvzvezda.ru/news/2022311234-bEbrj.html>
- 5.<https://russian.rt.com/russia/article/878496-aleut-vezdehod-snegobolotohod-armiya>

TWO-LINK TRACKED ALL-TERRAIN VEHICLE

D.M. Miroshkin, V.S. Sumenkov

*Penza State University,
Penza, Russia*

This article examines the need for a two-link tracked all-terrain vehicle and analyzes the relevance of its development.

Keywords: Far North, all-terrain vehicle, cross-country ability, transport, automobile.

БЕСПИЛОТНОЕ ТАКСИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ**Р.Г. Мугаттарова¹***Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

В статье рассмотрены основные перспективы и ограничения внедрения беспилотного такси на территории Российской Федерации. Рассмотрен опыт внедрения новых технологий в городах России, а также за границей.

Ключевые слова: Беспилотное такси, роботакси, инновационные технологии, автомобиль, Яндекс.

Беспилотное такси: перспективы и ограничения

«История развития беспилотного такси. Беспилотное такси или Роботакси – такси, беспилотный автомобиль, который по стандартам SAE должен иметь 5-й или хотя бы 4-й (на этапе тестирования) уровень автоматизированности управления. Это означает, что авто должно быть способно к безопасному передвижению по заданному маршруту и к парковке полностью без помощи водителя, или только на ограниченных участках со сложным ландшафтом или в больших пробках (4 уровень). Вызвать такое такси можно с помощью специального мобильного приложения. Отсутствие потребности в водителе, плата которому составляет значительную часть расходов в работе обычного такси, позволит удешевить эту услугу. Компании, которые занимаются внедрением такого вида пассажирского транспорта, рассчитывают, что клиенты предпочтут такое такси собственному авто, которое требует хлопот и затрат на парковочное место, топливо, ремонт, страхование, оплату штрафов за нарушение ПДД, а также невозможность употребления алкогольных напитков.

Большинство авто, которые рассматриваются на роль роботакси, представляет собой гибридные или полностью электрические автомобили. Это позволит значительно уменьшить количество выхлопных газов. В последнее время происходит стремительное развитие программного обеспечения для самоуправляемых авто. Одно из ведущих мест здесь занимает Tesla Autopilot. Считается, что когда на авто будет установлен качественный автопилот, удастся достичь положительного влияния на безопасность движения, а уменьшение количества частных авто в пользу дешевых роботакси позволит уменьшить дорожные заторы.» [2]

Во многих странах мира беспилотное такси уже активно используется в качестве общедоступного транспорта. Первыми во всем мире службу беспилотного такси запустили в 2016 году, компания «nuTonomy» находящаяся в Сингапуре. В первое время в автомобиле присутствовали два сотрудника компании, которые находились на передних сидениях транспорта, чтобы в случае непредвиденных обстоятельств взять ситуацию в свои руки. Это было сделано для

¹ Научный руководитель: Целищев Д.В., Кандидат технических наук, доцент.

повышения безопасности пассажиров и водителей, а также для сбора данных о поведении автомобиля в различных дорожных условиях. Через год данная инновация начала распространяться и в Соединённых Штатах Америки. Компании начали тестировать свои технологии в разных городах, включая Сан-Франциско и Бостон. Эти тесты позволили разработчикам лучше понять проблемы, с которыми сталкиваются автономные автомобили, такие как плохие погодные условия, сложные дорожные ситуации и взаимодействие с пешеходами. Сейчас роботакси используется так же в Китае, Великобритании и Арабских Эмиратах. Китайские компании, такие как «Baidu» и «DiDi Chuxing», активно инвестируют в развитие технологий автономного вождения. Они проводят испытания своих автомобилей в крупных городах, таких как Пекин и Шанхай. В Великобритании компания «Oxbotica» проводит испытания своего беспилотного такси в Оксфорде. В Арабских Эмиратах компания «Roads and Transport Authority» (RTA) работает над внедрением беспилотных такси в Дубае.

Развитие беспилотного такси в России.

В Россию беспилотное такси пришло в 2018 году, испытания начались с двух автомобилей компанией Яндекс в Иннополисе (Республика Татарстан). Этот город был выбран благодаря своей инфраструктуре и поддержке местных властей. Испытания проводились в реальных городских условиях, что позволило компании собрать важные данные о работе системы автономного вождения. В настоящее время компания продолжает тестирование беспилотного такси. В наши дни данная инновация есть так же в Ясенево (Москва) и в пределах федеральной территории «Сириус» в Краснодарском крае (рядом с Сочи). Сервисом, где доступна эта инновация могут пользоваться только лица, достигшие 18-ти лет. Это ограничение связано с необходимостью обеспечить безопасность пассажиров и контролировать поведение автомобиля. На данный момент посадка в беспилотное такси осуществляется только на заднее сидение. Обязательным требованием для начала поездки является пристегнутый ремень – без этого машина не поедет. После того, как все условия выполнены, пассажиру нужно нажать на экране планшета кнопку «Начать поездку», расположенным перед ним.

Система беспилотного такси «Яндекс» в первую очередь заботится о безопасности и комфорте своих пассажиров. В автомобиль внедрены системы камер, считывающие разметку, дорожные знаки и ситуацию на дороге. Так же установлены радары, с помощью которых на расстоянии до 300 метров измеряется расстояние до других объектов, а также скорость их движения. Экран отображает информацию о маршруте, времени прибытия и стоимости поездки.

Перспективы и ограничения

Беспилотное такси всё еще не до конца изучено. Тестирование проходит в не крупно населенных городах и районах, от чего не понятно, как новые технологии поведут себя на дорогах городов-миллионников. Перспектив, как и ограничений достаточное количество. Для начала, обслуживание такого вида такси выходит гораздо дороже, чем привычное нам. Большое количество внедряемого оборудования, которое устанавливается в автомобиль стало одной из причин, по которой введение роботакси становится сложнее.

Перспективы:

- Для роботакси используются электро-автомобили, что значительно сокращает использование бензина и сокращает загрязнение окружающей атмосферы.
- Данная услуга будет востребована среди женщин и пассажиров с детьми. Отсутствие посторонних людей в закрытом пространстве, даёт ощущение безопасности.
- Снизится уровень преступности. Замечено достаточное количество случаев, когда водители такси отбивались от маршрута и самостоятельно меняли конечную точку назначения, увозя пассажиров в неизвестном направлении.
- Снизится уровень аварийных ситуаций на дорогах. Как мы уже говорили, роботакси снабжено достаточным количеством современных технологий, которые способны определять текущую ситуацию на дороге.
- Беспилотные такси могут работать круглосуточно, что сократит время ожидания в ночное время.
- Автомобили могут самостоятельно находить парковочное место, освобождая пространство в городах.
- Разработка и развитие беспилотных такси способствуют дальнейшему развитию технологий автономного вождения и искусственного интеллекта.
- Минимализация человеческого фактора. Исключение ошибок, вызванных усталостью, сонливостью и отсутствием возможности реагировать моментально в критических ситуациях.

Большинство преимуществ связаны с принятием общественности. Возникает сложность того, что старшие поколения к новым технологиям относятся с крайним недоверием. Возникают разногласия. Кому-то данная функция кажется безопасной и комфортной, а другие не готовы доверить свою жизнь роботу.

Ограничения:

- Технология автономного вождения всё еще находится на стадии разработки, и существует риск сбоев в работе системы.
- Данная разработка является дорогостоящей, что сильно ударит по бюджету.
- За счет внедрения беспилотного такси сильно сократится необходимость в водителях такси, за счет чего большое количество людей останется без работы. Увеличение социального неравенства и повышение безработицы.
- Необходимость разработки новых законов и стандартов для регулирования эксплуатации автономных транспортных средств.
- Сложность урегулирования вопросов в случае аварий или сбоев в системе управления автомобилем.
- Риск взлома систем управления автомобилями и потенциальные угрозы безопасности пассажиров.
- Требования к модернизации дорожной инфраструктуры, включая установку специальных знаков и разметки для автономных автомобилей.

Ограничения использования беспилотного такси в большинстве случаев основываются на финансовом вопросе: затраты велики; доверии пассажиров и неясности того, как поведет себя техника в более крупных городах.

Ещё в середине 20-го века будущее представлялось, как города с летающими автомобилями, отсутствие водителей, робототехника процветает и упрощает жизнь людей. Так что, по моему мнению, такие нововведения имеют место быть в современном мире и от них никуда не идти, современные технологии процветают. Что касается замены рабочего класса технологиями, то с появлением машин появляется и большое количество нужных в наше время профессий, таких как: технологи, инженеры, разработчики в сфере IT и робототехнике. Новое будущее уже перед нами и активно развивается.

Список использованных источников

1. Яна Ламзина. Беспилотное такси – от истории к перспективам (Электронный ресурс) <https://softline.ru/about/blog/robotaksi-ili-avtomobili-budushego>
2. Всемирная интернет энциклопедия «Википедия» Беспилотное такси. (Электронный ресурс) https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотное_такси

UNMANNED TAXI: PROSPECTS AND LIMITATIONS

R.G. Mugattarova¹

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

The article discusses the main prospects and limitations of introducing unmanned taxis in the Russian Federation. It also examines the experience of introducing new technologies in Russian cities and abroad.

Keywords: Unmanned taxi, robotaxi, innovative technologies, car, Yandex.

УДК 656.11

МАЛОТОННАЖНЫЕ АВТОМОБИЛИ НА БАЗЕ ЛЕГКОВЫХ МАШИН

Б.Р. Назаров, С.В. Суменков

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

На базе легковых машин созданы малотоннажные автомобили разных типов: фургон, пикапы, рефрижераторы и автобусы. Такие машины

¹ Scientific supervisor: Tselishchev D.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

классифицируются как лёгкие коммерческие автомобили (LCV) и имеют разрешённую массу до 3,5 тонн.

Ключевые слова: малотоннажные автомобили, конструкция, ключевые преимущества, платформа, экономический эффект.

Малотоннажные автомобили на базе легковых машин представляют собой транспортную категорию, сочетающую компактные размеры легковых автомобилей с повышенной грузоподъёмностью и функциональностью коммерческого транспорта [1]. Они используются преимущественно для городских перевозок небольших партий грузов, пассажирских такси-сервисов, доставки товаров и курьерских услуг.

Наиболее распространённые представители малотоннажной техники на базе легковых платформ – это универсалы (рис. 1), минивэны (рис. 2) и фургоны малого класса (рис. 3). Их конструктивные особенности позволяют совмещать удобство пользования личным автомобилем с возможностью перевозки коммерческих грузов.

Преимущества такого подхода очевидны:

- Низкая стоимость владения относительно специализированного коммерческого транспорта;
- Простота обслуживания благодаря унификации узлов и агрегатов с обычными автомобилями;



Рисунок 1 – Универсал



Рисунок 2 – Минивэн



Рисунок 3 – Фургон

- Мобильность и маневренность, позволяющая эффективно передвигаться в городской среде;
- Экономичный расход топлива;
- Широкий спектр модификаций кузова и интерьера, позволяющий адаптироваться под различные виды грузоперевозок.

Вместе с тем, подобные транспортные средства обладают ограничениями по грузоподъемности и проходимости вне дорог общего назначения, требуют соблюдения правил дорожного движения, регламентирующих перевозку пассажиров и грузов одновременно, а также соблюдение норм безопасности при загрузке багажника.

Малотоннажные автомобили на базе легкового шасси, или, «легковые коммерческие автомобили», представляют собой сегмент транспортных средств, сочетающий в себе потребительские качества пассажирской машины с утилитарными возможностями грузового транспорта [3]. Их конструкция, по сути, является глубокой и целенаправленной модернизацией серийной легковой модели. Основная трансформация происходит в задней части кузова: вместо багажника и пассажирского салона формируется изолированное (рис. 4) или объединённое с кабиной грузовое отделение (рис. 5). Оно оборудуется усиленным полом, часто выполненным из фанеры или рифлёного металла, и надёжными крепёжными узлами для фиксации разнообразных грузов.



Рисунок 4 – Изолированное от кабины грузовое отделение



Рисунок 5 – Объединенное с кабиной грузовое отделение

Ключевым преимуществом такого решения является сохранение базовых эксплуатационных характеристик «донорской» легковой модели [4]. Речь идёт о комфорте управления, плавности хода, доступной динамике и относительно невысоком расходе топлива. Для водителя это означает возможность ежедневно перемещаться по городским маршрутам с привычным уровнем удобства. При этом автомобиль способен перевозить от нескольких сотен килограммов до тонны полезного груза, что покрывает значительную часть потребностей в логистике для микропредприятий.

Силовая структура таких автомобилей подвергается серьёзному пересмотру. Задняя подвеска, которая у базовой версии рассчитывалась преимущественно на пассажирскую нагрузку, существенно усиливается. Часто применяются рессоры вместо пружин, либо устанавливаются специальные усиленные пружины и амортизаторы с увеличенным ресурсом. Это необходимо для сохранения управляемости и устойчивости при полной загрузке. Тормозная система также получает соответствующие доработки для гарантированной эффективности остановки более тяжёлого транспортного средства. При этом передняя подвеска и рулевое управление обычно остаются без изменений, что и обеспечивает привычную «лёгковую» манеру езды.

Отдельного внимания заслуживает конструкция кузова [2]. В зависимости от целевого назначения, он может быть выполнен в виде цельнометаллического фургона с глухими стенками, либо с остеклёнными бортами, если автомобиль позиционируется как универсал повышенной вместимости. В последнее время набирает популярность концепция «шасси-кабина», когда на готовое, уже усиленное шасси с кабиной водителя производитель или специализированная компания устанавливает кузовное решение, идеально соответствующее задачам заказчика – от изотермического фургона до мобильной мастерской.

С экономической точки зрения малотоннажные автомобили на легковой базе демонстрируют исключительную эффективность. Их начальная

стоимость, как правило, существенно ниже, чем у полноценных грузовиков малого класса. Страховые взносы, налогообложение часто остаются на уровне легкового транспорта, что даёт дополнительную финансовую выгоду. Это делает их идеальным инструментом для начинающего предпринимателя, чей бюджет ограничен, а требования к функциональности высоки [5].

Однако существует и ряд объективных ограничений. Главное из них – это сравнительно небольшой полезный объём и грузоподъёмность. Кроме того, ресурс силового агрегата и ходовой части, хотя и рассчитан на повышенные нагрузки, всё же может оказаться ниже, чем у изначально спроектированных коммерческих решений при интенсивной эксплуатации в тяжёлых условиях.

Список использованных источников

1. Аксенок И.Я. Транспорт: история, современность, перспективы, проблемы. – Москва: Наука. 1985.
2. Ванчукевич В.Ф., Седюкевич В.Н. Автомобильные перевозки. Мн.: Выш. шк. 1988.
3. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник для высших и средних специальных учебных заведений. – Москва: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг». 2000.
4. Горелов П.П. Транспортные свойства и характеристики грузов: Справочник - С.-П.: ЗАО «ЦНИИМФ». 1999.
5. Дегтяренко В.П. Автомобильные дороги и автомобильный транспорт промышленных предприятий. – Москва: Выш. шк. 1981.

LIGHT-DUTY VEHICLES BASED ON PASSENGER CARS

B.R. Nazarov, S.V. Sumenkov

*Penza State University,
Penza, Russia*

Light-duty vehicles of various types have been created on the basis of passenger cars: vans, pickups, refrigerators, and buses. These vehicles are classified as light commercial vehicles (LCV) and have a permitted weight of up to 3.5 tons.

Keywords: light-duty vehicles, design, key advantages, platform, economic effect.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

Ю.Ю. Накашидзе, А.К. Федоренко, Р.М. Накашидзе

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В машиностроении соединения с натягом обеспечивают передачу больших нагрузок за счёт трения, но их эффективность зависит от микронеровностей поверхностей. Исследование посвящено математическому моделированию микрогеометрии таких соединений, что позволяет визуализировать контакт, анализировать распределение касаний и зазоров, а также оценивать реальную площадь контакта при разных натягах. Моделирование помогает точнее выбирать допуски и прогнозировать поведение соединения уже на этапе проектирования.

Ключевые слова: соединение с натягом, моделирование поверхности, шероховатость, фактическая площадь контакта, трёхмерная модель, натяг, зазоры.

Соединения с предварительным натягом широко используются в машиностроении благодаря своей простоте, надежности и способности передавать большие нагрузки без дополнительных крепежных элементов. Их работа основана на трении между валом и отверстием, но классические расчеты обычно не учитывают микронеровности реальной поверхности, которые возникают после механической обработки. Эти неровности приводят к тому, что контакт происходит только в определенных точках, что влияет на трение, износ и долговечность соединений. Современные вычислительные методы позволяют моделировать трехмерную микрогеометрию поверхности и проводить виртуальные эксперименты по сборке предварительно нагруженных соединений. В данной статье предлагается программа одноконтakтного моделирования, разработанная с использованием MATLAB. Она использует как экспериментальные контурные карты, так и синтетические данные, позволяя вам задавать параметры шероховатости (стандартное отклонение, длина корреляции и т.д.). Для моделирования различных типов обработки. Этот метод позволяет нам видеть имитации различных видов обработки. Такой подход даёт возможность анализировать распределение зазоров и пятен контакта, а также оценивать влияние микрогеометрии на эксплуатационные характеристики соединения [1].

После формирования двух поверхностей расстояние между ними устанавливается в направлении нормали к базовой плоскости. Это расстояние аналогично предварительному натягу: чем меньше расстояние, тем больше микрорегулярных пересечений и тем больше фактическая площадь контакта. Для каждой точки в дискретной сетке проверьте условие перекрытия по высоте: если высота первой поверхности в этой точке больше или равна высоте второй поверхности (с учетом зазора), точка считается находящейся в зоне контакта. В противном случае зазор будет устранен [2].

Результаты моделирования визуализируются в виде трёхмерной поверхности с цветовой индикацией зон контакта, а также в виде двумерной карты контакта, где области касания и зазоры отображаются контрастными цветами. (Рис. 1) Кроме того, программа строит гистограмму распределения зазоров по величине, что позволяет судить о характере прилегания поверхностей.

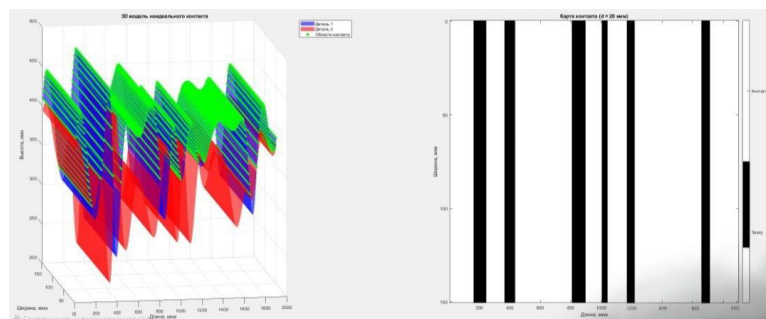


Рисунок 1 – Трёхмерная поверхность с цветовой индикацией зон контакта

Для количественной оценки рассчитывается доля точек контакта от общего числа точек, что выражается в процентах и даёт представление о фактической площади контакта. Эта величина может быть сопоставлена с усилием запрессовки, поскольку при реальной сборке сопротивление перемещению определяется именно срезанием и смятием микровыступов [3].

С использованием разработанной программы были проведены численные эксперименты для модельной пары поверхностей с параметрами шероховатости, типичными для деталей из чугуна СЧ20 после чистового точения. Величина натяга варьировалась путём изменения расстояния между базовыми плоскостями от 5 до 40 мкм. Результаты расчётов показали, что при малом расстоянии (5 мкм) происходит практически полное прилегание поверхностей, и доля контакта достигает 85 %. Однако в реальных условиях такое сближение привело бы к интенсивной пластической деформации вершин микронеровностей и, возможно, к заклиниванию. При увеличении расстояния до 15 мкм площадь контакта снижается до 68 %, а при 25 мкм – до 42 %. (Рис. 2) При расстоянии 35 мкм и более контакт сохраняется лишь на отдельных наиболее высоких выступах, и его площадь падает ниже 15 %.

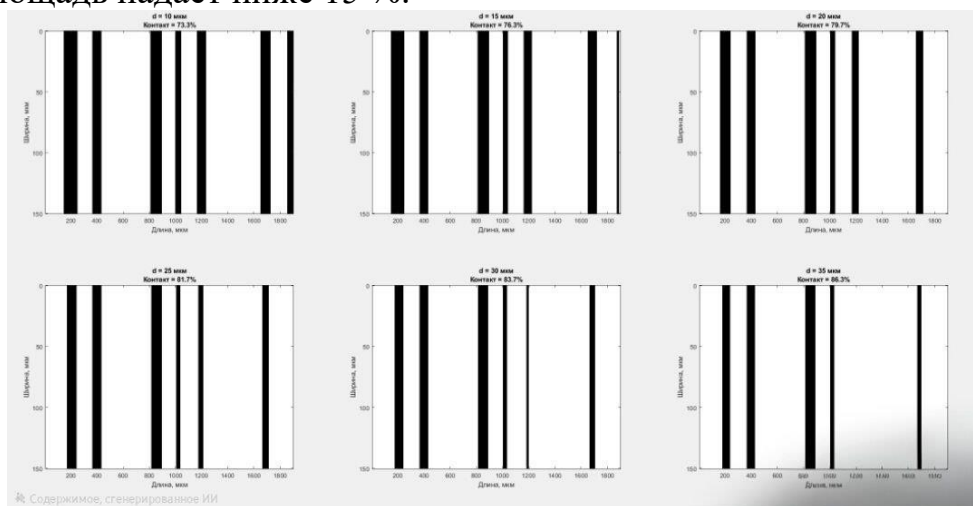


Рисунок 2 – Площадь контакта при разном расстоянии поверхностей

Даже если детали соединены с натягом, их поверхности соприкасаются не полностью, а только в отдельных точках – из-за микроскопических неровностей. Если рассчитывать прочность такого соединения только по размерам деталей, не учитывая эти неровности, можно получить слишком оптимистичный результат. При запрессовке выступы на поверхности немного сминаются, и площадь контакта увеличивается, но исходная шероховатость всё равно сильно влияет на то, как соединение будет работать с самого начала.

Исследования показывают, что между деталями остаются очень маленькие зазоры – обычно не больше 10–15 микрометров. В эти зазоры может попадать смазка или герметик, например, силиконовый. Это усложняет сборку: жидкости создают дополнительное сопротивление, и детали труднее соединить. С помощью моделирования можно заранее понять, сколько таких пустот будет, и как это повлияет на процесс [4].

Такой подход помогает инженерам ещё на этапе проектирования лучше понимать, как будет вести себя соединение. Зная параметры шероховатости, можно точнее рассчитать прочность, выбрать правильный натяг и избежать повреждений при сборке.

Список использованных источников

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. – 7-е изд. – Москва: Машиностроение, 1992.
2. Демкин Н.Б. Контактное состояние шероховатых поверхностей. – Москва: Наука, 1970. – 227 с.
3. Щенятский А.В., Чухланцев Е.С. Поликонтактные неравножесткие соединения с натягом и анализ их нагрузочной способности // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 2 (20). – С. 80–83.
4. Курносое Н.Е., Салмин В.В., Накашидзе Ю.Ю. Обеспечение герметичности соединений с натягом различными способами сборки // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2024. – № 11. – С. 21–28.

MODELING OF MICROGEOMETRY OF CONTACTING SURFACES OF INTERFERENCE JOINTS

Y.Y. Nakashidze, A.K. Fedorenko, R.M. Nakashidze

*Penza State University,
Penza, Russia*

In mechanical engineering, interference joints provide transmission of large loads due to friction, but their efficiency depends on micro-irregularities of surfaces. The study is devoted to the mathematical modeling of the microgeometry of such joints, which allows to visualize the contact, analyze the distribution of touches and gaps, and estimate the real contact area at different tensions. Modeling helps to choose

tolerances more accurately and to predict the behavior of the joint already at the design stage.

Keywords: interference fit, surface modeling, roughness, actual contact area, three-dimensional model, tension, gaps.

УДК 621.754

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ В НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Ю.Ю. Накашидзе

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье проведён анализ герметичности соединений в контакте металлических поверхностей. Рассмотрены актуальные решения по обеспечению герметичности, которые используются для неподвижных соединений, в частности для соединений с натягом.

Ключевые слова: соединения с натягом, герметичность, неподвижные соединения.

Неподвижные соединения в машиностроении – это соединения, в которых взаимное расположение соединяемых деталей и узлов остаётся неизменным в процессе работы. Такие соединения служат для крепления деталей или узлов в заданном положении, их невозможно разобрать без разрушения или повреждения деталей. Относительная неподвижность деталей достигается скреплением их с помощью крепёжных средств: винтов, штифтов, шпонок, резьбовых колец и других. К неразъёмным соединениям относятся сварные и заклепочные соединения, а также соединения с натягом. Заклепочные соединения в настоящее время применяют, в основном, для соединения деталей из трудно свариваемых материалов и материалов, деформирующихся при сварке, а также в конструкциях, где сварка недопустима. Например, в рамах грузовых автомобилей, которые, воспринимая большие динамические нагрузки, должны быть жесткими на изгиб, но при этом допускать деформацию на кручение. Сварные соединения в силу своих технологических и экономических преимуществ получили значительно большее распространение в машиностроении, чем заклепочные [1].

Неразъёмные неподвижные соединения осуществляют за счет пластического деформирования материалов (заклепочные), термической (сварные, паяные) или физико-химической (клееные) обработки соединяемых материалов.

Соединение двух деталей, полученное запрессовкой одной детали (охватываемой) в другую (охватывающую) и обеспечивающее прочное неподвижное (условно неразъёмное) соединение, называется соединением с натягом [1].

Обеспечение герметичности в соединениях – актуальная задача в машиностроении, которая достигается за счет создания определенных условий в самом соединении. В частности, применение уплотнителей соединений, работающих под высоким давлением, использование различных видов мягких покрытий [2], применение смазок и анаэробных герметиков [3]. Но в соединениях с натягом в виду конструкции невозможно использовать уплотнения, поэтому применяется введение дополнительных элементов (клеи, герметики, компаунды, Пасты).

В случае невозможности применения этих решений, используются другие методы, например наличие двух или трех зон контакта между двумя металлическими поверхностями (РФ № 2491467, патент US 8151461), что подтверждается примером на рисунке 1.

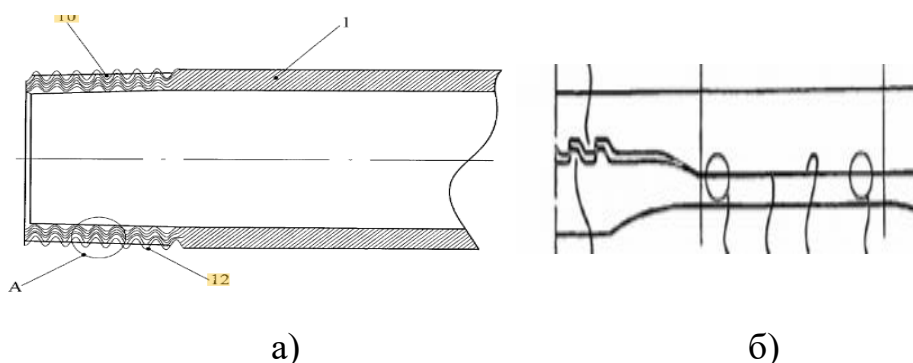


Рисунок 1 – Герметизация между двумя металлическими поверхностями соединений:

а) две зоны контакта: б) три зоны контакта

В патенте US 7850487 приведено аналогичное техническое решение по обеспечению герметичности между металлическими деталями, которое используется для обеспечения герметичности различных соединений в нефтегазовой промышленности.

Использование качества поверхностного слоя для обеспечения герметичности соединений с натягом тоже не всегда целесообразно, примером служит топливная аппаратура (патент РФ №2219365, патент РФ № 2485343).

В патенте № 2485343 герметичность обеспечивается за счет контакта по линиям, по разделенным зонам и сам контакт осуществляется по диаметральному линиям. Герметичности сложнее достичь по поверхности, чем по линии. Технология является сложной и экономически затратной.

Таким образом, те решения, которые используются для неподвижных соединений в топливной и трубопроводной аппаратуре, неприемлемы для соединений с натягом.

На основании анализа технических решений по обеспечению герметичности сопрягаемых металлических поверхностей, рассмотренных ранее, для обеспечения герметичности соединений с натягом предложено техническое решение патент РФ № 2835085, заключающееся в создании на поверхности соединения

трех симметричных выступов, расположенных с двух концов соединения (рисунок 2).

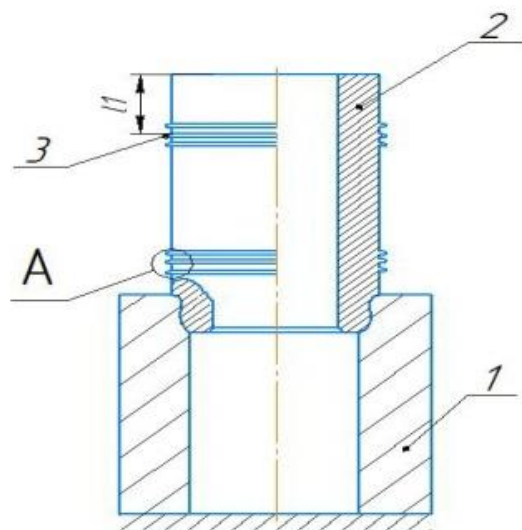


Рисунок 2 – Соединение с натягом с выступами:

A – выступы; 1 – втулка (охватывающая деталь), 2 – вал (охватываемая деталь), 3 – высота выступа, l_1 – расстояние до выступа

Проведены экспериментальные исследования герметичности объекта соединения. Для проведения исследований изготавливались экспериментальные образцы (рисунок 3) из различных материалов.



Рисунок 3 – Экспериментальные образцы: вал-втулка чугуна Сч20; сталь 40Х, бронза Бр. ОЦС 4-4-2,5

Перед проведением испытания на герметичность проводилась сборка и запрессовка деталей, и измерялось усилие. Получены результаты зависимости усилий запрессовки по длине соединения от натяга [4].

С целью экспериментального выявления возможной негерметичности запрессованных деталей спроектирован и изготовлен испытательный стенд. Проведена проверка степени герметичности запрессованных деталей, получены экспериментальные данные, взятые по усредненным значениям [5].

Анализируя выше сказанное можно сделать вывод, что герметичности соединения на основе технического решения, возможно достигнуть без использования третьего элемента с параметрами шероховатости традиционно применяемыми в соединениях с натягом.

Данное техническое решение может быть использовано при герметизации соединений с натягом в различных отраслях машиностроения.

Список использованных источников

1. Соединения деталей машин: учеб.-метод. пособие по выполнению лаб. и практ. работ / В.А. Довгяло, А.А. Ташбаев; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, БГУ. – Гомель: БелГУТ, 2016. – 125 с.
2. Евстифеева Е.А. Технологическое обеспечение прочностных характеристик соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами: специальность 05.02.08: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Евстифеева Е.А.; ПГУ. Пенза, 2009. 21 с.
3. Курносов Н.Е. Исследование прочности соединений с натягом с различными видами металлических покрытий / Н.Е. Курносов, А.Г. Елистратова, Ю.Ю. Накашидзе // Технология металлов. – 2025. – № 9. – С. 40-47.
4. Накашидзе Ю.Ю. Исследование влияния зависимости усилий запрессовки соединений с натягом при продольном способе сборки / Ю.Ю. Накашидзе, А.К. Федоренко, Р.М. Накашидзе // Перспективные направления развития автомобильного комплекса: сборник статей XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пенза, 2025. – С. 133-138.
5. Накашидзе Ю.Ю. Соединения с натягом, собираемые осевым способом и экспериментальное определение их герметичности по предложенному техническому решению / Курносов Н. Е., Лебединский К.В., Накашидзе Ю.Ю. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2025. № 2(74). – С. 98-109.

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR ENSURING HERMETIC TIGHTNESS IN IMMOBILE JOINTS

Yu.Yu. Nakashidze

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article analyzes the tightness of joints in contact with metal surfaces. Current solutions for ensuring tightness, which are used for fixed connections, in particular for connections with interference, are considered.

Keywords: tension joints, tightness, fixed joints.

АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

И.М. Николаев ¹

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Республика Татарстан, Россия*

Работа посвящена разработке и анализу адаптивных алгоритмов управления асинхронным электроприводом. В условиях эксплуатации параметры асинхронных двигателей претерпевают значительные изменения (нагрев обмоток, насыщение магнитопровода), что снижает эффективность классического векторного управления. Предложен подход, сочетающий адаптивные наблюдатели состояния и интеллектуальные методы коррекции параметров в режиме реального времени.

Ключевые слова: адаптивное управление, асинхронный двигатель, математическая модель, моделирование.

Введение

На современном этапе развития промышленной автоматизации асинхронный электропривод с короткозамкнутым ротором является основным исполнительным механизмом. Однако реализация прецизионного управления асинхронным двигателем (АД) сопряжена с существенными трудностями, обусловленными нелинейностью его математической модели и нестационарностью параметров [1]. Изменение температуры обмоток ведет к дрейфу активных сопротивлений и, что в классических системах векторного управления вызывает статическую ошибку по скорости и нарушение условий ориентации по полю [2]. В связи с этим актуальной задачей является разработка адаптивных систем, способных к самонастройке в реальном времени.

Математическое описание АД в синхронной системе координат характеризуется жесткой связью между каналами регулирования потокосцепления и электромагнитного момента. Традиционные системы векторного управления базируются на фиксированных паспортных значениях параметров. Однако в процессе эксплуатации активное сопротивление ротора может изменяться на 30–50% вследствие теплового фактора. Это приводит к рассогласованию между реальным вектором потокосцепления ротора и его расчетной моделью в микропроцессорном контроллере.

Адаптивный подход на основе эталонной модели (MRAS)

Одним из наиболее эффективных методов компенсации параметрических возмущений является использование систем с эталонной моделью (Model Reference Adaptive System – MRAS) [2, 3]. Принцип работы заключается в параллельном функционировании двух моделей:

¹ Научный руководитель: Н.А. Малёв к.т.н., доцент

Опорная или эталонная (Reference Model): базируется на уравнениях статора и не содержит варьированного параметра (например, скорости или сопротивления ротора).

Адаптивная (Adjustable Model): включает в себя настраиваемый параметр.

Сигнал рассогласования между выходами моделей поступает на адаптивный механизм, формирующий корректирующее воздействие. Устойчивость такой системы обеспечивается на основе критерия Попова или функции Ляпунова.

В частности, при идентификации скорости вращения ротора функция ошибки определяется через компоненты вектора потокосцепления ротора.

Применение методов интеллектуальной адаптации

Помимо градиентных методов MRAS, значительный интерес представляют алгоритмы на основе нечеткой логики (Fuzzy Logic) и нейронных сетей. В отличие от аналитических методов, нейросетевые адаптеры позволяют аппроксимировать нелинейности, связанные с насыщением магнитной цепи и явлением вытеснения тока в пазах ротора.

Нейронные сети используются для оперативной подстройки коэффициентов ПИ-регуляторов тока и скорости.

Нечеткие регуляторы обеспечивают высокую устойчивость (робастность) системы к резким изменениям момента нагрузки, минимизируя динамический провал скорости.

На современном этапе развития промышленной автоматизации асинхронный электропривод с короткозамкнутым ротором является основным исполнительным механизмом. Однако реализация прецизионного управления асинхронным двигателем сопряжена с существенными трудностями, обусловленными нелинейностью его математической модели и нестационарностью параметров. Изменение температуры обмоток ведет к дрейфу активных сопротивлений, что в классических системах векторного управления вызывает статическую ошибку по скорости и нарушение условий ориентации по полю. В связи с этим актуальной задачей является разработка адаптивных систем, способных к самонастройке в реальном времени.

Заключение

Использование адаптивных алгоритмов управления является необходимым условием для создания высокопроизводительных электроприводов. Системы класса MRAS в сочетании с методами идентификации параметров в реальном времени позволяют нивелировать влияние параметрической неопределенности. Дальнейшее развитие данного направления связано с интеграцией гибридных алгоритмов, сочетающих классические наблюдатели состояния и методы глубокого машинного обучения.

Список использованных источников

1. Терехов В.М., Назимко С.Н. Системы управления электроприводов. — Москва: Академия, 2015. — 304 с.

2. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново: ИГЭУ, 2008. – 298 с.

3. Bose B.K. Modern Power Electronics and AC Drives. – Prentice Hall, 2002. – 736 p.

ADAPTIVE CONTROL ALGORITHMS FOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES

I.M. Nikolaev¹

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Republic of Tatarstan, Russia*

The work is dedicated to the development and analysis of adaptive control algorithms for an asynchronous electric drive. During operation, the parameters of the induction motor undergo significant changes (winding heating, magnetic circuit saturation), which reduces the efficiency of classical vector control. An approach is proposed that combines adaptive state observers and intelligent methods for real-time parameter correction.

Keywords: Adaptive control, asynchronous motor, mathematical model, simulation.

УДК 433.257:271.941

ИВАН ЗУБКОВ – ВЫДАЮЩИЙСЯ СТРОИТЕЛЬ И ИНЖЕНЕР В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ПЕРЕПРАВЫ ПО ЛЬДУ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА)

Я.И. Олейникова¹, Е.С. Устинова², А.А. Смирнов¹, В.А. Федорова³

¹*Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева МО РФ,*

г. Санкт-Петербург, Россия,

²*Первый пограничный кадетский корпус ФСБ РФ,*

г. Санкт-Петербург, Россия,

³*Ленинградский военный округ,*

г. Санкт-Петербург, Россия

Зимой 1941-1942 года железнодорожные станции Войбокало и Жихарево стали важными перевалочными базами Дороги жизни. На этих станциях происходила перегрузка прибывавших по железной дороге продовольствия, боеприпасов и медикаментов на автомобили. Ленинградцы стойко переносили голод,

¹ Scientific supervisor: N.A. Malev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

холод, вражеские обстрелы и бомбардировки. Эвакуация населения из Ленинграда проводилась по льду Ладожского озера. «Дорога жизни» стала спасением для тысяч ленинградцев. Идея создания ледовой трассы по льду Ладожского озера впервые была высказана в начале войны.

А через некоторое время под руководством главного специалиста в области транспортного строительства Ивана Зубкова была создана железнодорожная ледовая переправа через Ладожское Озеро. В кратчайшие сроки был взведен 33-километровый участок железнодорожного пути Шлиссельбург-Поляны, который действовал с 5 февраля 1943 года по 10 марта 1944 года. В этом году ледовой переправе исполнится восемьдесят два года.

Ключевые слова: переправа, эвакуация населения из осажденного Ленинграда, Ладожское озеро, Дорога Победы.

ВВЕДЕНИЕ

За двадцать месяцев Великой Отечественной войны из блокадного Ленинграда было эвакуировано более 1.7 миллиона человек. Зима 1941-1942 года была самой тяжелой. Руководство города всеми путями пыталось ликвидировать это катастрофическое положение. Главный вопрос как максимально эффективно использовать ледовую трассу [1].

8 сентября 1941 года началась блокада Ленинграда, которая продолжалась 872 дня и завершилась 27 января 1944 года. Вспомнили о выдающихся инженерах, известных специалистах в области транспортного строительства. Одного из них стоит упомянуть особо. Это Иван Георгиевич Зубков.

До Великой Отечественной Войны он активно участвовал в строительстве Ленинградского метро. В 1943 году ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда. Жизнь его оборвалась внезапно, в 1944-м году он погиб в авиакатастрофе.



Рисунок 1 – История рода Зубковых

Иван Георгиевич Зубков родился 26 июля 1904 года в городе Ессентуки, где в это время жили и работали его родители - отец инженер-строитель Георгий Иванович и мама Мария Николаевна Зубковы. Среднее образование Иван Георгиевич получал в разных городах - Чите, Москве и Тифлисе, куда семья его отца многократно переезжала. Документально подтверждено, что в 1916 году он учился в Первом Московском Императрицы Екатерины II Кадетском Корпусе. После 1917 года жил с семьей отца в Закавказье и, возможно, некоторое время учился в Тифлисском кадетском корпусе.

После революции в 1919 году работал на разных должностях - подручным слесаря, молотобойцем, чертёжником, десятником. С 1922 года учился на рабфаке при Политехническом институте в Тбилиси и одновременно трудился в службе пути Закавказской железной дороги, где получил хорошие навыки, для своей дальнейшей практической деятельности.

В 1925 году из-за смерти отца вынужден был оставить учёбу и приехать к матери в город Львов Курской губернии. Нехватка кадров тогда была настолько сильная, что не окончивший рабфак Иван Георгиевич Зубков был назначен преподавателем, а затем и директором фабрично-заводского училища в городе Львове. В 1926 году он поступает в Харьковский технологический институт, который оканчивает в 1930 году. Следует отметить, что ранее в Харьковском университете учился дед Ивана Георгиевича. После окончания института продолжил дело отца и стал инженером-строителем - работал в Народном комиссариате путей сообщения СССР, строил железнодорожные мосты на Украине.

В 1933 году переехал в столицу и начал работать сменным инженером шахты № 9 на строительстве метрополитена в Москве. С 1933 по 1940 год прошёл путь от начальника смены до руководителя шахты.

За пять месяцев до начала Великой Отечественной войны, 21 января 1941 года, был назначен начальником Строительства № 5 НКПС (впоследствии «Ленметрострой», ныне ОАО «Метрострой»). Началась прокладка первой линии Ленинградского метро – Автово – Финляндский вокзал. Война прервала строительство, стройка была заморожена, а метростроители стали возводить оборонительные укрепления на Карельском перешейке и на Лужском рубеже обороны Ленинграда.

После того как в сентябре 1941 года советские войска форсировали Неву и заняли плацдарм на её левом берегу («Невский пятачок»), ленинградским метростроевцам во главе с Зубковым было поручено организовать понтонную переправу для транспортировки танков на левый берег Невы. Во время боёв за плацдарм Невская Дубровка был ранен и контужен.

В феврале 1942 года Иван Георгиевич был награжден орденом Красной Звезды. В наградном листе от 4 декабря 1941 года было написано: «Будучи назначен Военным советом Ленинградского фронта вначале Главным инженером, а затем начальником танковых переправ тяжёлых танков через реку Нева при проведении операции прорыва войсками 8-ой армии, показал не только все свои способности и кипучую энергию, но лично не раз показывал пример смелости,

спокойствия и отваги в напряженные моменты сложнейших работ по переправе танков.

Так, например: когда танку КВ грозила авария и гибель в реке под сильным огнём артиллерии, а разрывами снарядов наносились большие потери саперам, товарищ Зубков лично руководил спасением танка, ободрял и организовывал бойцов. Под руководством товарища Зубкова было переправлено через Неву больше 30 тяжёлых танков на пароме. При переправах товарищ Зубков лично проводил рекогносцировку под огнём противника. Достоин представления к награждению орденом «Красная Звезда».

Зимой 1942 года под руководством Зубкова была возведена не имеющая аналогов в мире железнодорожная ледовая переправа через Ладожское озеро («Дорога жизни») - общая длина узкоколейной железной дороги составила более 35 километров. При этом Иван Георгиевич Зубков предложил класть путь не на лед, а на свайно-ледяную эстакаду, чтобы поезда могли двигаться в Ленинград полными составами, а не по одному вагону, как планировалось изначально.

СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГИ ПОБЕДЫ

После прорыва блокады в январе 1943 года под руководством Зубкова всего за 15 дней был построен 33-километровый участок железнодорожного пути по узкому коридору вдоль южного берега Ладожского озера: Шлиссельбург – Поляны («Дорога Победы»). 7 февраля 1943 года, на день раньше намеченного срока, на Финляндский вокзал Ленинграда прибыл первый поезд с Большой земли.

Благодаря умелому руководству Ивана Георгиевича Зубкова «Дорога Победы» была не только построена, но и бесперебойно функционировала. Мост через Неву был спасён во время внезапного весеннего ледохода с Ладоги и восстановлен после прямого попадания в самый труднодоступный пролет. Пути ремонтировались почти каждый день.

В марте 1943 года Иван Георгиевич Зубков был назначен начальником управления военно-восстановительных и заградительных работ Ленинградского фронта, ему было присвоено специальное звание «Генерал-директор пути и строительства II ранга», которое соответствовало воинскому званию «генерал-лейтенант».

В наградном листе от 15 марта 1943 г. было написано: «...Несмотря на значительные трудности, новизну некоторых видов строительных работ и перебои с материалами все задания Военного Совета выполнялись досрочно при неизменно хорошем качестве работ.

Одним из наиболее ответственных участков работ явилось решение Военного Совета фронта по строительству свайно-ледовой железной дороги через Ладожское озеро, протяжением 30 км. Жёсткие сроки выполнения задания требовали приложения максимума энергии, чёткой организации и полноценного руководства. С этой задачей товарищ Зубков вполне справился и темпы строительства шли в полном соответствии с заданными сроками. После прорыва блокады Военным Советом было дано задание по строительству линии и двух мостов через реку Неву – выполнено в кратчайшие сроки – 14 суток. Первый поезд был пропущен на 15-ые сутки после начала работ [2].

За досрочное выполнение всех заданий, энергию, твердость руководства, хорошую организацию работ, что в значительной степени способствовало снабжению продовольствием города Ленинграда и за личные боевые качества командира ходатайствуем о награждении орденом «Красное Знамя»».

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 5 ноября 1943 года «за особые заслуги в деле обеспечения перевозок для фронта и народного хозяйства и выдающиеся достижения в восстановлении железнодорожного хозяйства в трудных условиях военного времени» Зубкову Ивану Георгиевичу было присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и Золотой медали «Серп и Молот» (Медаль №69; Орден Ленина № 15479).

На вполне законном основании Ивана Георгиевича считают спасителем Ленинграда.

После снятия блокады Иван Георгиевич руководил восстановлением железнодорожного хозяйства и строительством новых дорог для снабжения наступавших войск Ленинградского фронта.

28 июня 1944 года Иван Георгиевич Зубков вылетел для осмотра с воздуха разрушенного моста. Самолёт был неожиданно обстрелян и потерпел крушение при посадке на аэродром неподалёку от города Лодейное Поле. Никто, из находившихся на его борту не выжил...



Рисунок 2 – 5 октября 1944 Иван Георгиевич был награждён Орденом Отечественной войны I степени (посмертно)

Иван Зубков был похоронен в Александро-Невской лавре, на Коммунистической площадке (ныне Казачье кладбище). Похороны прошли с воинскими почестями, его гроб провезли по Невскому проспекту на орудийном лафете.

В 2014 году имя И. Г. Зубкова присвоено одной из улиц Санкт-Петербурга (проезд в Автово от Дороги на Туруханские острова до Кронштадтской улицы).

В заключении хочется отметить, что в блокадные зимы каждый ленинградец знал, город спасал что Иван Георгиевич Зубков 1904 -1944 выдающийся специалист в области транспортного строительства генерал-директор пути и строительства II ранга Герой Социалистического Труда. Кавалер ордена Ленина герой обороны Ленинграда. Пусть не прерывается историческая нить славной военной

истории Ленинграда. Будем всегда помнить и имя главного конструктора – Ивана Георгиевича Зубкова (фото 1, 2, 3).



Фото.1,2,3.

Список использованных источников

1. Молоков И.Е., Смирнов А.А., Олейникова Я.И., Куликов В.Р. Рубежный контроль успеваемости и остаточных знаний курсантов. – Комплексные технологии в механике и транспортном строительстве, Сборник статей IV Всероссийской НПК памяти профессора Г.Н. Гаврилова, 2025.- 434-440 с. (EDN IKXHKZ).

2. Бауман Б. «Петербургский дневник» №37 (3706), 04.03.2026 г., /info@spbdnevnik.ru/.

IVAN ZUBKOV IS AN OUTSTANDING BUILDER AND ENGINEER IN THE FIELD OF TRANSPORT CONSTRUCTION (FROM THE HISTORY OF THE CREATION OF A FERRY ON THE ICE OF LAKE LADOGA)

Ya.I. Oleinikova¹, E.S. Ustinova², A.A. Smirnov¹, V.A. Fedorov³

¹*The Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia,*

²*The first Frontier Cadet Corps of the FSB of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia,*

³*leningrad Military District, Saint Petersburg, Russia*

In the winter of 1941-1942, the railway stations Voybokalo and Zhikharevo became important transit bases for the Road of Life. At these stations, food, ammunition and medicines arriving by rail were reloaded onto cars. Leningraders bravely endured hunger, cold, enemy shelling and bombing. The evacuation of the population from Leningrad was carried out on the ice of Lake Ladoga. The "Road of Life" became a

salvation for thousands of Leningraders. The idea of creating an ice route on the ice of Lake Ladoga was first expressed at the beginning of the war.

And after some time, under the leadership of the chief specialist in the field of transport construction, Ivan Zubkov, a railway ice crossing over Lake Ladoga was created. In the shortest possible time, a 33-kilometer section of the Shlisselburg-Polyany railway was platted, which operated from February 5, 1943 to March 10, 1944. This year, the ice crossing will be eighty-two years old.

Keywords: ferry crossing, evacuation of the population from besieged Leningrad, Lake Ladoga, Victory Road.

УДК 62

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

А.Д. Панкратова

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Рассматривается задача повышения точности и надёжности навигации сельскохозяйственных машин в условиях реальной эксплуатации. Проведён анализ ограничений спутниковых навигационных систем, где по итогу обоснована необходимость применения инерциальных датчиков.

Ключевые слова: инерциальная навигационная система, навигация, сельскохозяйственная техника, гироскоп, магнитометр.

Современное сельское хозяйство активно развивается в направлении автоматизации и цифровизации технологических процессов.

Несмотря на высокую эффективность спутниковых систем в открытых условиях, их применение в сельском хозяйстве сопряжено с рядом ограничений, в частности, в садах и на участках с развитой инфраструктурой наблюдаются значительные искажения или полная потеря сигнала. Это связано с экранированием спутниковых сигналов древесной растительностью, воздействием линий электропередачи, а также наличием защитных конструкций.

Именно по этим причинам разрабатываются инерциальные навигационные системы.

Инерциальные навигационные системы (по тексту ИНС) представляют собой автономные средства определения положения, скорости и ориентации объекта на основе измерения линейных ускорений и угловых скоростей, которые в отличие от спутниковых навигационных систем, не зависят от внешних сигналов, что делает их особенно более стабильными при условиях нестабильного или отсутствующего спутникового сигнала.

Такая навигационная система включает в себя совокупность датчиков и вычислительных средств, имеющих непрерывное определение параметров движения объекта. К основным элементам, как правило, относятся акселерометры, измеряющие линейные ускорения, гироскопы, фиксирующие угловые скорости, а также вычислительный блок, выполняющий обработку сигналов и интегрирование измеренных величин.

А если точнее:

1) Гироскопы измеряют угловые скорости вращения объекта вокруг трёх взаимно перпендикулярных осей. В зависимости от диапазона измерений, который может составлять, например, 250, 500 градусов в секунду, обеспечивается различная чувствительность и устойчивость к динамическим нагрузкам.

2) Акселерометры измеряют линейные ускорения, включая гравитационную составляющую. В состоянии покоя датчик фиксирует ускорение, обусловленное силой тяжести, равное приблизительно 1g. При изменении ориентации устройства происходит перераспределение этой величины по осям, что позволяет оценить углы наклона.

При этом, современные системы чаще всего реализуются на базе микро-электромеханических датчиков, отличающихся компактностью, низким энергопотреблением и приемлемой точностью.

Само функционирование ИНС основано на математических процедурах интегрирования сигналов: линейные ускорения интегрируются для получения скорости и координат, а угловые скорости – для определения ориентации объекта в пространстве.

Однако такой подход неизбежно приводит к накоплению ошибок, обусловленных погрешностями датчиков, шумами и дрейфом. В результате точность определения координат со временем снижается. Важным фактором является также несовершенство геометрии расположения осей: в реальных условиях оси датчиков не являются строго взаимно перпендикулярными, что приводит к дополнительным погрешностям. Кроме того, неоднородность почвы и изменяющиеся условия сцепления колес с поверхностью создают дополнительные источники погрешностей.

В этих условиях требуется применение специализированных алгоритмов обработки сигналов, способных компенсировать внешние возмущения.

Сами требования к точности навигации в сельском хозяйстве варьируются в зависимости от выполняемой операции: так, при обработке почвы допустимы отклонения порядка нескольких десятков сантиметров, тогда как при посеве и точном внесении удобрений необходима точность на уровне нескольких сантиметров. Именно поэтому использование только инерциальной системы не позволяет обеспечить такую точность на длительных интервалах времени, что обуславливает необходимость интеграции с другими навигационными технологиями.

Наиболее эффективным решением является объединение ИНС с глобальными навигационными спутниковыми системами. В этом случае спутниковая система обеспечивает абсолютные координаты, а инерциальная система –

высокочастотную оценку параметров движения. Дополнительно в состав навигационных комплексов могут включаться одометры, лидары, видеокамеры и магнитометры.

Например, при использовании магнитометра ориентации датчика относительно магнитного поля изменяются значения проекций магнитной индукции на его оси. Анализ этих данных позволяет определить направление на магнитный север и вычислить курс объекта. Однако использование магнитометра требует обязательной калибровки. Погрешности измерений возникают из-за внутренних особенностей датчика и внешних воздействий, таких как наличие металлических объектов и электромагнитных помех. Для устранения этих искажений формируется корректирующая матрица, с помощью которой преобразуются исходные измерения.

Но в совокупности применение инерциальных навигационных систем в составе машинно-тракторных агрегатов имеет ряд существенных преимуществ. К ним относятся автономность работы, высокая частота обновления данных, устойчивость к внешним помехам и независимость от спутниковой инфраструктуры, но вместе с тем существуют и ограничения, среди которых основным является накопление ошибок во времени, а также чувствительность к внешним воздействиям и необходимость регулярной калибровки.

Список использованных источников

1. Бутов А.М. Рынок сельскохозяйственных машин: – Москва, НИУ ВШЭ (Высшая школа экономики). – 2019. – С. 87.
2. Воронков В.Н., Шишов С.А. Технологии, оборудование и опыт использования навигационных и компьютерных систем в растениеводстве: науч. изд. М.: Росинформагротех, 2010. – 80 с.

IMPROVING THE ACCURACY OF NAVIGATION OF AGRICULTURAL MACHINES USING INERTIAL SYSTEMS

A.D. Pankratova

*Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russia*

The problem of improving the accuracy and reliability of navigation of agricultural machines in real-world operation is considered. An analysis of the limitations of satellite navigation systems is carried out, where, as a result, the need for the use of inertial sensors is justified.

Keywords: inertial navigation system, navigation, agricultural machinery, gyroscope, magnetometer.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

В.В. Салмин, О.В. Журавлев

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье проанализированы проблемы и пути улучшения экологических и технико-экономических показателей дизельных двигателей от применения природного газа (метана).

Ключевые слова: дизельный двигатель, газообразное топливо, природный газ, система питания.

Дизельные двигатели, известны своей высокой топливной эффективностью и надежностью. Они остаются ключевым элементом в транспорте, промышленности и энергетике. Одним из перспективных направлений развития дизелей является использование в рабочем процессе газообразного топлива в сочетании с дизельным топливом в так называемых двухтопливных системах или газодизелях.

В настоящее время природный газ рассматривается как наиболее перспективная альтернатива жидкому топливу. Его сжигание производит на 23% меньше CO_2 по сравнению с дизельным топливом. Благодаря высоким антидетонационным свойствам, хорошему смесеобразованию и широким пределам воспламенения, использование природного газа в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) позволяет достичь высоких технико-экономических показателей [1].

Государственная политика России способствует переводу транспорта, особенно общественного, на газомоторное топливо. Это создает конкурентные преимущества для экономики страны и требует оценку энергоэффективности ДВС с точки зрения снижения расхода топлива и уменьшения количества выбросов токсичных газов.

Однако перевод дизельных двигателей на газовое топливо имеет ряд проблем решение которых требует от производителей как научных, так и инженерных решений. Основными проблемами в переводе дизелей на газ являются следующие вопросы:

- разработка и организация новых рабочих процессов ДВС, учитывающих физико-химические свойства газа;
- модернизация конструкции цилиндропоршневой группы для изменения степени сжатия и управления тепловыми нагрузками ДВС;
- полная замена дизельной топливной аппаратуры на газообразную или комбинированную;
- создание систем подготовки газообразного топлива к применению (фильтрация, осушка, подача);
- разработка новых систем управления топливоподачей;

– строгое соблюдения требований безопасной эксплуатации ДВС и хранения топлива;

Существует два основных подхода к конвертации двигателей:

1. Создание специализированных газовых двигателей, работающих только на газе.

2. Оснащение серийных двигателей дополнительной газовой системой для работы на двух видах топлива (газ и дизель), так называемых комбинированных систем питания.

Как показывает практика эксплуатации ДВС, что век применения жидких топлив уходит. На смену двигателям, работающим на жидком топливе, приходят двигатели, работающие на сжиженном или природном газе, или на водороде. Дизельный двигатель, модернизированный для работы на газообразном топливе, с воспламенением топливовоздушной смеси от сжатия, чаще всего с природным газом, а в перспективе на водороде называется газодизелем.

Принцип работы газодизеля (см. рис. 1) заключается в том, что газообразное топливо подается во впускной коллектор и смешивается с воздухом, образуя горючую смесь. Затем в цилиндр впрыскивается небольшое количество дизельного топлива, которое воспламеняется и инициирует сгорание газозавоздушной смеси.

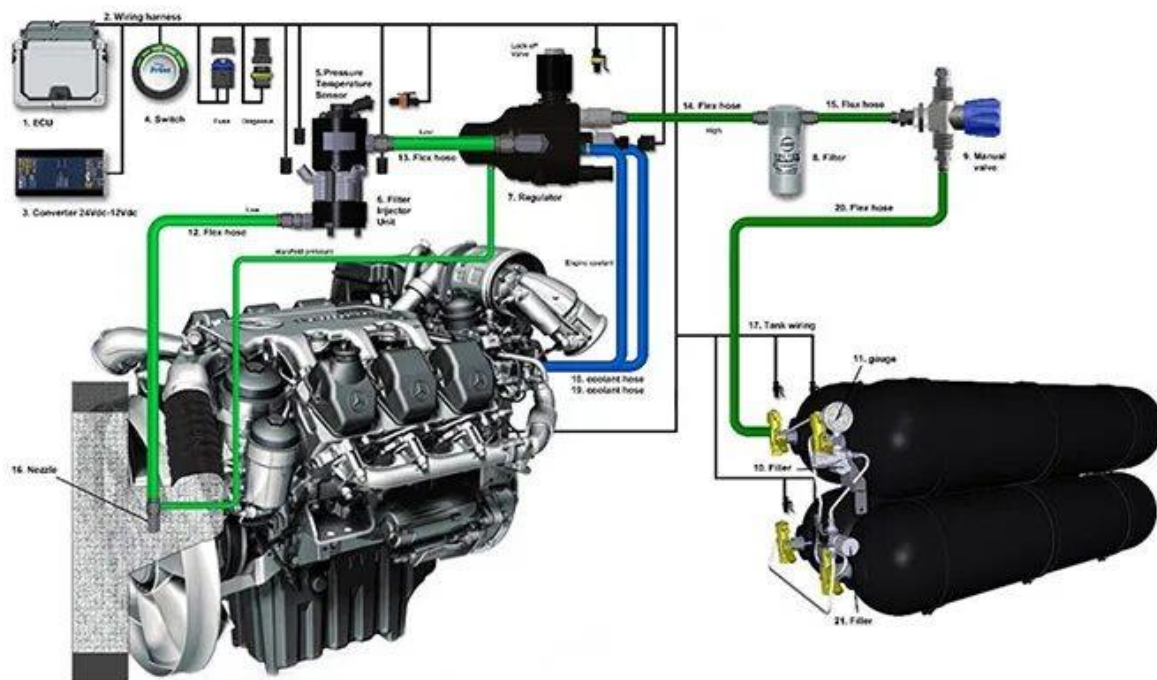


Рисунок 1 – Схема подключения системы подачи газообразного топлива к дизельному двигателю КамАЗ

Для улучшения экономических и экологических показателей исследуется расширение зон оптимального регулирования, применение фазового распределенного впрыска газа и комбинированного регулирования мощности. Ключевым фактором является степень сжатия (ϵ). Двигатель на метане с $\epsilon = 15$

демонстрирует мощность, сопоставимую с базовым двигателем, у которого степень сжатия равна 16,5 – 17 единиц, при этом происходит снижение расхода топлива на 20 – 30% и улучшаются его экологические показатели [2].

Повышение степени сжатия в газовых ДВС повышает термический КПД, улучшает смесеобразование и сгорание, что ведет к росту мощности и снижению расхода топлива. Рассмотрим зависимости КПД двигателя от нагрузки, работающего на разных видах топлива на примере приведенного графика см. рис. 2.

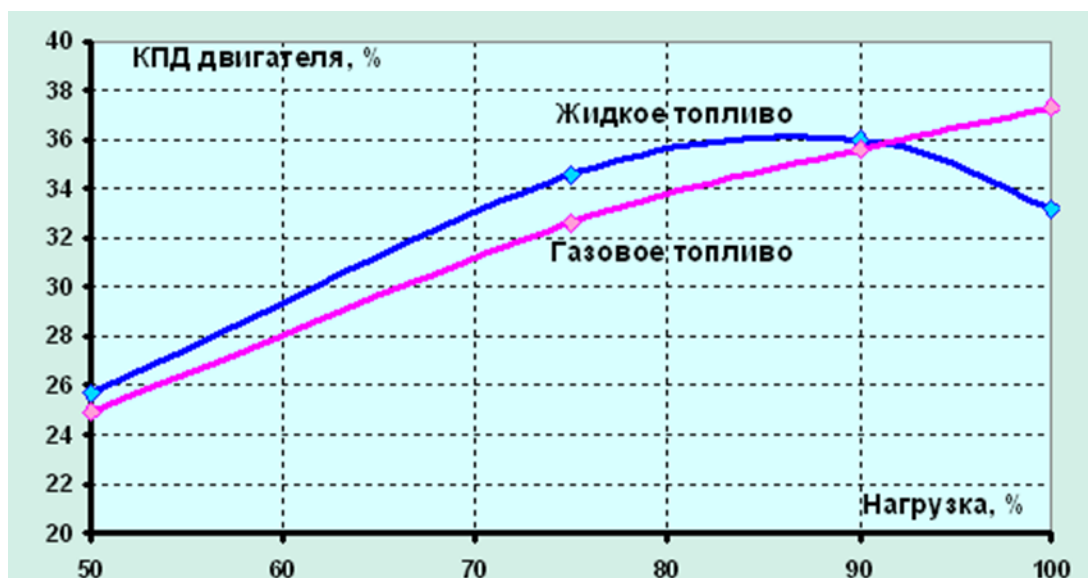


Рисунок 2 – График зависимости эффективного коэффициента полезного действия от нагрузки двигателя внутреннего сгорания

Наибольшей топливной экономичностью обладает двигатель, работающий на метане с высокой степенью сжатия [3].

Использование газообразного топлива в дизельных двигателях открывает ряд преимуществ:

- снижение расхода дизельного топлива. Газообразное топливо, как правило, дешевле дизельного, что позволяет значительно снизить затраты на топливо. Степень замещения дизельного топлива газом может достигать 50-70% и более, в зависимости от режима работы двигателя и конструкции системы [4].

- улучшение экологических показателей. При сжигании в ДВС природного газа или пропана-бутана образуется меньше сажи, оксидов азота (NO_x) и углекислого газа (CO_2) по сравнению с дизельным топливом. Это позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу и соответствовать строгим экологическим стандартам см. рис. 3 [5].

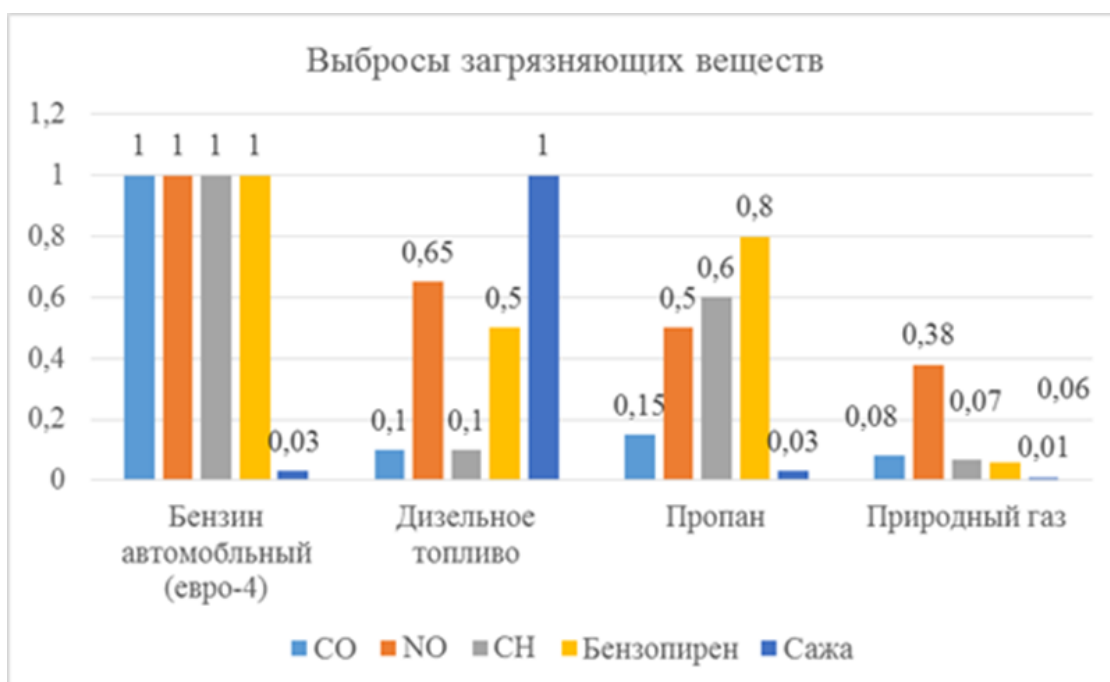


Рисунок 3 – Гистограмма выбросов загрязняющих веществ, выбрасываемых в окружающую среду двигателями внутреннего сгорания

Таким образом перевод ДВС на газ приводит к сокращению удельного расхода топлива, а изменение степени сжатия газовых ДВС с 16,5 до 15 позволяет не только улучшить их топливную экономичность, но и улучшить экологические показатели ДВС на 23%, а также повысить надежность их работы.

Список использованных источников

1. Кавтарадзе З.Р., Кавтарадзе Р.З. Перспективы применения поршневых двигателей на альтернативных моторных топливах // Транспорт на альтернативном топливе, 2010. №1 – С. 74 – 80.
2. Лукшо В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С. Оценка показателей природного газа как моторного топлива в полном жизненном цикле // Транспорт на альтернативном топливе, 2011. №3. – С. 4- 10.
3. Клементьев А.С., Бибииков М.Н., Филькин Н.М., Меркушев А.В. Исследование влияния степени сжатия при конвертации двигателя автомобиля ГАЗ-31105 «Волга» на газовое топливо // Транспорт на альтернативном топливе, 2010. №4. – С.14 – 17.
4. Козлов А.В., Теренченко А.С., Лукшо В.А., Миренкова Е.А. Анализ эколого-экономической эффективности автобусов, работающих на нефтяном и газовом топливах, в полном жизненном цикле – Труды НАМИ. 2014. № 259.
5. Лукшо В.А. Комплексный метод повышения энергоэффективности газовых двигателей с высокой степенью сжатия и укороченными тактами впуска и выпуска: Автореф. дис. на соискание уч. степени д-ра техн. наук. – М.: ФГУП «НАМИ», 2015. - 40 с.

WAYS TO IMPROVE THE TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE OF A GASEOUS FUEL DIESEL ENGINE

V.V. Salmin, O.V. Zhuravlev

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article analyzes the problems and ways to improve the environmental, technical and economic performance of diesel engines from the use of natural gas (methane).

Keywords: diesel engine, gaseous fuel, natural gas, power supply system.

УДК 629.3.038

РАСЧЕТ И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИВОДА БЕСПИЛОТНЫХ ПЛАТФОРМ

В.В. Салмин, А.В. Король

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье приведен краткий анализ и тенденций развития в области создания беспилотных грузовых транспортных средств и платформ, а также приведены формулы для расчета и обоснования основных параметров, характеризующих требуемую для привода энергетическую установку, трансмиссию и ходовую часть проектируемого беспилотного наземного транспортного средства.

Ключевые слова: беспилотное наземное транспортное средство, беспилотная платформа, мощность, энергетическая установка, эксплуатационный вес, скорость транспортного средства, коэффициент полезного действия.

Началом автоматизации транспорта принято считать первую половину XX века, когда ведущие инженеры и изобретатели озаботились созданием, а потом и усовершенствованием автопилота для самолетов. Именно авиация до сих пор остается самым популярным направлением беспилотного транспорта. Этому есть простое и логичное объяснение: воздушное и водное пространство – бескрайнее поле для экспериментов, где почти нет материальных препятствий. Другое дело наземный транспорт. Применение беспилотников в наземной сфере было положено с разработкой и применением еще в СССР космических, исследовательских транспортных средств таких как «Луноход-1» (1970 г.) и «Луноход-2» (1973 г.).

В настоящее время согласно Транспортной стратегии России до 2030 г. применение беспилотных транспортных средств находит все большее и большее

применение. Это связано с развитием электроники и микропроцессорной техники. Применение таких автоматизированных беспилотных систем позволило создавать новый вид транспорта, который позволяет повысить эффективность и безопасность грузовых и пассажирских перевозок, способствует снижению себестоимости перевозок на 15% и повышению пропускной способности инфраструктуры до 10% [1].

Еще в 2021 году объем российского рынка беспилотных транспортных систем по данным Ассоциации «Аэронекст» составлял менее 1% от мирового. Основными направлениями использования беспилотных наземных транспортных средств (БНТС) были: авиация, водный транспорт, добывающие отрасли, строительство, сельское хозяйство и сфера развлечений, но уже в 2022 году КАМАЗ представил созданный совместно со специалистами МГТУ им. Н.Э. Баумана уникальный самосвал КАМАЗ-6559 «Юпитер 30», предназначенный для карьерных работ в автономном режиме [1].



Рисунок 1 – Первый в России беспилотный самосвал - КАМАЗ-6559 «Юпитер 30»

Этот автомобиль был способен перевозить разрыхлённую горную массу или руду весом до 30 тонн в полностью автоматическом либо дистанционном режиме со скоростью до 56 км/ч. Это транспортное средство считается в нашей стране началом создания беспилотных наземных транспортных средств различного целевого назначения. С 2022 года в нашей стране также активно стали разрабатываться беспилотные платформы. К числу таких транспортных средств относятся, например, разработанная в Новосибирске гусеничная беспилотная платформа для эвакуации раненых «Веном-тотем» грузоподъемностью до 300 кг [3] см. рис. 2.



Рисунок 2 – Гусеничная беспилотная платформа для эвакуации раненых «Веном-тотем»

Компания IAI Lahav Division разработала платформу Rex 4x4, способную перевозить до 300 кг [2] см.рис. 3.



Рисунок 3 – Беспилотная колесная платформа грузоподъемностью до 250 кг

Как видим, даже из небольшого обзора литературы по развитию наземных беспилотных транспортных средств, в том числе, и беспилотных платформ, их использование в народном хозяйстве, в том числе и: на транспорте, в складском и торговом хозяйстве, в медицине, в сельском хозяйстве, в горнодобывающей отрасли и строительстве, в ЖКХ, в МЧС, в военных целях, находит все более активное применение, что делает их востребованными в различных условиях жизнедеятельности людей и требует налаживания их серийного производства.

Из анализа источников литературы также видим, что такое широкое применение беспилотных платформ в различных отраслях народного хозяйства и расширение их использование в различных природно-климатических зонах требует использование в их конструкции не только колесных, гусеничных и шагающих движителей, но и с комбинированным, универсальным ходовым

двигателем. Такие схемы позволяют решать значительные хозяйственные и военные задачи.

В основе проектирования и разработки таких беспилотных транспортных средств и платформ положен расчет энергетических установок и электроприводов различной комплектации, позволяющий реализовывать схемы с комбинированным, универсальным ходовым двигателем.

При перемещении платформы в различных условиях эксплуатации требует от беспилотных платформ затрат мощности в основном на самопередвижение и перевозку груза. Мощность транспортного средства в этом случае будет определяться по формуле:

$$N_{\text{тр}} = N_{\text{э.у.}} \cdot \eta_{\text{э.у.}} = I \cdot U \cdot \eta_{\text{э.у.}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{э.у.}}$ – мощность энергетической установки, кВт. При предварительном расчете в период начального проектирования беспилотной платформы мощность энергетической установки (электродвигателя) определяется по эмпирической зависимости вида:

$$N_{\text{э.у.}} \approx K_{\text{э.у.}} \cdot \frac{G_{\text{тр}}}{9,81} \quad (2)$$

здесь $K_{\text{э.у.}}$ – коэффициент, учитывающий удельные массовые характеристики электрических устройств, применяемых в беспилотных транспортных средствах. Для беспилотных платформ мощностью до 50 кВт этот коэффициент изменяется от 0,005 до 0,02 кВт/кг [4].

$\eta_{\text{э.у.}}$ – к.п.д. энергетической установки. Для электродвигателей типа МУ-30 или МУ-101, применяемых для привода беспилотных платформ эта величина составляет 0,88 ... 0,92 [4].

$G_{\text{тр}}$ – эксплуатационный вес транспортного средства (платформы), Н. Данная величина определяется по формуле:

$$G_{\text{тр}} = 9,81 \cdot \frac{m_{\text{г}}}{\gamma}, \quad (3)$$

здесь γ – коэффициент использования грузоподъемности транспортных средств. Данный коэффициент можно определить по эмпирической зависимости полученной профессором Салмным В.В. и имеющей вид:

$$\gamma = 0,03936 \cdot m_{\text{г}}^{0,36}, \quad (4)$$

здесь $m_{\text{г}}$ – масса груза, кг.

I – сила тока потребляемая энергетической установкой, А;

U – потребляемое напряжение, В. Принимаем $U = 48$ В.

Требуемая мощность для привода транспортного средства (ТС) может быть также определена по формуле [5]:

$$N_{\text{тр.}} = \frac{f \cdot G_{\text{тр}} \cdot V_{\text{тр}}}{1000 \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \quad (5)$$

где f – коэффициент сопротивления движению. Эта величина принимается в зависимости от условий передвижения платформы, например,

- для сухого песка $f = 0,1 \dots 0,3$; для влажного - $0,06 \dots 0,15$;
- для грунтовой дороги $f = 0,025 \dots 0,035$; для влажной - $0,05 \dots 0,18$;
- для укатанного снега $0,03 \dots 0,05$; для рыхлого - $0,1 \dots 0,3$ [5].

Как видим значение коэффициент сопротивления движению изменяется от 0,025 до 0,3, а в среднем составляет 0,16.

$\eta_{тр}$ – механический к.п.д. трансмиссии транспортного средства. $\eta_{тр} = 0,8 \dots 0,9$ [5];

$\eta_{тр}$ – к.п.д. двигателя транспортного средства. Принимается равным 0,96 [5].

$V_{тр}$ – скорость транспортного средства, м/с. Как показывает опыт эксплуатации беспилотных платформ их скорость составляет от 1,5 до 40 км/ч или от 0,4 до 11,1 м/с. Величина скорости определяется по формуле [5]:

$$V_{тр} = \frac{0,105 \cdot n_{э.у.} \cdot r_{в.к(в.з.)}}{i_{тр}}, \quad (6)$$

здесь $n_{э.у.}$ – обороты ведущего вала энергетической установки, об/мин. Для электрических двигателей, применяемых для беспилотных транспортных средств, например, для МУ-30 или МУ-101 эта величина составляет 5600 об/мин [4];

r_k – радиус качения ведущего колеса (ведущей звездочки), м;

$i_{тр}$ – передаточное отношение бортового редуктора привода ведущего колеса или звездочки.

Таким образом задавшись весом груза для платформы и используя зависимости 4 и 3 определяем эксплуатационный вес ТС, а затем по формулам 2 и 1 находим требуемую для привода платформы мощность. Зная мощность транспортного средства из формулы 5 можно найти значение скорости, а используя формулу 6 определить передаточное отношение бортового редуктора и далее перейти к более детальному расчету ходовой части и трансмиссии платформы.

Предложенная методика расчета привода платформы позволяет определить основные показатели трансмиссии и ходовой части беспилотной платформы, что делает возможным дальнейшее проектирование и конструирование беспилотных наземных транспортных средств и роботизированных комплексов.

Список использованных источников

1. Беспилотный автомобильный транспорт. https://www.gtlk.ru/press_room/drone/?ysclid=mlwfnetwgd626748281. (Дата обращения 21.02.2026 г.)
2. Наземные роботы. От забрасываемых систем до безлюдных транспортных колонн (Часть 4). <https://topwar.ru/66993-nazemnye-roboty-ot-zabrasyvaemyh-sistem-do-bezlyudnyh-transportnyh-kolonn-chast-4.html?ysclid=mlwfujnc9a679859216>. (Дата обращения 21.02.2026 г.).
3. В РФ разработали платформу для эвакуации раненых. <https://tass.ru/obschestvo/22625631?ysclid=mlwg0vo9uw53220981>. (Дата обращения 21.02.2026 г.).
4. Моисеев В.С. Силовые установки перспективных беспилотных вертолетов. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. – 284 с.
5. Тракторы и автомобили: Учебник для студентов вузов обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» / В.М. Шарипов, М.К.

Бирюков, Ю.В. Дементьев и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2010. – 351 с.

CALCULATION AND JUSTIFICATION OF THE MAIN INDICATORS OF THE DRIVE OF UNMANNED PLATFORMS

V.V. Salmin, A.V. Korol

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article provides a brief analysis and development trends in the field of unmanned cargo vehicles and platforms, as well as formulas for calculating and justifying the main parameters characterizing the power plant, transmission, and undercarriage required for the drive of the projected unmanned ground vehicle.

Keywords: unmanned ground vehicle, unmanned platform, power, power plant, operational weight, vehicle speed, efficiency.

УДК 62-838

РАСЧЕТ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ ЭЛЕКТРОТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАССА 0,9 ТОННЫ

В.В. Салмин, С.Ж. Кунишов

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье приведены краткие исторические сведения о разработке первых электротракторов в нашей стране. Приведена принципиальная расчетная схема электротрактора, а также дана основная методика расчета беспилотных тракторов с электромеханической трансмиссией. В статье также приведены основные формулы и расчетные показатели, характеризующих технические показатели электротрактора.

Ключевые слова: электротрактор, электромеханическая трансмиссия, мощность, частота вращения, бортовой редуктор, энергетический баланс, трактор, энергетическая установка, эксплуатационный вес, скорость трактора, тяговый коэффициент полезного действия, крюковая сила, сила самопередвижения, сила тяги.

Начало создания первых электрических тракторов в России (в СССР) было положено еще в 30-х годах прошлого столетия, когда ведущие ученые, инженеры и изобретатели Всесоюзного института механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ) создал в 1937 году первую работоспособную

конструкцию гусеничного электротрактора ВИМЭ-2. Первые колесные электротрактора (ЭТК-500 и МЭТ-1) были разработаны в 1945 году. Работы по созданию тракторов на электрической тяге продолжались в СССР до 1957 года. Однако всесторонние испытания и проверки таких тракторов показали, что не только по техническим, но и экономическим показателям применение электротракторов в полеводстве нецелесообразно. Технические проблемы, возникшие на пути внедрения электротрактора, не смогли преодолеть инженеры середины XX века. Тем не менее Челябинским тракторным заводом в 1957 году был разработан промышленный гусеничный дизель-электрический трактор марки ДЭТ250М2 который выпускался до 1965 года [1]. Недостатком таких тракторов была высокая металлоемкость, низкая надежность в эксплуатации и плохая ремонтпригодность. Электротрактора, разработанные в СССР, опередили время на 60 – 70 лет. Но жизнь не стоит на месте, и те преимущества, и достоинства тракторов с электрической трансмиссией, разработанные советскими учеными и инженерами 90 лет назад, реализуются на новом технологическом уровне с использованием современной электроники и элементной базы.

Расчет и обоснование выбора параметров электротрактора проведем на основании уравнения мощностного баланса, составленного исходя из принципиальной схемы трактора тягового класса 0,9 тонны типа Т-40М, но только с гибридной энергетической установкой и электромеханической силовой передачей (см. рис. 1).

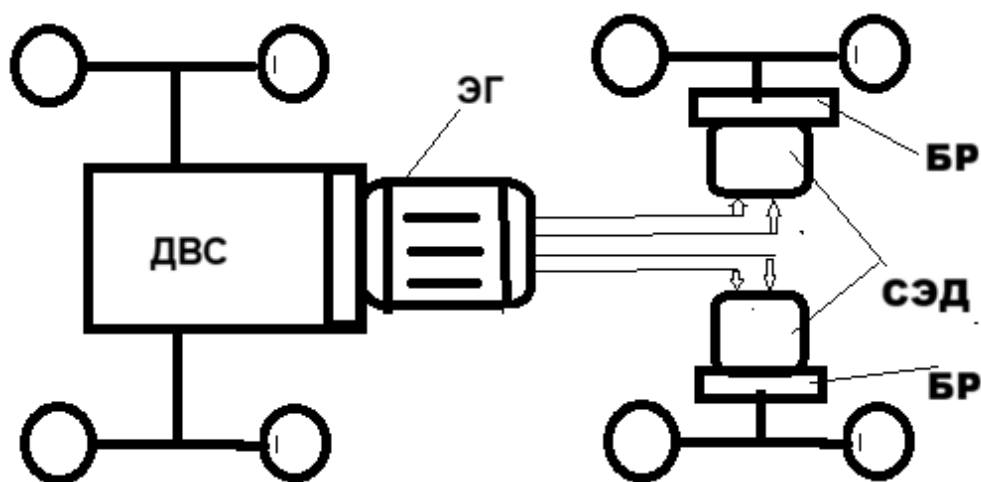


Рисунок 1 – Принципиальная компоновочная схема гибридного колесного трактора с электромеханической трансмиссией, состоящая из:
ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ЭГ – электрогенератора переменного тока; СЭД – силовые электродвигатели; БР – бортовые редукторы

Уравнение мощностной баланс электротрактора будет иметь вид:

$$N_k = N_{\text{эг}} = N_e \cdot \chi = N_{\text{сэд}} + N_{\text{эп}} + N_{\text{бр}}, \quad (1)$$

где N_k – тяговая мощность электротрактора, развиваемая на колесах, кВт;

N_e – эффективная мощность двигателя внутреннего сгорания*, кВт, определяемая по формулам вида [2]:

$$N_e = \frac{M_e \cdot n_e}{9554} = \frac{G_T \cdot H_u \cdot \eta_e}{3600}. \quad (2)$$

здесь M_e – эффективный момент двигателя, Н·м;

n_e – обороты коленчатого вала ДВС, об/мин;

G_t – часовой расход топлива, кг/ч;

H_u – низшая теплота сгорания дизельного топлива, кДж/кг. Эта величина для дизельного топлива равна 41000 ... 43000 кДж/кг [2];

η_e – эффективный к.п.д. двигателя внутреннего сгорания. Для дизельного двигателя эта величина составляет 0,30 ... 0,45 [2].

*Примечание: для ориентировочных расчетов электротрактора будем использовать в качестве прототипа трактор Т-40М, на котором устанавливался дизельный 4-х цилиндровый дизель воздушного охлаждения с эффективной номинальной мощностью 36,8 кВт, эффективным номинальным моментом 195,3 Н·м и номинальной частотой вращения коленчатого вала 1800 об/мин [6].

Показатель мощность, потребляемая электрогенератором ($N_{эг}$) переменного тока от ДВС через муфту сцепления (см. формулу 1), будет определяться по зависимости вида:

$$N_{эг} = N_e \cdot \chi, \quad (3)$$

где χ – коэффициент эксплуатационной загрузки дизель-генератора. Принимаем $\chi = 0,85$.

Мощность силового электродвигателя ($N_{сэд}$) в формуле 1, которая затрачивается на привод колес электротрактора через бортовые редукторы, будет определяться по формулам вида [5]:

$$N_{сэд} = N_{эг} \cdot \eta_{эп} = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi, \quad (4)$$

здесь $\eta_{эп}$ – к.п.д. токоподводящего электропровода;

I – сила тока, А. При мощности силового электродвигателя равной 30 кВт, потребляемая сила тока будет равна 50,65 А.

U – напряжение вырабатываемое генератором, В. $U = 380$ В.

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности, отражающий фазовый сдвиг между током и напряжением в обмотках электродвигателя. Принимаем $\cos \varphi = 0,9$.

Составляющая формулы 1 величина потерь мощности в проводах ($N_{эп}$) будет определяться из зависимости [5]:

$$N_{эп} = I^2 \cdot R, \quad (5)$$

здесь R – электрическое сопротивление токоподводящих проводов, Ом. При передачи электрической энергии от электрогенератора к силовым электродвигателям через медные жилы токопроводов их электрическое сопротивление составит 0,00786 Ом. Величина электропотерь в проводах при этой силе тока в 50,65 А составит примерно 20,2 Вт, что свидетельствует о том, что эти потери энергии не велики и составляют чуть более 0,2%. Расчет показывает, что величиной электропотерь в проводах можно пренебречь и считать мощность $N_{эп} = 0$.

Величина мощность механических потерь ($N_{бр}$) в бортовых редукторах примерно будет составлять 4 ... 8%, что примерно равно 1,2 ... 2,4 кВт. Для большинства тракторов тягового класса 0,9 рекомендуется принимать потери в бортовых редукторах 96% тогда величина мощности механических потерь примем равной 1,2 кВт [6].

Зная величину силы тяги на крюке ($R_{кр}$), которую для электротрактора тягового класса 0,9 тонны можно принять равной 9000 Н эксплуатационный вес электротрактора будет определяться по формуле вида [3]:

$$G_{\text{тр.}} = \frac{P_{\text{кр}}}{\lambda_k \cdot \varphi_k - f}, \quad (6)$$

где f – коэффициент сопротивления качению. Эта величина принимается в зависимости от условий передвижения трактора по грунту, например, для грунтовой дороги $f = 0,025 \dots 0,035$, а для влажной грунтовой дороги он равен $0,05 \dots 0,18$, для залежи или целины $f = 0,06 \dots 0,1$ [3]. Как видим значение коэффициент сопротивления качению при работе трактора изменяется примерно от $0,025$ до $0,18$, что в среднем составляет $0,1$.

λ_k – коэффициент нагрузки ведущих колес. Для тракторов с колесной формулой 4К2 $\lambda_k = 0,75 \dots 0,8$. Принимаем $\lambda_k = 0,8$.

φ_k – коэффициент сцепления колеса с грунтом. Принимаем равным $0,8$.

С учетом принятых величин и применяя формулу 6 для расчета эксплуатационного веса электротрактора получим $G_{\text{тр}} = 16700 \text{ Н}$.

Зная вес трактора и величину крюкового усилия можем найти касательную силу тяги, развиваемую на колесах электротрактора. Она будет равна:

$$P_k = P_{\text{кр}} + f \cdot G_{\text{тр}} = 9000 + 0,1 \cdot 16700 = 10670 \text{ Н}$$

Момент от касательной силы тяги определенный по формуле 7 будет равен:

$$M_k = P_k \cdot r_k = 10670 \cdot 0,768 \approx 8195 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (7)$$

здесь r_k – радиус качения ведущего колеса трактора, м. Принимаем для расчета шины размером 13,6R38 [6]. Расчет показывает, что радиус качения этих шин составляет $r_k = 0,768 \text{ м}$.

При мощности силовых электродвигателей равной 30 кВт (30000 Вт) и используя формулу 8, связывающую функционально частоту вращения колеса (n_k) с моментом (M_k) и мощностью силовых электродвигателей ($N_{\text{сэд}}$) получим:

$$n_k = 9554 \cdot \frac{N_{\text{сэд}}}{M_k} = 9554 \cdot \frac{30}{8195} = 35 \text{ об/мин.} \quad (8)$$

Зная величину оборотов ведомого вала бортового редуктора (частоту вращения колеса) и задавшись скоростью движения электротрактора ($V_{\text{тр}}$) (для трактора Т-40М минимальная скорость движения равна $1,64 \text{ км/ч}$ или $0,455 \text{ м/с}$) при максимальной мощности равной 30 кВт по формуле 9 находим передаточное отношение бортового редуктора (i_p) по формуле [3, 6]:

$$i_p = \frac{0,105 \cdot n_k \cdot r_k \cdot (1 - \delta)}{V_{\text{тр}(min)}} = \frac{0,105 \cdot 35 \cdot 0,768 \cdot (1 - 0,105)}{0,455} \approx 5,55, \quad (9)$$

где δ – коэффициент буксования колес электротрактора.

Для ориентировочных расчетов определение коэффициента буксования трактора можно выполнить по формуле Гинзбурга Б.Я. имеющей вид [7]:

– для колесных тракторов

$$\delta = 0,13 \cdot P + 0,013 \cdot P^8; \quad (10)$$

– для гусеничных тракторов

$$\delta = 0,04 \cdot P + 4 \cdot P^8, \quad (11)$$

здесь P – параметр относительной силы тяги, определяемый по формуле:

$$P = \frac{P_{\text{кр}}}{\varphi_k \cdot \lambda_k \cdot G_{\text{тр}}}. \quad (12)$$

В нашей статье будем использовать для расчета коэффициента буксования формулу профессора Салмина В.В. Эта зависимость имеет вид:

$$\delta \approx 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot P_{кр} + 0,13 \cdot 10^{-6} \cdot P_{кр}^2, \% \quad (13)$$

Используя формулу 13 определим величину коэффициента буксования для электротрактора при $P_{кр} = 9000$ Н. Она равна $\delta = 10,5\%$ или $\delta = 0,105$.

В результате расчета по формуле 9 получим, что при максимальной скорости движения трактора равной 27,1 км/ч или 7,53 м/с, при $\delta \approx 0$ и передаточном отношении бортового редуктора 5,55 частота вращения ведущего вала редуктора, а, следовательно, и максимальная частота вращения ротора силового электродвигателя будет равна:

$$n_d = \frac{V_{тр(max)} \cdot i_p}{0,105 \cdot r_k} = \frac{7,53 \cdot 5,55}{0,105 \cdot 0,768} \approx 518 \frac{об}{мин} \quad (14)$$

Используя формулы 1 – 8, 13, 14 и полученные в ходе расчетов численных значений параметров электротрактора рассчитаем величину его тягового к.п.д. Расчет тягового к.п.д. выполним по формуле вида [3, 5]:

$$\begin{aligned} \eta_{тяг} &= \eta_p \cdot \cos \varphi \cdot \eta_f \cdot \eta_\delta = \eta_p \cdot \cos \varphi \cdot \left(1 - \frac{P_f}{P_{кр} + P_f}\right) \cdot (1 - \delta) = \\ &= 0,96 \cdot 0,9 \cdot \left(1 - \frac{1670}{9000 + 1670}\right) \cdot (1 - 0,105) \approx 0,652. \end{aligned}$$

Используя данные технической характеристики трактора Т-40М определяем, что: к.п.д. трансмиссии трактора Т-40М равен 0,872; к.п.д. буксования при $P_{кр} = 12400$ Н равен 0,719; к.п.д. сопротивления качению при весе трактора 23000 Н равен 0,843. Расчетный тяговый к.п.д. трактора Т-40М равен 0,528. Как видим из приведенных расчетов, электротрактор, с точки зрения технико-экономической эффективности, будет иметь показатель тягового к.п.д. выше чем у трактора Т-40М на 19%. Это свидетельствует о том, что разработка электротрактора, а в перспективе и его перевод в беспилотное управление позволит создать условия для его окупаемости при серийном производстве и снизит затрат на его эксплуатацию на 20 ... 30%.

Список использованных источников

1. Первый советский электротрактор. https://pikabu.ru/story/pervyyiy_sovetskiy_yelektrotraktor_9890765?ysclid=mm0kmyjx6259561446. (Дата обращения 24.02.26 г.).
2. Расчет и проектирование транспортных энергетических установок: учеб. пособие по курсовому проектированию по дисциплине «Энергетические установки автомобилей и тракторов» для специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» / В.В. Салмин, А.П. Жук, К.В. Лебединский – Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. – 148 с.
3. Тракторы и автомобили: Учебник для студентов вузов обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение»/ В.М. Шарипов, М.К. Бирюков, Ю.В. Дементьев и др.; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010. – 351 с.
4. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Теория электропривода. – Минск: Техноперспектива, 2007 – 585 с.
5. Бижаев А.В. Перспективы использования электротракторов малого тягового класса в сельском хозяйстве. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2024. – 38 с.

6. Практическое руководство. Тракторы Т-40М, Т-40АМ, Т-40АНМ. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ПО ЛТЗ. – М.: Машиностроение. 1989. – 351 с.

7. Махмутов М.М., Кондаурова Н.В. Тягово-сцепные свойства колесных машинно-тракторных агрегатов. // Научное обозрение. Технические науки. 2016. № 3. – С. 70-71.

CALCULATION AND JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION OF AN ELECTRIC TRACTOR OF TRACTION CLASS 0.9 TONS

V.V. Salmin, S.J. Kunishov

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article provides brief historical information about the development of the first electric tractors in our country. The basic calculation scheme of the electric tractor is given, as well as the basic calculation method for unmanned tractors with an electromechanical transmission. The article also contains the basic formulas and calculated indicators characterizing the technical characteristics of the electric tractor.

Keywords: electric tractor, electromechanical transmission, power, rotational speed, on-board gearbox, energy balance, tractor, power plant, operating weight, tractor speed, traction efficiency, hook force, self-displacement force, traction force.

УДК 669.017

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ (AL, CR, Y, SI) НА СТРУКТУРУ И КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ НИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.И. Санаев

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова,
г. Новочеркасск, Россия*

Методом вакуумно-дугового осаждения синтезированы нитридные покрытия на основе TiN, легированные алюминием (TiAlN), хромом (TiCrN), иттрием (TiYN) и кремнием (TiSiN). Исследовано влияние типа легирующего элемента на фазовый состав, микроструктуру, механические свойства и коррозионную стойкость в хлоридсодержащих средах. Установлено, что легирование Al и Cr способствует формированию плотной мелкозернистой структуры и повышению твердости до 32-35 ГПа.

Ключевые слова: нитридные покрытия, легирование, TiAlN, TiCrN, TiSiN, коррозионная стойкость, структура, нанотвердость.

Нитрид титана (TiN) является одним из наиболее распространенных материалов для износостойких и декоративных покрытий. Однако его коррозионная стойкость в агрессивных средах ограничена из-за наличия структурных дефектов (капельная фаза, микропоры) и относительно низкой пассивационной способности [1]. Эффективным способом улучшения свойств является легирование TiN различными элементами, которые изменяют электронную структуру, фазовый состав и морфологию покрытия.

Наибольший интерес представляют легирующие добавки:

Алюминий (Al) – образует твердые растворы (Ti,Al)N, повышает твердость и жаростойкость.

Хром (Cr) – способствует формированию плотных оксидных пленок (Cr₂O₃), повышающих коррозионную стойкость.

Кремний (Si) – инициирует формирование нанокompозитной структуры nc-TiN/a-Si₃N₄, резко повышающей твердость.

Иттрий (Y) – редкоземельный элемент, улучшающий адгезию оксидных пленок и пассивацию.

Цель работы – сравнительный анализ влияния этих элементов на комплекс защитных свойств нитридных покрытий.

Материалы и методы

Покрытия осаждались на подложки из нержавеющей стали 12X18H10T и кремниевые пластины методом вакуумно-дугового испарения (установка ННВ-6.6) с использованием составных катодов.

Состав покрытий:

- TiN (базовый состав, эталон).
- Ti_{0.5}Al_{0.5}N (TiAlN).
- Ti_{0.7}Cr_{0.3}N (TiCrN).
- Ti_{0.98}Y_{0.02}N (TiYN).
- Ti_{0.88}Si_{0.12}N (TiSiN).

Все покрытия наносились при температуре 450°C, давление азота 0.3 Па, толщина покрытий 3.5-4.0 мкм.

Методы исследования:

Структура: рентгеноструктурный анализ (Rigaku Ultima IV), просвечивающая электронная микроскопия (JEOL JEM-2100).

Механические свойства: наноиндентирование (Micro Materials NanoTest), скретч-тест (CSM Revetest).

Коррозионные испытания: потенциодинамическая поляризация в 3.5% NaCl, электрохимическая импедансная спектроскопия (EIS) в диапазоне частот 10⁵–10⁻² Гц.

Структура и фазовый состав

Рентгеноструктурный анализ показал, что все покрытия имеют ГЦК-структуру типа NaCl. Параметры решетки и размер кристаллитов представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Структурные характеристики покрытий

Покрытие	Параметр решетки, Å	Размер ОКР, нм	Фазовый состав
TiN	4.242	45	TiN
TiAlN	4.198	28	(Ti,Al)N
TiCrN	4.215	22	(Ti,Cr)N
TiYN	4.251	35	TiN + следы YN
TiSiN	4.230	8-12	nc-TiN + a-Si ₃ N ₄

Легирование алюминием и хромом приводит к уменьшению параметра решетки (Al и Cr имеют меньший атомный радиус, чем Ti) и измельчению зерна. Наибольшее измельчение структуры наблюдается для TiSiN: кремний не растворяется в решетке TiN, а сегрегирует по границам зерен, формируя аморфную прослойку Si₃N₄ толщиной 1-2 монослоя. Это подтверждено данными ПЭМ высокого разрешения [2].

Механические свойства

Результаты механических испытаний приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Механические характеристики покрытий

Покрытие	Твердость H, ГПа	Модуль упругости E, ГПа	H/E	Адгезия Lc2, Н
TiN	22.5 ± 1.5	380 ± 20	0.059	32
TiAlN	32.1 ± 2.0	440 ± 25	0.073	38
TiCrN	28.4 ± 1.8	410 ± 20	0.069	42
TiYN	24.2 ± 1.6	390 ± 20	0.062	55
TiSiN	38.5 ± 2.5	460 ± 30	0.084	28

Максимальную твердость демонстрирует покрытие TiSiN (38.5 ГПа) благодаря механизму зернограницного упрочнения (эффект Холла-Петча для нанокompозитов). Однако высокая твердость сопровождается снижением адгезионной прочности (Lc2 = 28 Н) из-за высоких внутренних напряжений.

Покрытие TiYN, несмотря на умеренную твердость, показало наилучшую адгезию (55 Н), что связано с рафинирующим эффектом иттрия на границе раздела.

Коррозионная стойкость

Потенциодинамические кривые (Рисунок 1 в тексте опущен) демонстрируют существенные различия в электрохимическом поведении покрытий.

Таблица 3 – Электрохимические параметры в 3.5% NaCl

Покрытие	$E_{\text{корр}}$, В (н.х.э.)	$i_{\text{корр}}$, мкА/см ²	$E_{\text{пит}}$, В	R_p , кОм·см ²
Сталь (подложка)	-0.48	8.50	-	1.5
TiN	-0.32	0.85	0.15	45
TiAlN	-0.25	0.40	0.35	120
TiCrN	-0.22	0.18	0.55	280
TiYN	-0.28	0.25	0.40	180
TiSiN	-0.15	0.03	0.50	>500

Наименьший ток коррозии зафиксирован для покрытия TiSiN (0.03 мкА/см²), что на порядок ниже, чем у базового TiN. Это объясняется уникальной структурой нанокompозита: аморфная фаза Si₃N₄ блокирует диффузию электролита по границам зерен, которые в обычных покрытиях являются путями проникновения коррозионной среды.

Покрытие TiCrN показывает наиболее положительный потенциал питтингообразования ($E_{\text{пит}} = 0.55$ В). Это связано с формированием на поверхности пассивной пленки, обогащенной оксидом хрома Cr₂O₃, который обладает высокой стабильностью в хлоридных средах.

TiAlN демонстрирует хорошие, но не рекордные показатели. Алюминий способствует образованию Al₂O₃, который менее стабилен в присутствии хлоридов, чем Cr₂O₃.

Обсуждение механизмов

1) TiCrN: Высокая коррозионная стойкость обусловлена способностью хрома к пассивации. Даже при локальном разрушении покрытия, обогащенный хромом подслой быстро формирует защитную пленку [3].

2) TiSiN: Экстремально низкий ток коррозии достигается за счет структурного фактора – отсутствия сквозных межзеренных границ. Однако высокие внутренние напряжения требуют оптимизации состава для повышения трещиностойкости.

3) TiYN: Иттрий, концентрируясь на границах зерен и в переходном слое, повышает адгезию и замедляет кинетику питтингообразования, но не дает столь выраженного эффекта, как хром или кремний.

4) TiAlN: Оптимальное сочетание твердости и коррозионной стойкости делает это покрытие универсальным для применения в условиях механического износа с умеренным коррозионным воздействием.

Проведённое исследование раскрыло потенциал целенаправленного легирования нитридных покрытий для управления их свойствами. Установлено, что:

- алюминий и хром обеспечивают твёрдорастворное упрочнение (28–32 ГПа) икратно повышают коррозионную стойкость;
- кремний формирует нанокompозитную структуру, достигающую 38,5 ГПа твёрдости и 0,03 мкА/см² тока коррозии;

– хром создаёт устойчивую пассивную плёнку Cr_2O_3 , обеспечивающую высокую питтингостойкость ($E_{\text{пит}} = 0,55 \text{ В}$);

– иттрий улучшает адгезию, что делает его незаменимым в градиентных и многослойных системах [5].

Эти данные обосновывают переход от однокомпонентного легирования к сложным системам типа Ti-Al-Cr-Si-N. Многокомпонентный подход позволяет реализовать синергетический эффект – сочетать механизмы твёрдорастворного упрочнения, нанокompозитной структуры и активной пассивации. Такой подход открывает путь к созданию покрытий с прогнозируемым ресурсом для работы в условиях интенсивного износа и агрессивных сред.

Список использованных источников

1. Andrievski R.A. Nanostructured titanium nitride films: Structure, mechanical and tribological properties // *Physics-Uspekhi*. – 2017. – Vol. 60. – № 3. – P. 276-292.

2. Mayrhofer P.H., Mitterer C. Microstructure and mechanical/thermal properties of Ti-Al-N thin films // *Surface and Coatings Technology*. – 2016. – Vol. 201. – P. 3411-3417.

3. PalDey S., Deevi S.C. Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N: a review // *Materials Science and Engineering A*. – 2013. – Vol. 342. – P. 58-79.

4. Kim G.S., Lee S.Y. Properties of Ti–Cr–N coatings deposited by closed field unbalanced magnetron sputtering // *Surface and Coatings Technology*. – 2016. – Vol. 201. – P. 4361-4366.

5. Vepřek S., Reiprich S. A concept for the design of novel superhard coatings // *Thin Solid Films*. – 2015. – Vol. 268. – P. 64-71.

6. Григорьев С.Н., Табаков В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 2018. – 312 с.

EFFECT OF ALLOYING (Al, Cr, Y, Si) ON THE STRUCTURE AND CORROSION RESISTANCE OF NITRIDE COATINGS

A.I. Sanaev

*M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI),
Novocherkassk, Russia*

Nitride coatings based on TiN, doped with aluminium (TiAlN), chromium (TiCrN), yttrium (TiYN), and silicon (TiSiN), were synthesized by vacuum-arc deposition. The influence of the type of dopant on the phase composition, microstructure, mechanical properties, and corrosion resistance in chloride-containing environments was studied. It was found that doping with Al and Cr promotes the formation of a dense, fine-grained structure and increases the hardness to 32-35 GPa.

Keywords: nitride coatings, alloying, TiAlN, TiCrN, TiSiN, corrosion resistance, structure, and nanohardness.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И КОРРОЗИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОКРЫТИЙ

А.И. Санаев

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

им. М.И. Платова,

г. Новочеркасск, Россия

В работе проведен сравнительный анализ трех типов защитных покрытий, нанесенных на стальную подложку: гальваническое хромовое покрытие, вакуумно-дуговое нитридтитановое (TiN) покрытие и гибридное многослойное покрытие на основе Cr/CrN. Исследованы микроструктура, механические свойства (твердость, модуль упругости, адгезионная прочность) и коррозионная стойкость в среде 3% NaCl и в камере солевого тумана. Установлено, что гибридные покрытия Cr/CrN демонстрируют наилучший комплекс защитных свойств, сочетая высокую твердость (24 ГПа) с минимальным коррозионным током (0.08 мкА/см²). Выявлены корреляционные зависимости между параметрами пористости покрытий и скоростью коррозии.

Ключевые слова: вакуумно-дуговые покрытия, гальваническое хромирование, нитрид титана, CrN, твердость, коррозионная стойкость, поляризационное сопротивление, солевой туман.

Защита металлических изделий от коррозии и механического износа остается одной из ключевых задач современного материаловедения. На сегодняшний день промышленность использует широкий спектр технологий формирования покрытий: от классической гальваники до вакуумных PVD-методов [1]. Каждый из методов имеет свои преимущества и ограничения. Гальванические покрытия (хром, никель) отличаются относительно низкой стоимостью и простотой, но часто уступают по твердости и экологической безопасности [2]. Вакуумные покрытия (TiN, CrN, (TiAl)N) обеспечивают высокую твердость и износостойкость, однако их коррозионная стойкость сильно зависит от дефектности структуры (капельная фаза, сквозные поры) [3].

Цель данной работы - провести комплексное сравнительное исследование трех принципиально разных типов промышленных покрытий для объективной оценки их эксплуатационных параметров и выявления оптимальных областей применения.

Материалы и методы

В качестве подложек использовали образцы из стали 40X (закалка + низкий отпуск, HRC 48-50) размером 30×20×3 мм. Исследовались три типа покрытий:

1. Образец 1 (ГХ): Гальваническое твердое хромовое покрытие (электролит CrO₃ + H₂SO₄), толщина 9-12 мкм.

2. Образец 2 (TiN): Вакуумно-дуговое покрытие нитридом титана (TiN), толщина 4-5 мкм.

3. Образец 3 (Cr/CrN): Многослойное гибридное покрытие, сформированное методом магнетронного распыления (чередование слоев Cr и CrN, общая толщина 6-8 мкм).

Методики анализа:

– Морфология поверхности и поперечных шлифов – РЭМ (Hitachi TM4000).

– Твердость и модуль упругости – наноиндентирование (Nanovea, нагрузка 20 мН).

– Адгезионная прочность – метод царапания (скретч-тестер Revetest, Rockwell C, алмазный индентор).

Коррозионные испытания: потенциодинамическая поляризация (Elins P-45X) в 3% NaCl, а также ускоренные испытания в камере солевого тумана (ASTM B117) в течение 240 часов.

Структурные особенности

РЭМ-анализ поверхности показал принципиальные различия в микроструктуре покрытий. Гальванический хром (ГХ) имел характерную сетку микро-трещин, неизбежно возникающую из-за внутренних напряжений при электроосаждении (ширина раскрытия трещин до 0.3 мкм). Покрытие TiN характеризовалось наличием капельной фазы (дефекты в виде микрокапель расплавленного металла, размером от 1 до 5 мкм), что типично для дуговых методов без сепарации плазмы. Покрытие Cr/CrN, напротив, демонстрировало плотную, беспористую структуру с минимальным количеством поверхностных дефектов благодаря магнетронному методу осаждения [4].

Физико-механические характеристики

Результаты механических испытаний сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Механические свойства исследуемых покрытий

Параметр	Образец 1 (ГХ)	Образец 2 (TiN)	Образец 3 (Cr/CrN)
Толщина, мкм	10.5 ± 1.2	4.8 ± 0.5	7.2 ± 0.8
Нанотвердость (Н), ГПа	9.8 ± 1.1	28.3 ± 2.5	24.1 ± 1.8
Модуль упругости (Е), ГПа	240 ± 20	420 ± 35	310 ± 25
Н/Е (индекс упругой деформации)	0.041	0.067	0.078
Критическая сила адгезии (Lc2), Н	18	32	>50 (отслоения нет)

Максимальную твердость ожидаемо показало покрытие TiN (28.3 ГПа). Однако наилучшее соотношение Н/Е (характеристика износостойкости и трещиностойкости) зафиксировано для гибридного покрытия Cr/CrN. Гальванический хром существенно уступает вакуумным покрытиям по твердости, но имеет

большую толщину, что традиционно ценится в машиностроении для восстановления геометрии деталей.

Адгезионные испытания выявили слабую сторону хромовых покрытий: при нагрузке 18Н наблюдалось хрупкое отслоение по границе покрытие-подложка. Покрытие Cr/CrN, благодаря градиентному переходу (металлический Cr обеспечивает пластичную "подушку"), показало наилучшую адгезию.

Коррозионные свойства

Потенциодинамические испытания показали (Таблица 2), что все покрытия сдвигают потенциал коррозии в положительную область. Однако наиболее эффективным барьером является покрытие Cr/CrN. Ток коррозии ($i_{\text{корр}}$) для Cr/CrN минимален и составляет 0.08 мкА/см².

Таблица 2 – Электрохимические параметры в среде 3% NaCl

Параметр	Сталь 40X (без покрытия)	Образец 1 (ГХ)	Образец 2 (TiN)	Образец 3 (Cr/CrN)
$E_{\text{корр}}$, В (н.х.э.)	-0.52	-0.41	-0.30	-0.18
$i_{\text{корр}}$, мкА/см ²	15.0	2.8	0.45	0.08
Поляризац. сопротивле- ние R_p , кОм·см ²	1.8	8.5	52	>300

Низкая коррозионная стойкость гальванического хрома объясняется наличием сквозной пористости (сетки трещин), через которую электролит быстро достигает подложки, вызывая подпленочную коррозию. Для покрытия TiN коррозия локализуется вокруг капельной фазы, где нарушена стехиометрия и возникают микротрещины [5].

Испытания в камере солевого тумана подтвердили электрохимические данные:

- ГХ: Первые очаги коррозии (рыжие точки) появились через 24 часа.
- TiN: Локальная коррозия по точкам капельной фазы зафиксирована через 96 часов.
- Cr/CrN: Изменений на поверхности не обнаружено после 240 часов испытаний.

Обсуждение результатов (Корреляционный анализ)

Сравнительный анализ позволяет установить прямую корреляцию между дефектностью структуры и коррозионной стойкостью.

Влияние пористости: Гальванический хром, несмотря на большую толщину, имеет высокую эффективную пористость из-за трещин. Это сводит на нет его барьерные функции.

Роль твердости: Высокая твердость TiN не гарантирует коррозионной стойкости, если не решена проблема капельной фазы.

Синергизм свойств: Покрытие Cr/CrN демонстрирует синергетический эффект: плотная структура блокирует коррозию, а высокое отношение Н/Е обеспечивает механическую надежность этого барьера.

Таким образом, результаты сравнительного анализа показывают, что каждый из рассмотренных типов покрытий имеет чётко выраженные области применения. TiN с твёрдостью 28,3 ГПа оптимально подходит для защиты от абразивного износа. Многослойные покрытия Cr/CrN превосходят остальные по коррозионной стойкости ($i_{\text{корр}}=0,08$ мкА/см², стойкость в солевом тумане >240 ч) благодаря субмикроструктурной структуре без сквозных дефектов.

Гальванический хром остаётся востребованным в восстановительных ремонтах за счёт возможности нанесения толстых слоёв и экономической эффективности, несмотря на более низкие удельные показатели твёрдости и коррозионной устойчивости.

Для комплексной защиты в агрессивных средах с высокими нагрузками предпочтительны многослойные вакуумные покрытия Cr/CrN. Их структура обеспечивает баланс между механической прочностью и коррозионной стойкостью.

Перспективным направлением дальнейших исследований станет оценка поведения покрытий при совместном коррозионно-механическом воздействии, включая коррозию под напряжением и фреттинг-коррозию.

Список использованных источников

1. Ажогин Ф.Ф., Белов В.Н. Коррозионностойкие покрытия. Энциклопедия технологий. – М.: Машиностроение, 2019. – 456 с.
2. Лайнер В.И. Защитные покрытия металлов. – М.: Металлургия, 2018. – 358 с.
3. Panjan P., Drnovšek A., Gselman P. et al. Review of growth defects in thin films prepared by PVD techniques // Coatings. – 2020. – Vol. 10. – № 5. – P. 447-456.
4. Fenker M., Balzer M., Kappl H. Corrosion behaviour of PVD-coated steels // Corrosion Science. – 2016. – Vol. 48. – P. 2357-2370.
5. ASTM B117-19. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. – ASTM International, 2019.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICAL-MECHANICAL AND CORROSION PARAMETERS OF VARIOUS TYPES OF COATINGS

A.I. Sanaev

*M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI),
Novocherkassk, Russia*

This paper presents a comparative analysis of three types of protective coatings applied to a steel substrate: a galvanic chromium coating, a vacuum-arc titanium nitride (TiN) coating, and a hybrid multilayer Cr/CrN coating. The microstructure, mechanical properties (hardness, elastic modulus, adhesion strength), and corrosion resistance in a

3% NaCl environment and in a salt spray chamber were studied. It was found that hybrid Cr/CrN coatings exhibit the best combination of protective properties, combining high hardness (24 GPa) with minimal corrosion current ($0.08 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). Correlations were identified between the coating porosity parameters and the corrosion rate.

Keywords: vacuum arc coatings, galvanic chromium plating, titanium nitride, CrN, hardness, corrosion resistance, polarization resistance, salt fog.

УДК 631.15.01

НАЗЕМНЫЕ БЕСПИЛОТНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА, СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Д.П. Сигаков

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

В данной статье анализируется развитие беспилотных наземных транспортных средств в России и раскрываются общие характеристики беспилотных наземных транспортных средств, разрабатываемых в России и за рубежом для наземного использования в народном хозяйстве. Особое внимание будет уделено перспективам развития беспилотных транспортных средств в грузовых перевозках и проблемам использования беспилотных грузовых транспортных средств в Российской Федерации.

Ключевые слова: беспилотные наземные транспортные средства, автономный транспорт, беспилотное транспортное средство, грузовые перевозки.

В России, как и в других странах, ведется активная работа по разработке и совершенствованию беспилотных транспортных средств. Развитие автомобильного транспорта было бы невозможно без использования современных информационных технологий. Наиболее актуальное направление на сегодняшний день в транспортной сфере является изучение использования и развития беспилотных наземных транспортных средств (БТС). Примером современных технологий является создание и совершенствование беспилотных автомобилей.

Беспилотный автомобиль – это вид транспорта, основанный на автономной системе управления. Отличительная черта такого транспортного средства заключается в том, что он эксплуатируется без участия водителя. Эти транспортные средства имеют встроенными навигационными системами и датчики, которые позволяют ему самостоятельно ориентироваться на дороге и рассчитывать точный маршрут, по которому необходимо будет совершать движения. Лазерные датчики помогают автомобилю ориентироваться на местности и уметь распознавать другие транспортные средства.

В последние годы многие крупные государственные и частные компании уделяют большое внимание разработке систем автопилота на основе

спутниковой навигации. Организации, занимающиеся разработкой таких систем, включают в себя:

1. Технологические и автомобильные гиганты: Tesla, Waymo (Google), Baidu, Яндекс, Uber, NVIDIA;
2. Производители автомобилей: General Motors (Super Cruise), Ford (Blue-Cruise), Mercedes-Benz, КАМАЗ, Volvo Trucks.
3. Беспилотные летательные аппараты и БПЛА: Кронштадт, Алмазное НПО, SkyDrop, Amazon Prime Air.

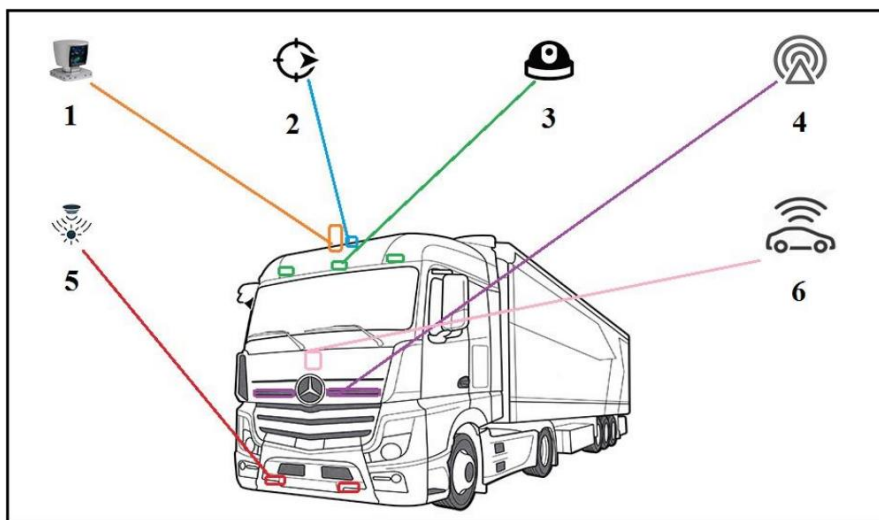


*Рисунок 1 – Системы, управляющие беспилотным транспортным средством:
1 – Лидар, 2 – приемник GPS / ГЛОНАСС, 3 – видеокамеры, 4 – радар,
5 – сонар, 6 – технология Vehicle-to-everything*

Беспилотные автомобили в данное время находятся на стадии тестирования. Однако некоторые компании добились определенных успехов и уже используют эту технологию для перевозки грузов. В 2025-2026 годах рынок беспилотных грузовых перевозок перейдет в фазу коммерческого использования на ключевых магистралях.

В России лидером является компания ПЭК, которая выполняет ежедневные рейсы из Москвы в Санкт-Петербург (М-11) на тягачах КАМАЗ-54901 и активно развивает маршрут М-12 "Восток" в Казань. Подобные перевозки автомобилями КАМАЗ-54901 с использованием программного обеспечения Сберавто-теха осуществляет логистический сервис Globaltruck, который обеспечивает круглосуточную доставку коммерческих грузов между двумя столицами. Крупные магазины, такие как Магнит и X5 Group, также включили беспилотные решения в свои цепочки поставок, используя автономные грузовики на базе площадок КАМАЗ и Навио для перевозки грузов между распределительными центрами на маршруте Москва-Казань. В добывающей промышленности "Газпром-нефть-Снабжение" применяет беспилотные тягачи КАМАЗ для работы в экстремальных условиях на месторождениях Ямало-Ненецкого автономного округа.

Следует также отметить, что беспилотные грузовики КАМАЗ могут работать круглосуточно, а что самое интересное без отдыха водителя, это позволит сократить сроки доставки и увеличить объем перевозимых грузов. В результате можно сказать, что беспилотные грузовики КАМАЗ способны весомо изменить логистические процессы в нашей стране и повысить эффективность Российской транспортной системы.

К 2026 году Aurora Innovation станет крупным игроком в Соединенных Штатах, работая с FedEx и Uber Freight над запуском полностью автономных рейсов без участия водителя на автономных буксирах Volvo VNL по маршруту Даллас-Хьюстон. Другой крупный разработчик, Kodiak Robotics, вместе с логистическим гигантом Maersk и IKEA использует грузовики PACCAR (Kenworth) для регулярных перевозок по автомагистралям Техаса и Оклахомы. Компания Gatik расширила проект в партнерстве с торговой сетью Walmart, используя фургоны для доставки товаров со складов в магазины в Арканзасе и Техасе. В Европе и Соединенных Штатах шведская молодая фирма Einride представил свои электромобили Einride Pod без кабин для устройств GE и Oatly, чтобы обеспечить короткие логистические интервалы в закрытых районах и прилегающих дорогах общего пользования [1].

Я считаю, что беспилотные тягачи - это будущее грузовых перевозок. По мнению экспертов, они позволят снизить стоимость дорог, повысить безопасность дорожного движения и продлить срок службы транспортных средств. Беспилотный грузовик будет самостоятельно ориентировать и регулировать маршрут. Водитель будет следить за безопасностью поездки, он будет контролировать транспортное средство, но не будет управлять им. Беспилотному грузовику также понадобится специальный полуприцеп. Он будет оснащен камерами, лидаром и датчиками заднего вида.

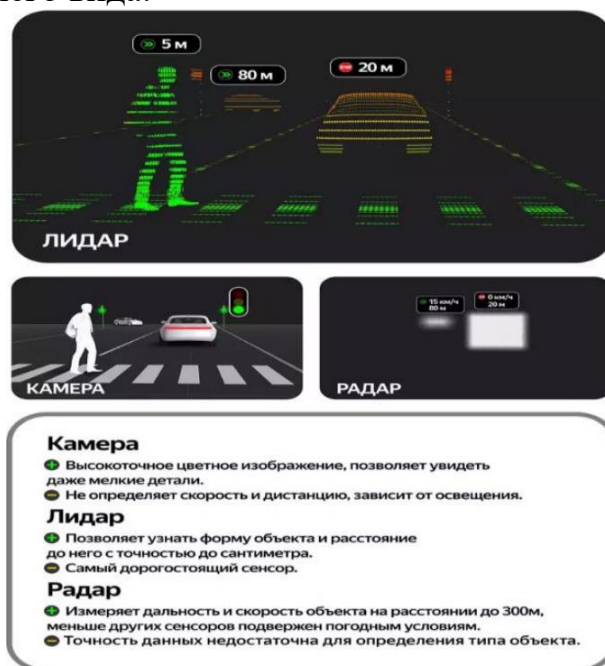


Рисунок 2 – Работа датчиков на беспилотном транспортном средстве

Создание беспилотного транспортного средства – один из самых интересных инженерных проектов начала 21 века. Но зачем нам нужны беспилотные грузовики? По данным центра безопасного дорожного движения, 85% дорожно-транспортных происшествий вызваны человеческим фактором. Разработчики считают, что запуск беспилотных грузовиков улучшит ситуацию и уменьшит количество аварий на дорогах, а также увеличит срок службы транспортных средств. В том числе использование беспилотных транспортных средств позволит решить проблему засыпания водителей за рулем во время дальних поездок. Mercedes-Benz Future Truck 2025 – это беспилотный грузовик, разработанный компанией Mercedes-Benz для повышения эффективности и безопасности грузовых перевозок. Благодаря современным технологиям и системам грузовик будущего 2025 года способен развивать скорость до 85 км/ч на дороге без водителя. Грузовик оснащен системой автопилота, которая позволяет определять расстояние до других транспортных средств и осуществлять контроль за скоростью движения. Благодаря использованию беспроводных датчиков и камер система автопилота способна обрабатывать данные в режиме реального времени, обеспечивая безопасность во время движения по дороге [2].

1 сентября 2025 года вступил в силу новый федеральный закон, регулирующий эксплуатацию автоматических транспортных средств. Можно сказать, что в настоящее время в Российской Федерации формируется хороший фундамент, с которого в ближайшее время начнется полноценное внедрение высокотехнологичный наземных грузовых перевозок и дальнейшее развитие необходимой транспортной структуры. Если говорить о развитии транспортной инфраструктуры, то сложно не упомянуть транспортную стратегию Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. В рамках этой методики было организовано и реализовано множество проектов, в том числе строительство и реконструкция Невской трассы М-11, где в настоящее время ведутся активные испытания автономных грузовых транспортных средств.

Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. №490 утверждена – "Национальная стратегия развития Российской Федерации".

Развитие искусственного интеллекта на период до 2030 года". В пункте 13 говорится: "Российская Федерация обладает значительным потенциалом стать одной из ведущих международных компаний в области разработки и использования технологий искусственного интеллекта".

Методика представила новое определение "искусственного интеллекта", которое в настоящее время используется в программах, устанавливающих экспериментальное правовое регулирование: программа экспериментального правового управления цифровых инноваций для эксплуатации автоматических транспортных средств, связанная с реализацией инициативы "Беспилотные логистические коридоры". Именно технология искусственного интеллекта позволяет автоматизировать автомобиль до высокого уровня. Исходя из этого, было введено еще одно новое определение – "высокоавтоматизированное транспортное средство" (ВАТС).

Регулирование ВАТС во многих вопросах относится к государственно-правовому регулированию. Проект Федерального закона "О высокоавтоматизированных транспортных средствах и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" носит рамочный характер и практически не может применяться без принятия отдельных законодательных актов.

Программа предлагает управление высокоавтоматизированными транспортными средствами двух категорий: категория 1 - ВАТС, которая работает с водителем-испытателем, и категория 2 - ВАТС, которая работает с инженером-испытателем.

В феврале 2024 года Министерство транспорта РФ закончило работу над проектом Федерального закона о ВАТС. Новый проект более точно отвечает на вопрос о распределении ответственности за аварии с беспилотным транспортным средством.

Фраза, использованная в проекте, соответствует пункту 1 статьи 1079 "Ответственность за ущерб, причиненный деятельностью, представляющей повышенную опасность для других" Гражданского кодекса Российской Федерации. Вопрос кибербезопасности остается открытым.

ВАТС постоянно собирает всю информацию о маршруте, которую могут получить злоумышленники, а затем нарушает ВАТС, нанося ущерб пешеходам или другим транспортным средствам. Виды, меры, основания, условия и процедуры применения ответственности за правонарушения, связанные с использованием высокоавтоматизированных транспортных средств, должны быть добавлены в Уголовный кодекс. Также необходимо дополнить трудовое законодательство новыми статьями о взаимодействии искусственного интеллекта и водителей [3].

На это тоже следует обратить внимание, что существует несколько проблем, связанных с использованием автономного грузового транспорта для доставки:

1. Информационная безопасность.

Поскольку автономные грузовики работают на программном обеспечении, их программное обеспечение легко взломать, что может привести к срыву доставки, например, к изменению конечного пункта назначения.

2. Состояние дорог в РФ.

Существующая дорожная сеть еще не адаптирована для самостоятельного вождения транспортных средств, поэтому риск несчастных случаев высок. Даже если программное обеспечение установлено на грузовике, оно не может предотвратить все опасные ситуации на дороге.

3. Юридическая и финансовая ответственность.

Существующие ответственности основаны на том, что транспортными средствами управляют водители, которые, в свою очередь, могут нести ответственность в случае аварии. Вопрос об ответственности важен для будущей автономии, поскольку и регулирующие органы, и граждане нуждаются в гарантиях того, что виновная сторона будет привлечена к ответственности в случае необходимости.

4. Критические дорожные ситуации.

Автономный грузовик не может обеспечить такой же уровень контроля и реагирования на ситуацию, как человек. Например, если вам необходимо отклониться от маршрута из-за стихийных бедствий, водитель грузовика может переправить транспортное средство по альтернативному маршруту, чтобы доставить его к месту назначения. Но это невозможно, если использовать автономный грузовик с программным обеспечением, которое определяет движение по маршруту с точными координатами.

5. Взаимодействие с людьми на дорогах.

По данным Государственной инспекции безопасности дорожного движения Российской Федерации, в 2025 году было совершено 128 000 дорожно-транспортных происшествий, в результате которых 13 900 человек погибли и 158 000 получили ранения. Присутствие роботов на дороге, без пешеходов и других живых водителей, создало бы идеальные условия для перехода на полностью автономные транспортные средства, что исключило бы человеческий фактор при управлении транспортным средством [4].

Список использованных источников

1. Коляда Н.Ю., Петренко А.А. Перспективы развития беспилотного автомобильного транспорта в сфере грузовых перевозок. – 2020. – № 2 (17). – С. 14.
2. Копаев Е.В, Шоронов А.Н. Перспективы развития беспилотных грузовых перевозок. 2023. статья в сборнике трудов конференции Студенческая наука – 2023. – с. 209-212.
3. Макаров Д.И. Современное состояние правового регулирования беспилотных грузовых перевозок наземным транспортом в Российской Федерации. Научный вестник Государственного научно-исследовательского института гражданской авиации – 2024. – № 1 (24). – С. 63-67.
4. Богович Д.О., Колесников А.Г. Проблемы использования беспилотных грузовых транспортных средств в российской федерации. 2022. статья в сборнике трудов конференции Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. С. 8-10.

GROUND UNMANNED VEHICLES, SYSTEMS, AND COMPLEXES

D.P. Sigakov

*Ufa University of Science and Technologies,
Ufa, Russia*

This article analyzes the development of unmanned ground vehicles in Russia and presents a general overview of unmanned ground transport systems developed in Russia and abroad for use on land in the national economy. Special attention is given to the prospects for the development of unmanned automotive transport in the field of

freight transportation, as well as to the challenges of using unmanned freight vehicles in the Russian Federation.

Keywords: unmanned ground vehicles, autonomous transport, unmanned vehicle, freight transportation.

УДК 621.315.2:621.3.019

ОНЛАЙН-ДИАГНОСТИКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 500 кВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Р.А. Ситдиков, Д.К. Зарипов

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассмотрены современные подходы к диагностике кабельных линий напряжением 500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена в процессе эксплуатации. Проанализированы механизмы деградации изоляции, физическая природа частичных разрядов и методы их регистрации. Представлена концепция построения системы онлайн-мониторинга на основе высокочастотных методов измерения и цифровой обработки сигналов. Обоснована целесообразность перехода к эксплуатации по техническому состоянию для объектов магистральных электрических сетей и гидроэнергетики.

Ключевые слова: кабельная линия 500 кВ, СПЭ-изоляция, частичные разряды, онлайн-мониторинг, цифровая обработка сигналов, локализация дефектов, предиктивное обслуживание.

Современное развитие магистральных электрических сетей сопровождается активным внедрением кабельных линий сверхвысокого напряжения 500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Такие линии постепенно заменяют маслонаполненные кабели благодаря более высоким диэлектрическим характеристикам, увеличенной пропускной способности, отсутствию маслохозяйства и повышенной экологической безопасности. Однако полимерная изоляция не обладает способностью к самовосстановлению после локальных электрических повреждений, что существенно повышает требования к системе эксплуатационной диагностики.

Основным механизмом деградации изоляции из сшитого полиэтилена являются частичные разряды, возникающие в микрополостях, зонах ослабленного контакта экранов и дефектах кабельной арматуры. В условиях рабочего напряжения в области локальной неоднородности происходит усиление электрического поля, что приводит к развитию локального разрядного процесса. Каждый импульс частичного разряда сопровождается переносом заряда, локальным нагревом, воздействием ультрафиолетового излучения и химическими

изменениями материала. Накопительный эффект этих воздействий вызывает образование проводящих каналов в толще изоляции и постепенное формирование электрических трингов, которые в конечном итоге приводят к пробое кабеля.

Для обеспечения надежности эксплуатации кабельных линий 500 кВ в современных условиях применяется концепция непрерывного онлайн-мониторинга частичных разрядов. В отличие от традиционных испытаний повышенным напряжением, требующих отключения линии, онлайн-диагностика позволяет осуществлять контроль непосредственно в процессе эксплуатации. Это особенно важно для объектов гидроэнергетики и узлов выдачи мощности, где отключение линии связано с существенными экономическими потерями.

Наиболее распространенным методом регистрации частичных разрядов является электрический способ с использованием высокочастотных трансформаторов тока, устанавливаемых на заземляющих проводниках экранов кабеля. Такой подход обеспечивает неинвазивный съем сигнала без нарушения схемы электропитания. Импульсы частичных разрядов распространяются по жиле и экрану кабеля в виде высокочастотных электромагнитных волн, что позволяет регистрировать их на концах линии.

Синхронная регистрация сигналов на противоположных концах кабельной линии дает возможность определить координату дефекта по разности времени прихода импульсов. При достаточной частоте дискретизации и корректной синхронизации измерительных модулей точность локализации составляет единицы метров, что обеспечивает практическую применимость метода при планировании ремонтных мероприятий.

Существенной особенностью работы системы онлайн-мониторинга является необходимость эффективного подавления электромагнитных помех. В условиях промышленной площадки на сигналы накладываются коммутационные импульсы, коронные разряды и фоновые шумы. Для выделения полезной информации применяются алгоритмы цифровой обработки сигналов, включающие полосовую фильтрацию в высокочастотном диапазоне, адаптивное пороговое детектирование и анализ огибающей импульсов. Дополнительную информативность обеспечивает построение фазо-разрешенных диаграмм распределения импульсов, позволяющих различать внутренние, поверхностные и коронные разряды по характеру их проявления относительно фазы напряжения.

Современные системы диагностики интегрируются с программными платформами промышленного мониторинга и поддерживают автоматический анализ накопленных данных. На основе извлеченных временных, частотных и статистических характеристик импульсов реализуются алгоритмы машинного обучения, позволяющие классифицировать тип дефекта и оценивать степень его опасности. Применение ансамблевых методов повышает устойчивость распознавания и снижает вероятность ошибочной интерпретации шумовых сигналов.

Имитационное моделирование процессов распространения импульсов частичных разрядов в кабельной линии 500 кВ подтверждает возможность устойчивой локализации дефектов даже при наличии отражений от концевых муфт и частотного затухания сигнала. Использование цифровых моделей на этапе

проектирования системы мониторинга позволяет оптимизировать выбор полосы частот, чувствительности датчиков и алгоритмов обработки данных.

Экономический эффект внедрения системы онлайн-диагностики обусловлен снижением риска аварийных отключений и переходом к обслуживанию по техническому состоянию. Предотвращение пробоя кабельной линии сверхвысокого напряжения позволяет минимизировать внеплановые простои, сократить затраты на восстановительные работы и повысить общую надежность энергосистемы. Особенно актуально это для крупных генерирующих объектов, где кабельные линии являются ключевым элементом схемы выдачи мощности.

Таким образом, диагностика кабельных линий 500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена в процессе эксплуатации должна базироваться на комплексном подходе, сочетающем высокочастотные методы регистрации частичных разрядов, цифровую обработку сигналов и интеллектуальный анализ данных. Внедрение систем онлайн-мониторинга обеспечивает переход от планово-предупредительной модели обслуживания к предиктивной стратегии эксплуатации, что соответствует современным требованиям к надежности и эффективности магистральных электрических сетей.

Список использованных источников

1. Непомнящий В.А., Савченко А.В., Шабанов В.Ф. Диагностика высоковольтных кабельных линий. – Москва: Энергоатомиздат, 2019. – 312 с.
2. Овсянников А.Г., Лапшин А.А. Особенности эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 110–500 кВ // Электрические станции. – 2021. – № 5. – С. 42–48.
3. Gulski E. Digital Analysis of Partial Discharges. – Delft: Delft University Press, 2018. – 285 p.
4. Кустов Д.В. Методы регистрации и анализа частичных разрядов в кабельных линиях высокого напряжения // Электроэнергетика. – 2022. – № 3. – С. 15–23.
5. Коржов А.В., Дубяго М.Н., Алуюнов А.Н. Математическое моделирование процессов распространения импульсов в силовых кабельных линиях // Известия вузов. Электромеханика. – 2020. – № 6. – С. 58–66.

ONLINE DIAGNOSTICS OF 500 kV CABLE LINES WITH CROSS-LINKED POLYETHYLENE INSULATION UNDER OPERATING CONDITIONS

R.A. Sitdikov, D.K. Zaripov

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation*

The article examines modern approaches to the diagnostics of 500 kV cable lines with cross-linked polyethylene (XLPE) insulation under operating conditions. The

mechanisms of insulation degradation, the physical nature of partial discharges, and methods for their detection are analyzed. The concept of an online monitoring system based on high-frequency measurement techniques and digital signal processing is presented. The feasibility of transitioning to condition-based maintenance for backbone power grids and hydropower facilities is substantiated.

Keywords: 500 kV cable line, XLPE insulation, partial discharges, online monitoring, digital signal processing, defect localization, predictive maintenance.

УДК 621.833.6

РАЗРАБОТКА ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО БЛОКА ДЛЯ ПЕРЕНОСНОГО ПРИТИРОЧНО-ДОВОДОЧНОГО СТАНКА

В.А. Скрыбин, С.А. Гусев

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье представлена разработанная конструкция планетарного механизма инструментального блока переносного притирочно-доводочного станка. Приведено подробное описание кинематической схемы с неподвижным солнечным колесом, вращающимся водилом и тремя сателлитами, несущими притиры. Даны позиционные обозначения элементов механизма и их геометрические параметры: модуль зацепления $m = 7$ мм, число зубьев солнечного колеса $Z_s = 64$, сателлитов $Z_p = 22$, диаметры делительных окружностей 448 мм и 154 мм соответственно, диаметр водила по осям сателлитов 602 мм, частота вращения водила $n_h = 30$ об/мин. Выведены аналитические зависимости для определения частот вращения инструментов, а также соотношения для расчёта мощности резания. Предложенная конструкция обеспечивает принудительное и стабильное вращение притиров, исключая их самоторможение, характерное для существующих схем со свободным вращением.

Ключевые слова: планетарный механизм, инструментальный блок, притир, кинематическая схема, передаточное отношение, метод Виллиса, абразивная доводка.

Введение

Одним из основных направлений совершенствования процессов финишной обработки уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной аппаратуры является повышение стабильности кинематических параметров оборудования. В ранее разработанных конструкциях переносных притирочно-доводочных станков вращение инструментальных головок (притиров) вокруг собственных осей осуществляется пассивно, за счёт сил трения, возникающих при контакте с обрабатываемой поверхностью [1, 2]. Такой подход обладает существенным

недостатком: при изменении условий обработки (усилия прижима, скорости вращения блока, состояния абразива) возможно самоторможение притиров, что приводит к неоднородной обработке, появлению волнообразности поверхности и повышенному износу инструмента.

Для устранения указанных недостатков предлагается модернизация кинематической схемы путём введения планетарной зубчатой передачи, обеспечивающей принудительное вращение каждого притира с заданной кинематикой независимо от внешних условий.

Цель настоящей работы – детальное описание разработанной конструкции планетарного механизма инструментального блока с конкретными геометрическими и кинематическими параметрами, вывод расчётных зависимостей для определения частот вращения и силовых параметров, а также графическое представление схемы с позиционными обозначениями элементов.

1. Конструкция планетарного механизма

Разработанный планетарный механизм (рис.1) встраивается в инструментальный блок переносного станка и состоит из следующих основных элементов:

Поз. 1 – Солнечное колесо. Неподвижно закреплено относительно корпуса станка посредством фланца с крепёжными отверстиями. Имеет внешнее зубчатое зацепление с модулем $m = 7$ мм, числом зубьев $Z_s = 64$ и делительным диаметром $d_s = 448$ мм.

Поз. 2 – Водило. Вращающийся элемент, получающий движение непосредственно от привода станка с частотой вращения $n_h = 30$ об/мин. Водило выполнено в виде двухщёчной конструкции с центральной ступицей, имеющей шпоночный паз для соединения с ведущим валом. Диаметр расположения осей сателлитов составляет $D_{вод} = 602$ мм.

Поз. 3 – Сателлиты. Три зубчатых колеса, установленных на осях водила посредством подшипников и находящихся в зацеплении с неподвижным солнечным колесом. Каждый сателлит имеет модуль $m = 7$ мм, число зубьев $Z_p = 22$ и делительный диаметр $d_p = 154$ мм.

Поз. 4 – Притиры. Инструменты для абразивной доводки, жёстко закреплённые на валах сателлитов. Наружный диаметр притиров составляет 110–130 мм, толщина диска – 20–30 мм. Притиры вращаются вместе с сателлитами с частотой n_p .

Поз. 5 – Оси сателлитов. Цилиндрические пальцы диаметром 50–60 мм, закреплённые в отверстиях щёк водила и обеспечивающие вращение сателлитов на подшипниках.

Поз. 6 – Подшипниковые опоры. Обеспечивают вращение водила и сателлитов с минимальным трением.

Поз. 7 – Корпус блока(условно не показан).

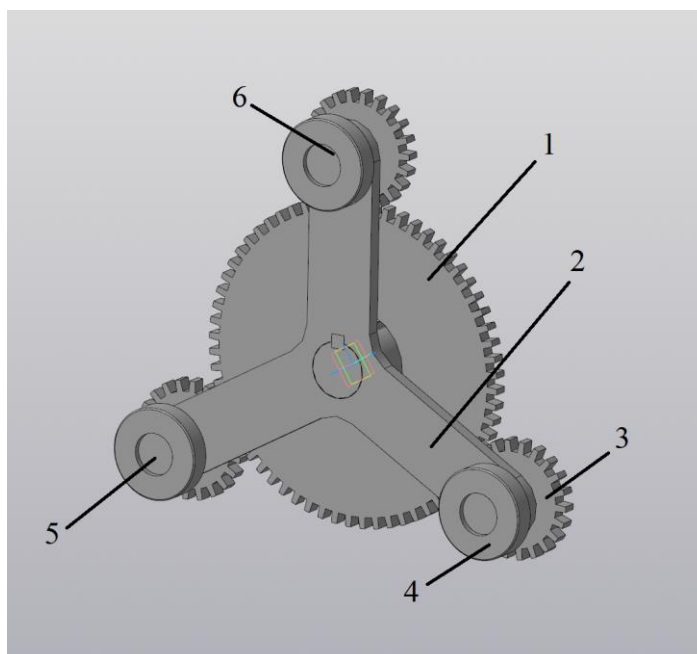


Рисунок 1 – Пространственная модель планетарного механизма инструментального блока: 1 – солнечное колесо; 2 – водило; 3 – сателлиты; 4 – притиры; 5 – оси сателлитов; 6 – подшипники

Принцип работы механизма заключается в следующем. Вращение от привода передаётся на водило 2. Установленные на водиле сателлиты 3 обкатываются по неподвижному солнечному колесу 1. В результате сложения двух движений – переносного (вместе с водилом) и относительного (вокруг собственной оси) – сателлиты, а вместе с ними и притиры 4, совершают принудительное вращение с кинематически заданной частотой.

2. Кинематический анализ

Для расчёта частоты вращения притиров относительно обрабатываемой детали воспользуемся методом Виллиса, применяемым для анализа планетарных механизмов. Формула Виллиса связывает угловые скорости звеньев через числа зубьев колес:

$$(n_p - n_h) / (n_s - n_h) = - Z_s / Z_p, \quad (1)$$

где n_p – частота вращения сателлита (притира), об/мин;

n_h – частота вращения водила, об/мин (в разработанной конструкции $n_h = 30$ об/мин);

n_s – частота вращения солнечного колеса, об/мин;

Z_s – число зубьев солнечного колеса ($Z_s = 64$);

Z_p – число зубьев сателлита ($Z_p = 22$).

В разработанной конструкции солнечное колесо является неподвижным, т.е. $n_s = 0$. Подставляя это условие в (1), получаем:

$$(n_p - n_h) / (0 - n_h) = - 64 / 22. \quad (2)$$

Преобразуем выражение:

$$(n_p - n_h) / (-n_h) = - 2,909. \quad (3)$$

Умножая обе части на $(-n_h)$:

$$N_p - n_h = n_h \cdot 2,909. \quad (4)$$

Отсюда определяем частоту вращения притира:

$$N_p = n_h \cdot (1 + 2,909) = n_h \cdot 3,909. \quad (5)$$

Подставляя $n_h = 30$ об/мин, получаем:

$$n_p = 30 \cdot 3,909 = 117,27 \text{ об/мин.}$$

Таким образом, передаточное отношение от водила к притиру составляет:

$$U = n_p / n_h = 1 + Z_s / Z_p = 1 + 64/22 = 3,909. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что частота вращения притира почти в 4 раза превышает частоту вращения водила и может регулироваться подбором чисел зубьев солнечного колеса и сателлитов.

3. Определение линейных скоростей

Для оценки режимных параметров процесса резания необходимо знать линейную скорость перемещения притира относительно обрабатываемой поверхности. Как показано в работе [3], линейная скорость VC в точке приложения равнодействующей силы резания определяется по теореме о сложении скоростей при плоском движении:

$$VC = \omega_1 \cdot OA - \omega_2 \cdot AC, \quad (7)$$

где ω_1 – угловая скорость вращения водила, рад/с;

ω_2 – угловая скорость вращения притира вокруг собственной оси, рад/с;

OA – расстояние от центра вращения блока до оси притира (средний радиус расположения), м (в разработанной конструкции $OA = R_{cp} = 0,301$ м);

AC – расстояние от оси притира до средней линии кольцевой поверхности, м.

В разработанной конструкции центр притира совмещён со средней линией обрабатываемой кольцевой поверхности, следовательно $AC = 0$. Тогда выражение (7) упрощается:

$$VC = \omega_1 \cdot OA. \quad (8)$$

Учитывая, что $\omega_1 = \pi \cdot n_h / 30$, а $n_h = 30$ об/мин, получаем:

$$\omega_1 = (3,14 \cdot 30) / 30 = 3,14 \text{ рад/с.}$$

Тогда линейная скорость обработки составит:

$$VC = 3,14 \cdot 0,301 = 0,945 \text{ м/с.}$$

В общем виде:

$$VC = (\pi \cdot n_h \cdot R_{cp}) / 30. \quad (9)$$

Данная зависимость показывает, что линейная скорость обработки в предлагаемой схеме определяется исключительно частотой вращения водила и геометрией расположения инструментов, что обеспечивает ее стабильность и предсказуемость. Полученное значение $VC=0,945$ м/с находится в рекомендованном диапазоне для чистовой доводки (0,2–0,5 м/с) и черновой (0,4–2,0 м/с) [4], что подтверждает корректность выбранных параметров.

4. Силовые параметры процесса

Мощность, затрачиваемая на процесс резания при абразивной доводке, может быть определена по формуле:

$$N_{рез} = n \cdot R_p \cdot VC, \quad (10)$$

где n – количество одновременно работающих притиров (в разработанной конструкции $n = 3$);

R_p – результирующая сила резания, действующая на один притир, Н;

VC – линейная скорость обработки, м/с ($VC = 0,945$ м/с).

Сила резания, в свою очередь, связана с усилием прижима притира зависимостью [3]:

$$R_p = f \cdot F_{\text{пр}}, \quad (11)$$

где f – коэффициент трения в паре инструмент–деталь (для условий абразивной доводки $f = 0,1 \dots 0,4$); $F_{\text{пр}}$ – сила прижима притира к обрабатываемой поверхности, Н.

Подставляя (9) и (11) в (10), получаем выражение для мощности резания через регулируемые параметры:

$$N_{\text{рез}} = n \cdot f \cdot F_{\text{пр}} \cdot (\pi \cdot n_h \cdot R_{\text{сп}}) / 30. \quad (12)$$

Для разработанной конструкции при средних значениях $f = 0,25$ и $F_{\text{пр}} = 100$ Н мощность резания составит:

$$N_{\text{рез}} = 3 \cdot 0,25 \cdot 100 \cdot 0,945 = 70,9 \text{ Вт.}$$

Мощность привода станка должна быть не ниже полученного значения $N_{\text{рез}}$, т.е. выполняется условие:

$$N_{\text{прив}} \geq N_{\text{рез}}. \quad (13)$$

5. Преимущества разработанной схемы

Предложенная конструкция планетарного механизма инструментального блока обладает следующими преимуществами по сравнению с существующими аналогами:

Принудительное вращение притиров. Вращение каждого инструмента осуществляется за счёт кинематической связи с приводом, а не за счёт сил трения. Это полностью исключает явление самоторможения при изменении условий обработки.

Стабильность кинематики. Частота вращения притиров ($n_p = 117,27$ об/мин) жёстко связана с частотой вращения водила ($n_h = 30$ об/мин) через передаточное отношение $u = 3,909$ и не зависит от колебаний коэффициента трения, усилия прижима или состояния абразива.

Возможность точного расчёта. Наличие аналитических зависимостей (6), (9) и (12) позволяет на этапе проектирования обоснованно выбирать кинематические и силовые параметры, гарантирующие достижение требуемого качества обработки.

Компактность. Использование планетарной схемы позволяет получить требуемое сложное движение инструментов без применения индивидуальных приводов, что особенно важно для переносного оборудования с ограниченными массогабаритными характеристиками.

Заключение

В результате выполненной работы разработана конструкция планетарного механизма инструментального блока для переносного притирочно– доводочного станка. Основные результаты могут быть сформулированы следующим образом:

Предложена кинематическая схема с неподвижным солнечным колесом, вращающимся водилом и тремя сателлитами, несущими притиры. Схема обеспечивает принудительное вращение каждого инструмента с заданной частотой.

Определены конкретные геометрические параметры механизма: модуль зацепления $m = 7$ мм, число зубьев солнечного колеса $Z_s = 64$, сателлитов $Z_p =$

22, делительные диаметры 448 мм и 154 мм соответственно, диаметр водила по осям сателлитов 602 мм, частота вращения водила $n_h = 30$ об/мин.

Получены аналитические зависимости (6), связывающие частоты вращения элементов механизма через числа зубьев, что позволило рассчитать частоту вращения притиров $n_p = 117,27$ об/мин и передаточное отношение $u = 3,909$.

Получены соотношения (9) и (12) для определения линейной скорости обработки ($V_C = 0,945$ м/с) и мощности резания через регулируемые параметры, что подтверждает работоспособность предложенной схемы.

Разработана пространственная модель механизма (рис. 1), наглядно демонстрирующая его конструктивное исполнение и взаимное расположение элементов.

Дальнейшие исследования будут направлены на экспериментальную проверку эффективности предложенной конструкции и уточнение математических моделей процесса абразивной доводки.

Список использованных источников

1. Скрябин В.А., Павлова Ж.В. Модернизация переносного станка для шлифования и притирки уплотнительных поверхностей затворов задвижек трубопроводной арматуры // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2015. – № 2. – С. 8–13.

2. Скрябин В.А. Этапы обработки при восстановлении запорных деталей трубопроводной арматуры // Вестник Мордовского университета. – 2016. – Т. 26. – № 2. – С. 228–244.

3. Определение режимных параметров при восстановлении или изготовлении деталей трубопроводной арматуры / В.А. Скрябин, Н.В. Сорокина, С.А. Гусев // Вестник Пензенского государственного университета. – 2024. – № 4. – С. 45–52.

4. Орлов П.Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. – Москва: Машиностроение, 1988. – 384 с.

5. Схиртладзе А.Г., Скрябин В.А., Борискин В.П. Технологическое оборудование машиностроительных производств. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 548 с.

DEVELOPMENT OF A PLANETARY MECHANISM OF AN INSTRUMENT UNIT FOR A PORTABLE GRINDING AND SHARPENING MACHINE

V.A. Skryabin, S.A. Gusev

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article presents the developed design of the planetary mechanism of the tool block of a portable lapping and honing machine. It provides a detailed description of the kinematic scheme with a fixed sun wheel, a rotating carrier, and three satellites carrying laps. The positional designations of the mechanism elements and their

geometric parameters are given: the gear module $m = 7$ mm, the number of teeth of the sun wheel $Z_s = 64$, the number of satellites $Z_p = 22$, the diameters of the dividing circles 448 mm and 154 mm, respectively, the diameter of the carrier along the axes of the satellites 602 mm, and the rotational speed of the carrier $n_h = 30$ rpm. Analytical dependencies are derived for determining the rotational speeds of the tools, as well as the ratios for calculating the cutting power. The proposed design provides forced and stable rotation of the laps, eliminating their self-locking, which is typical for existing schemes with free rotation.

Keywords: planetary mechanism, tool block, lapping, kinematic scheme, gear ratio, Willis method, and abrasive finishing.

УДК 621.983

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

С.А. Смирнов

*Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия*

Статья посвящена анализу факторов, определяющих предельные возможности операции вытяжки листовых материалов. Рассмотрено влияние механических свойств штампуемого материала, геометрических параметров заготовки и рабочего инструмента, условий контактного взаимодействия, а также режимов прижима фланца на величину предельного коэффициента вытяжки. Особое внимание уделено методам расширения технологических возможностей формоизменения.

Ключевые слова: глубокая вытяжка, предельный коэффициент вытяжки, многооперационная вытяжка, относительная толщина заготовки, листовая штамповка.

Механические свойства штампуемого материала оказывают первостепенное влияние на величину предельного коэффициента вытяжки [1-6]. Высокие значения показателя деформационного упрочнения способствуют более равномерному распределению деформации по стенке изделия и отдаляют момент локализации, что позволяет реализовать более глубокую вытяжку. Не менее значимым является коэффициент нормальной пластической анизотропии, характеризующий отношение деформации по ширине к деформации по толщине при одноосном растяжении. Материалы с высоким значением этого параметра обладают повышенным сопротивлением утонению в опасном сечении и одновременно легче деформируются в плоскости листа, что создаёт благоприятные условия для глубокой вытяжки.

Относительная толщина заготовки, выражаемая отношением толщины листа к диаметру заготовки, является существенным геометрическим фактором. При увеличении относительной толщины несущая способность опасного сечения возрастает, а сопротивление фланца деформированию относительно снижается, что обуславливает уменьшение предельного коэффициента вытяжки, то есть расширение технологических возможностей процесса. Для тонких заготовок, напротив, вероятность потери устойчивости и складкообразования во фланце существенно возрастает, что требует применения прижима и вносит дополнительное сопротивление за счёт сил трения между заготовкой и прижимным кольцом. Геометрия рабочего инструмента вносит значительный вклад в формирование силовых условий процесса. Радиус закругления кромки матрицы определяет угол перегиба заготовки при её втягивании, а следовательно, и величину усилия изгиба с последующим спрямлением, входящего составной частью в общее усилие вытяжки. При чрезмерно малом радиусе матрицы указанная составляющая резко возрастает, что приближает напряжение в опасном сечении к критическому значению. Вместе с тем чрезмерно большой радиус матрицы увеличивает неприжатую зону фланца и может провоцировать складкообразование. Радиус закругления пуансона непосредственно определяет условия напряжённо-деформированного состояния в опасном сечении: при малых радиусах возникает концентрация напряжений, способствующая преждевременному разрушению. Условия трения на контактных поверхностях играют двойственную роль. На фланце и на кромке матрицы трение препятствует втягиванию материала и, следовательно, увеличивает нагрузку на опасное сечение, что ухудшает условия вытяжки. Напротив, трение между пуансоном и заготовкой способствует более равномерному распределению растягивающих напряжений по стенке и разгружает опасное сечение, поскольку часть усилия передаётся не через дно, а через боковую поверхность.

Усилие прижима фланца также оказывает существенное влияние. Недостаточное усилие прижима не предотвращает складкообразование, что делает процесс нереализуемым. Избыточное усилие прижима создаёт чрезмерные силы трения, увеличивающие нагрузку на опасное сечение и приводящие к разрыву. Оптимальное усилие прижима должно быть достаточным для подавления потери устойчивости фланца, но не более того, и в общем случае оно изменяется в ходе процесса, что обосновывает применение прижимов с управляемым усилием. Одним из классических и наиболее эффективных способов увеличения суммарной степени деформации является многооперационная вытяжка с промежуточным рекристаллизационным отжигом. В процессе первой операции вытяжки материал подвергается значительному деформационному упрочнению, вследствие чего его пластический ресурс исчерпывается. Проведение отжига восстанавливает исходную структуру и пластичность, что позволяет на последующей операции вновь реализовать значительную деформацию. Таким образом, хотя предельный коэффициент вытяжки на каждой отдельной операции остаётся ограниченным, суммарная степень формоизменения может быть весьма значительной. Температурное воздействие на заготовку представляет собой ещё один мощный

инструмент повышения предельного коэффициента вытяжки. Суть метода состоит в дифференцированном нагреве: фланцевая часть заготовки нагревается, что снижает сопротивление деформации в этой зоне, тогда как зона опасного сечения и дно охлаждаются, что сохраняет или даже повышает их прочность. В результате такого перераспределения температурного поля баланс сил смещается в благоприятную сторону, и предельный коэффициент вытяжки существенно уменьшается. Применение противодавления со стороны дна, реализуемого, например, через гидравлическую среду, позволяет создать в зоне опасного сечения дополнительное сжимающее гидростатическое давление, которое повышает пластичность материала и отодвигает момент разрушения. Гидромеханическая вытяжка, при которой заготовка обтягивается по пуансону давлением жидкости, обеспечивает не только превосходное качество поверхности, но и существенное расширение предельных возможностей формоизменения за счёт благоприятной схемы напряжённого состояния и высокого трения между заготовкой и пуансоном. Оптимизация геометрических параметров инструмента также является практически значимым направлением. Выбор рационального радиуса закругления матрицы, а также обеспечение надлежащего радиуса пуансона позволяют минимизировать непроизводительные затраты усилия и снизить напряжённость опасного сечения. Применение конических матриц вместо традиционных с тороидальной кромкой в ряде случаев дополнительно улучшает условия вытягивания фланца. Совершенствование условий трения путём использования современных технологических смазочных материалов, полимерных плёнок и покрытий инструмента обеспечивает существенное снижение потерь на трение в зоне фланца и на кромке матрицы. Наряду с этим повышение шероховатости рабочей поверхности пуансона или нанесение на него специальных покрытий, увеличивающих сцепление с заготовкой, позволяет реализовать благоприятный эффект «активного трения».

Список использованных источников

1. Левачева, Д.А. Решение задачи объемной штамповки биметаллических заготовок / Д.А. Левачева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 1. – С. 633-637. – EDN DOJPSV.
2. Галкин, Ю.С. Исследование влияния коэффициента трения на напряженно-деформированное состояние при комбинированной вытяжке-отбортовке / Ю.С. Галкин, С.С. Яковлев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 10. – С. 385-389.
3. Мосягин, И.В. снижение энергопотребления кузнечно-штамповочных цехов / И.В. Мосягин, Е.М. Чунаева // Евразийское пространство: экономика, право, общество. – 2025. – № 11. – С. 204-206. – EDN PAMFRO.
4. Гребенщиков, И.В. Разработка программного обеспечения для подбора смазочно-охлаждающей жидкости штампового производства / И.В. Гребенщиков // Евразийское пространство: экономика, право, общество. – 2025. – № 11. – С. 202-203. – EDN QVHKLE.

5. Галкин, Ю.С. Напряженное и деформированное состояние при комбинировании операций вытяжки и отбортовки / Ю.С. Галкин, Д.И. Кондаков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 1. – С. 645-648. – EDN JRYIOD.

6. Веткова, В.Ю. Теоретические и практические аспекты рационального выбора технологических смазочных материалов для процессов обработки металлов давлением / В.Ю. Веткова, Е.М. Чунаева // Евразийское пространство: экономика, право, общество. – 2025. – № 12. – С. 317-319. – EDN JTUCTR.

ON THE ISSUE OF INCREASING THE MAXIMUM PERMISSIBLE DEGREE OF DEFORMATION DURING DEEP DRAWING OF SHEET BLANKS

S.A. Smirnov

*Tula State University,
Tula, Russia*

The article is devoted to the analysis of the factors determining the limiting possibilities of the sheet material extraction operation. The influence of the mechanical properties of the stamped material, the geometric parameters of the workpiece and the working tool, the conditions of contact interaction, as well as the clamping modes of the flange on the value of the limiting coefficient of extraction is considered. Special attention is paid to the methods of expanding the technological possibilities of shaping.

Keywords: deep drawing, limiting coefficient of extraction, multioperative drawing, relative thickness of the workpiece, sheet stamping.

УДК 629.113

УЛУЧШЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ АВТОМОБИЛЯ LADA VESTA ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ ПОЛНОПРИВОДНОЙ ТРАНСМИССИИ

К.Д. Советов, К.В. Лебединский

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье приведен анализ необходимости и возможности создания полноприводной Lada Vesta. Рассматриваются рыночные причины (спрос, отсутствие конкурентов) и технические аспекты проблемы. Сделаны выводы о востребованности и наличии инженерных решений по созданию полноприводной Lada Vesta, но текущая платформа не позволяет установить полный привод без кардинальной переделки автомобиля.

Ключевые слова: Lada Vesta, комфорт, безопасность, доступная цена, современный и технологичный автомобиль, полный привод.

Несмотря на то, что Lada Vesta изначально позиционируется как бюджетный переднеприводный седан или универсал, идея создания ее полноприводной версии давно обсуждается как среди автолюбителей, так и среди экспертов рынка.

Актуальность данной разработки продиктована тремя основными факторами: импортозамещением, расширением модельного ряда и высоким спросом на «вседорожные» версии в России.

В классе бюджетных полноприводных универсалов (или лифтбеков) на российском рынке сейчас образовался дефицит. Уход иностранных конкурентов (например, Skoda Octavia Scout или подобных моделей) освободил место, которое может занять отечественный производитель.

Климатические и дорожные условия РФ: Россия – страна с суровыми зимами, снежными заносами и большим количеством грунтовых дорог. Полный привод (4WD) значительно повышает безопасность и уверенность водителя в межсезонье и зимой. Создание полноприводной «Весты» сделало бы автомобиль более адаптированным к реалиям эксплуатации в регионах.

Автовладельцы в России доверяют Lada и хотят видеть современный, технологичный, но при этом доступный автомобиль повышенной проходимости. Разработка такой трансмиссии удержала бы покупателей от перехода на подержанные иномарки.

Необходимость продиктована не просто желанием сделать «внедорожник», а конкретными преимуществами, которые это даст. Расширение функциональности (Универсал Vesta SW). На данный момент существует универсал Lada Vesta SW (Sport Wagon) – это красивый и вместительный автомобиль, но он существует только в переднеприводном варианте (или с псевдодорожным клиренсом в версии Cross, но привод по-прежнему на передние колеса). Проблема: выезжая на природу, рыбалку или в деревню по раскисшей грязи, высокого клиренса часто недостаточно – нужна тяга на всех колесах.

Внутри модельного ряда АвтоВАЗа есть легендарная Niva (4x4), но она морально устарела. Полноприводная Vesta могла бы стать более современной, комфортной и безопасной альтернативой для тех, кому не нужна жесткая рамная конструкция, но нужен полный привод на каждый день.

Разработка собственной полноприводной трансмиссии (или адаптация существующих решений) снижает зависимость от иностранных поставщиков и позволяет создать продукт, который не уйдет с рынка в случае санкций.

С точки зрения инженерии и конечного потребителя, необходимость есть, хотя она сопряжена с трудностями.

Современная платформа Lada Vesta (Lada B/C) изначально проектировалась с учетом возможности установки полного привода (например, на заводских прототипах Vesta 4x4 существовали).

Многие владельцы Vesta "тюнингуют" свои машины самостоятельно (устанавливают пневмоподвеску, меняют прошивки), пытаясь повысить проходимость.

Техническая реализация полного привода на Lada Vesta – это сложная инженерная задача, которая требует глубокой переработки конструкции автомобиля. Несмотря на многолетние слухи и ожидания, заводской версии Lada Vesta 4x4 не существует, и официальный производитель не планирует ее выпуск. Однако технические специалисты и энтузиасты прорабатывали различные варианты создания такой модификации. Текущая платформа автомобиля не предусматривает установку полноприводной трансмиссии. Ключевые ограничения связаны с:

а) конфигурацией пола кузова: в нем попросту нет технологических ниш и креплений, для размещения раздаточной коробки и карданного вала;

б) компоновкой агрегатов: бензобак, топливные магистрали, выпускная система и элементы подвески занимают пространство, необходимое для трансмиссионных валов;

в) задней подвеской: штатная полузависимая балка конструктивно несовместима с установкой заднего редуктора и приводных валов.

Из-за этих ограничений создание полноприводной версии на существующей платформе потребовало бы настолько серьезных изменений, что, по сути, привело бы к созданию совершенно нового автомобиля.

Несмотря на заводские ограничения, существуют проработанные концепции и экспериментальные разработки того, как могла бы выглядеть полноприводная трансмиссия для Vesta.

Наиболее реалистичным вариантом для Vesta считается схема с подключаемым полным приводом (Part-Time 4WD). В обычных условиях крутящий момент передается только на передние колеса, а задняя ось подключается автоматически при пробуксовке или принудительно водителем.

Для создания полноприводной трансмиссии потребуется установка следующих основных узлов:

а) раздаточная коробка: интегрируется с коробкой передач и содержит цепную передачу для отбора мощности на задний мост;

б) карданный вал: двухсекционный вал с промежуточной опорой, передающий вращение на заднюю ось;

в) задний редуктор с муфтой подключения: электронно-управляемая многодисковая муфта (аналогичная Haldex), которая автоматически подключает задние колеса при пробуксовке передних, перераспределяя момент в пропорции вплоть до 50:50. Время срабатывания такой системы составляет 0.1-0.3 секунды;

г) задняя подвеска: требуется полная замена штатной балки на независимую многорычажную конструкцию, способную вместить редуктор и приводные валы. Это влечет за собой изменение точек крепления подвески к кузову;

д) двигатель: в качестве силового агрегата для полноприводной версии рассматривался 1.8-литровый бензиновый двигатель ВАЗ-21179 мощностью 122 л.с. и крутящим моментом 170 Н×м. Этого мотора достаточно, чтобы обеспечить автомобилю приемлемую динамику с учетом возросшей массы трансмиссии. В более смелых концепциях обсуждалась даже установка турбированного двигателя.

Помимо классической механической схемы, инженеры и энтузиасты предлагали и более экзотические, но потенциально более простые в реализации способы сделать Vesta полноприводной.

Гидрообъемный привод: французская компания Poclain Hydraulics предлагала систему, где вместо карданного вала и редуктора используются гидронасос и гидромотор. Такая схема исключает необходимость в жесткой механической связи между осями. «АвтоВАЗ» даже тестировал эту технологию на автомобилях Renault Logan и Sandero в 2016 году, но до серийного производства дело не дошло.

Электрический привод задней оси (e-4WD): Тольяттинская фирма «Супер Авто» разрабатывала комплект для переделки, который предполагал установку на заднюю ось компактного электромотора. Он активировался бы на малых скоростях для помощи при трогании на скользкой дороге или легком бездорожье. Это решение было бы значительно дешевле и проще в интеграции, так как не требовало изменений в трансмиссии, но также не получило развития.

Таким образом, технический аспект создания полноприводной Lada Vesta характеризуется парадоксом: с одной стороны, это востребованная и технически реализуемая задача, о чем свидетельствуют многочисленные концепты и разработки. С другой стороны, официальный производитель последовательно отвергает такую возможность, указывая на фундаментальные ограничения платформы, заложенные на этапе проектирования. Создание Vesta 4x4 потребовало бы столь глубокой модернизации, что это фактически означало бы разработку нового автомобиля, что на данный момент не входит в планы «АвтоВАЗа».

Разработка полноприводной трансмиссии для Lada Vesta – это объективная необходимость для завоевания новой доли рынка. Такой автомобиль позволил бы закрыть потребности огромной аудитории водителей, которым нужен современный и комфортный кузов, высокая проходимость, доступная цена. Это логичный шаг эволюции модели, который сделал бы «Весту» по-настоящему народным автомобилем для всей страны.

Список использованных источников

1. ПАО «АВТОВАЗ» Руководство по эксплуатации Lada Vesta (технические характеристики, особенности платформы). – [Электронный ресурс]. – https://static.lada.ru/files/manuals/lada_vesta_re_26_02_2024.pdf
2. Технические характеристики Lada Vesta SW Cross (клиренс, подвеска, проходимость). – [Электронный ресурс]. – <https://www.pro-lada.ru/lada-vesta-sw-cross/characteristics/>
3. Технические характеристики Lada Vesta седан (двигатели, трансмиссия, платформа). – [Электронный носитель]. – <https://www.pro-lada.ru/lada-vesta-sedan/characteristics/>
4. Обзор рынка: Lada Vesta и конкурентная среда, анализ спроса и цен. – [Электронный носитель]. – <https://avto-dny.ru/test-drayvy/21523-obzor-rynka-lada-vesta-i-26ee-konkurentov-ceny-harakteristiki-oborudovanie-avtonovosti.html>

5. Анализ технических ограничений платформы Lada Vesta для установки полного привода. – [Электронный носитель]. – <https://m.ok.ru/group/70000001593487/topic/158695450862991>

6. Модернизация Lada Vesta в 2026 году, планы АвтоВАЗа. – [Электронный носитель]. – <https://auto.mail.ru/article/116888-lada-vesta-proshla-modernizatsiyu-podrobnosti-obo-vseh-izmeneniyah-dlya-2026-goda/>

IMPROVING THE LADA VESTA'S OFF-ROAD CAPABILITY BY DEVELOPING AN ALL-WHEELD TRANSMISSION

K.D. Sovetov, K.V. Lebedinsky

*Penza State University,
Penza, Russia*

This article analyzes the need and feasibility of creating an all-wheel-drive Lada Vesta. Market factors (demand, lack of competition) and technical aspects of the problem are considered. Conclusions are drawn regarding the demand and availability of engineering solutions for creating an all-wheel-drive Lada Vesta, but the current platform does not allow for the installation of all-wheel drive without a complete redesign of the vehicle.

Keywords: Lada Vesta, comfort, safety, affordable price, modern and technologically advanced vehicle, all-wheel drive.

УДК 004.94

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИТ-ПРОЕКТА ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В УГЛЕДОБЫВАЮЩЕМ РЕГИОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

А.Ю. Соколова, А.А. Куприянова, С.А. Новоселов

*Кемеровский государственный университет,
г. Кемерово, Россия*

Проведена оценка экономической эффективности инвестиционного проекта, связанного с поддержкой решений в сфере рекультивации земель, выходящих из обращения в угледобывающем регионе. Для получения удовлетворительных показателей рентабельности проекта, имеющего существенную ИТ-составляющую в виде программного обеспечения компьютерного зрения, осуществлен ряд вычислительных экспериментов с использованием автоматизированного финансово-аналитического программного комплекса и представлены их результаты.

Ключевые слова: регион, рекультивация земель, компьютерное зрение, инвестиционный проект, оценка экономической эффективности.

Добыча угля в регионе открытым способом приводит к значительному ущербу окружающей среде, включая разрушение почвенного покрова, загрязнение воздуха пылью и выбросами вредных веществ, изменение ландшафта и ухудшение качества жизни местного населения. Для восстановления нарушенных земель активно применяется их рекультивация путем посадки саженцев хвойных деревьев, что требует постоянного мониторинга роста саженцев, особенно на территориях с интенсивной добычей полезных ископаемых [1]. Современные информационные системы, связанные с компьютерным зрением, играют важную роль в решении экологических проблем в целом и рекультивации земель, в частности, что делает актуальной тему данной работы. Традиционные, ручные методы мониторинга связаны со значительными временными и трудовыми затратами, так как специалисты вынуждены лично визуально оценивать состояние каждого сеянца и фиксировать наличие дефектов их роста. Однако, в условиях развития цифровых технологий, решение данной задачи упрощается путем применения методов компьютерного зрения и дистанционного наблюдения. Установка камер и анализ получаемых изображений позволяют автоматизировать процесс определения различных дефектов при автоматической посадке сеянцев хвойных деревьев. Целью работы является применение программно-аналитического инструментария для автоматизированной оценки проекта по трем экономическим показателям – чистой приведенной стоимости (NPV), периода окупаемости (PP) и внутренней нормы рентабельности (IRR).

Таблица 1 – Техничко-экономические характеристики инвестиционного проекта

Проект «Мониторинг роста саженцев»		
	Показатель	Значение
	Стоимость комплекта основных производственных фондов (ОПФ) – компьютер, БПЛА, программное обеспечение и пр., руб.	100000
	Цена единицы услуги (в год), руб.	138000
	Срок службы ОПФ, лет	5
	Производительность, услуг в год	1-3-5
	Стоимостная оценка спроса, руб.	10000000
	Трудоемкость, доля общепроизводственных затрат	0.5
	Материалоемкость, доля общепроизводственных затрат	0.2

Оценка эффективности услуги автоматизированного мониторинга роста саженцев может быть осуществлена с помощью программно-аналитического инструментария, содержащего оптимизационную математическую модель ИТ-проектов [2], алгоритмы расчета [3] и пакет прикладных программ, описанный в работе [4].

Перечисленный набор инструментов соответствует потребностям проводимого инвестиционного анализа, требующим выявления экономического потенциала региональных проектов для обоснованного принятия инвестиционных решений. В таблице ниже приведены другие, экспертно полученные, рыночные и технико-экономические характеристики рассматриваемого инвестиционного проекта.

При анализе данного проекта рассматривались следующие сценарии. В первом предполагалось, что на услугу мониторинга роста саженцев будет претендовать один заказчик по цене 11,5 тыс. рублей в месяц или 138 тыс. рублей в год, во втором сценарии – три заказчика, а в третьем – пять. Количество заказчиков, таким образом, соответствует такой характеристике ОПФ, как производительность. Результаты вычислительных экспериментов приведены ниже на рисунках 1, 2.

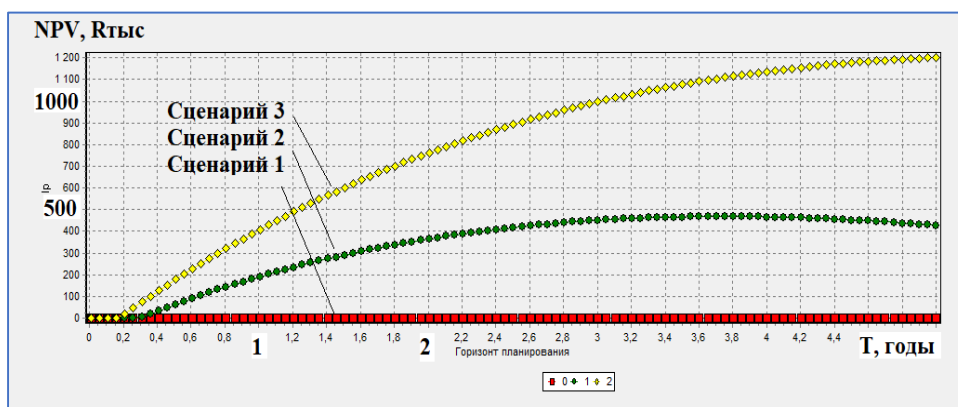


Рисунок 1 – Зависимости $NPV(T)$

На рисунке 1 представлены зависимости NPV проекта от горизонта планирования T в трех рассматриваемых сценариях, иллюстрирующих жизненный цикл, период окупаемости, инвестиционный потенциал (максимальное значение NPV) проектов, а также ряд других важных показателей, интересующих инвестиционных аналитиков, например, таких показателей внутренней среды проекта, как зарплатоемкость и материалоемкость [5]. Как можно видеть из рисунка 1, рассматриваемый проект в сценарии 1 полностью неэффективен на любом горизонте планирования T, а в сценариях 2 и 3 NPV достигает максимумов при $T \approx 3,7$ года и $T = 5$ лет соответственно.

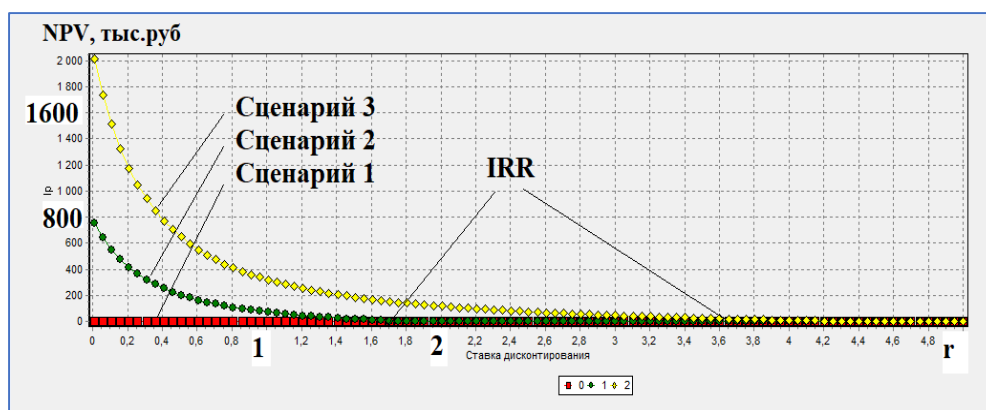


Рисунок 2 – Зависимости $NPV(r)$

На рисунке 2 представлены зависимости NPV проекта от ставки его дисконтирования, позволяющие оценить значения внутренней нормы рентабельности (IRR), а также влияние на эффективность проектов форм их финансирования – собственного или заемного. Из представленной на рисунках информации лицо, принимающее инвестиционные решения, может сделать вывод о целесообразности или нецелесообразности инвестирования в данный проект. В таблице 2 сведены результаты оценки эффективности проекта по трем независимым показателям NPV, PP и IRR в рассмотренных сценариях реализации проекта.

Таблица 2 – Результаты оценки эффективности проекта

Сценарий / показатель	NPV, тыс. руб.	PP, мес	IRR, %
1	0	∞	0
2	≈ 480	≈ 3	≈ 170
3	≈ 1200	≈ 2	≈ 360

В данной таблице результаты оценки приведены приблизительно, так как она осуществлялась визуально, по приведенным на рисунках 1,2 зависимостям. Между тем, возможности используемого финансово-аналитического программного комплекса [5] позволяют уточнить полученные значения, уменьшив погрешность их визуального определения.

Таким образом, можно констатировать, что в автоматизированного комплекса инструментов позволяет осуществлять эффективный оптимизационный анализ функционирования инвестиционных проектов ИТ-содержания, а инвестиционный аналитик может научно обосновать свои инвестиционные, производственные, маркетинговые и другие решения относительно при оперативной эколого-экономической оценке [6] проектов развития территорий.

Список использованных источников

1. Зеньков И.В. Космические технологии в оценке производственного потенциала горных работ и экологического состояния нарушенных земель угольными разрезами Кемеровской области / И.В. Зеньков, И.А. Ганиева, А.С. Морин [и др.] // Экология и промышленность России. – 2018. – Т.22, №2. – С.28-33. EDN: YOSRZI.
2. Медведев А.В. Оптимизационная модель оценки экономической эффективности информационно-технологических проектов // Научное обозрение. Технические науки. – 2023. – №2. – С.16-21. – DOI 10.17513/srts.1428. EDN: ETZSSQ.
3. Медведев А.В. Оптимизационное планирование проектов функционирования экономических систем с заемным финансированием деятельности производителя // Фундаментальные исследования. – 2016. – №9-2. – С.273-278. EDN: WKTYIV
4. Медведев А.В. Поддержка принятия решений при управлении экономикой региона. Монография. – Кемерово: КемГУ, 2011. – 105 с.

5. Соколова А.Ю. Автоматизированный сравнительный анализ информационно-технологических проектов по показателям зарплатоемкости и материалоемкости / А.Ю. Соколова, Т.А. Чернышов, М.А. Арсланов // Менеджмент в социальных и экономических системах: Сборник докладов XVI Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. – Пенза: ПГАУ, 2024. – С.313-317. EDN: SSRNTW

6. Егорова А.А. Экосистемный подход к сбалансированному региональному развитию / А.А. Егорова, Ю.Г. Мальцев, Е.С. Банникова, Д.Ю. Двинин // Вестник Челябинского государственного университета. – 2022. – №6(464). – С.131-144. EDN: BGVDCM

EVALUATING THE EFFICIENCY OF A LAND RECLAMATION IT-PROJECT IN A COAL-MINING REGION USING COMPUTER VISION SOFTWARE

A.Yu. Sokolova, A.A. Kupriyanova, S.A. Novoselov

*Kemerovo State University,
Kemerovo, Russia*

An assessment of the economic efficiency of an investment project supporting land reclamation solutions for decommissioned lands in a coal-mining region was conducted. To achieve satisfactory profitability indicators for the project, which includes a significant IT component in the form of computer vision software, a series of computational experiments were conducted using an automated financial and analytical software package, and the results are presented.

Keywords: region, land reclamation, computer vision, investment project, economic efficiency assessment.

УДК 629.113

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСУЩЕГО КАРКАСА ДВУХЭТАЖНОГО АВТОБУСА СРЕДНЕГО КЛАССА

С.В. Суменков, Н.О. Краюшкин

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье рассматривается актуальная проблема повышения пассажироемкости городского общественного транспорта в условиях плотной застройки и ограниченной пропускной способности улично-дорожной сети. Обосновывается выбор двухэтажной компоновки автобуса как альтернатива увеличению количества подвижного состава или использованию сочлененных машин. На

основе анализа патентной литературы выявлены современные тенденции в построении несущих систем автобусов. Представлен процесс разработки и результаты моделирования каркаса кузова двухэтажного автобуса, выполненного по каркасно-панельной технологии из профильных труб. Описаны компоновочные решения, обеспечивающие доступность для маломобильных групп населения, включая конструкцию выдвижной рампы. Приведены результаты проверки прочностных характеристик разработанной конструкции.

Ключевые слова: двухэтажный автобус, каркас кузова, пассажироместимость, прочностной расчет, 3D-моделирование.

Введение

Современные мегаполисы сталкиваются с серьезным вызовом, связанным с высокой концентрацией личного автотранспорта. Это явление приводит к масштабным заторам, снижению скорости сообщения и ухудшению экологической обстановки. Ключевую роль в решении транспортной проблемы призван сыграть общественный транспорт. Однако для того чтобы стать реальной альтернативой личному автомобилю, он должен обеспечивать сопоставимый уровень комфорта, одним из главных показателей которого является плотность пассажиров в салоне в часы пик.

Номер и название охранного документа.	Страна выдачи, индекс, автор, патентообладатель	Преимущества и недостатки технического решения	Схема
<u>Каркас кузова типа монокок № 167299,</u>	Российская Федерация МПК: B62D 55/27, B62D 63/02, B60F 5/00, B60S 9/00 <u>Автор: Воронков Олег Викторович.</u>	<u>Преимущества:</u> Данная конструкция обеспечивает повышение пассивной безопасности и повышение жесткости на изгиб и кручение кузова автобуса. <u>Недостатки:</u> в зонах дверных проемов и зонах лобового окна происходит возврат к традиционной схеме организации каркаса, что ведет к снижению жесткости кузова в целом на режимах на режимах изгиба и закручивания, также при это возникает повышенное напряжение в стойках.	
«Кузов автобуса для перевозки детей». Россия, патент № 65013	Российская Федерация МПК: B62D 55/04, B62D 11/18 Автор: Ипатов Алексей Алексеевич	<u>Преимущества:</u> Обеспечена надежная защита при боковом ударе в случае ДТП, за счет подоконных решеток совместно с выгнутыми наружу стойками, существенно увеличивающими прочность конструкции. <u>Недостатки:</u> Сложность создания двухэтажной конструкции	

Традиционным путем решения проблемы переполненности является увеличение количества автобусов на линии или использование более

вместительных моделей, таких как сочлененные автобусы («гармошки»). Однако первый путь упирается в дефицит пропускной способности улично-дорожной сети и может усугубить затор. Второй путь ограничен снижением маневренности крупногабаритного транспорта в условиях исторически сложившейся плотной городской застройки, а также сложностью и высокой стоимостью таких машин. Альтернативным и перспективным направлением является увеличение пассажировместимости без существенного роста занимаемой транспортным средством площади дорожного полотна. Этого позволяет добиться двухэтажная компоновка автобуса. Использование двух палуб дает возможность увеличить вместимость на 55–85% по сравнению с одноэтажным аналогом при сохранении стандартной длины базы и, как следствие, приемлемой маневренности. Помимо вместимости, современные требования к городскому транспорту включают низкую конструкцию для облегчения посадки и высадки пассажиров, включая лиц с ограниченными физическими возможностями, что также было учтено в данном проекте. Перед началом проектирования был осуществлен анализ существующих технических решений в области построения каркасов автобусов. Информационно-патентный поиск был нацелен на выявление перспективных методов решения данной проблемы. Глубина поиска составила 10 лет, что позволило охватить наиболее прогрессивные разработки. Анализ патентной документации позволил выделить ключевые тенденции и оценить достоинства и недостатки известных конструкций.

Основная часть

Проектирование несущей системы двухэтажного автобуса выполнялось в соответствии с современной методологией расчета пространственных конструкций. Процесс включал несколько последовательных этапов: от синтеза первоначальной силовой схемы на основе прототипов до оценки ее несущей способности. Первоначальный контур каркаса был разработан, исходя из требований к габаритам, планировке салона и размещению основных агрегатов. В основу была положена каркасно-панельная технология, подразумевающая создание пространственного остова из стальных профилей с последующей наружной и внутренней обшивкой. Основной задачей, стоящей перед разработчиком, было создание жесткой и технологичной конструкции, способной выдерживать эксплуатационные нагрузки (изгиб, кручение) и обеспечить безопасность пассажиров в аварийных ситуациях. Для этого было предложено решение, основанное на широком использовании раскосов, образующих ферменные конструкции. Такое построение применено в основании кузова, боковинах и в конструкции средней палубы, что значительно повышает общую жесткость остова на кручение и изгиб.

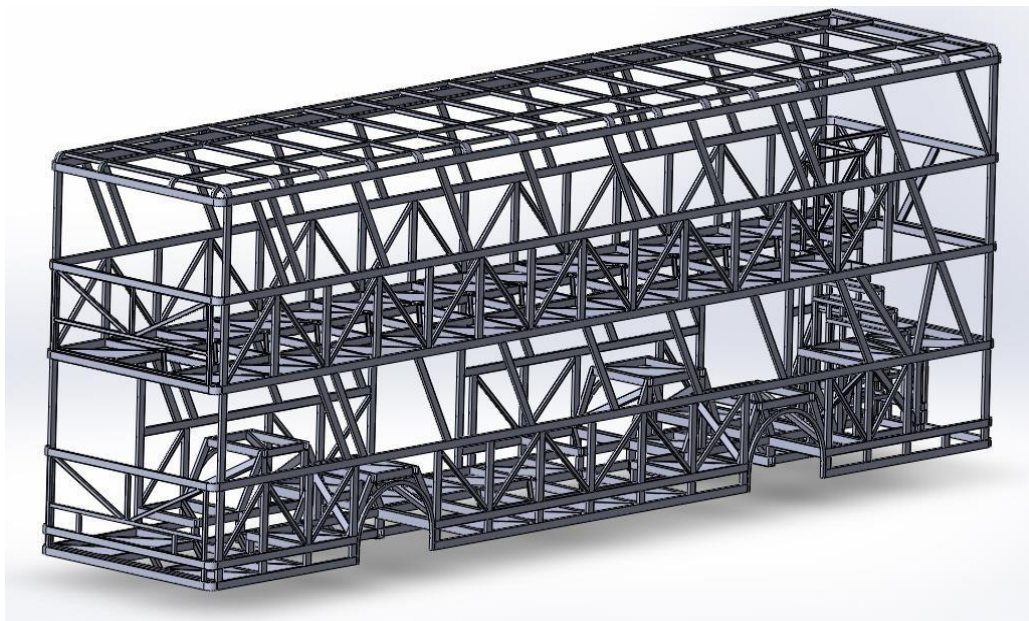


Рисунок 1 – Каркас кузова

Каркас в сборе представляет собой пространственную систему, включающую следующие основные элементы: основание (раму), левую и правую боковины, среднюю палубу (являющуюся полом второго этажа и потолком первого), каркас крыши, передний и задний борта, а также каркас лестничного проема для сообщения между этажами. Конструкция была спроектирована как полунизкопольная. Это решение продиктовано необходимостью размещения силового агрегата и трансмиссии. В задней части кузова, слева, предусмотрен отсек для рядного 6-цилиндрового дизельного двигателя, гидромеханической коробки передач и портального моста. Для обеспечения доступа к двигателю его капот конструктивно объединен с каркасом лестницы, ведущей на второй этаж (рисунок 2). Такое компоновочное решение позволяет рационально использовать пространство в заднем свесе автобуса.

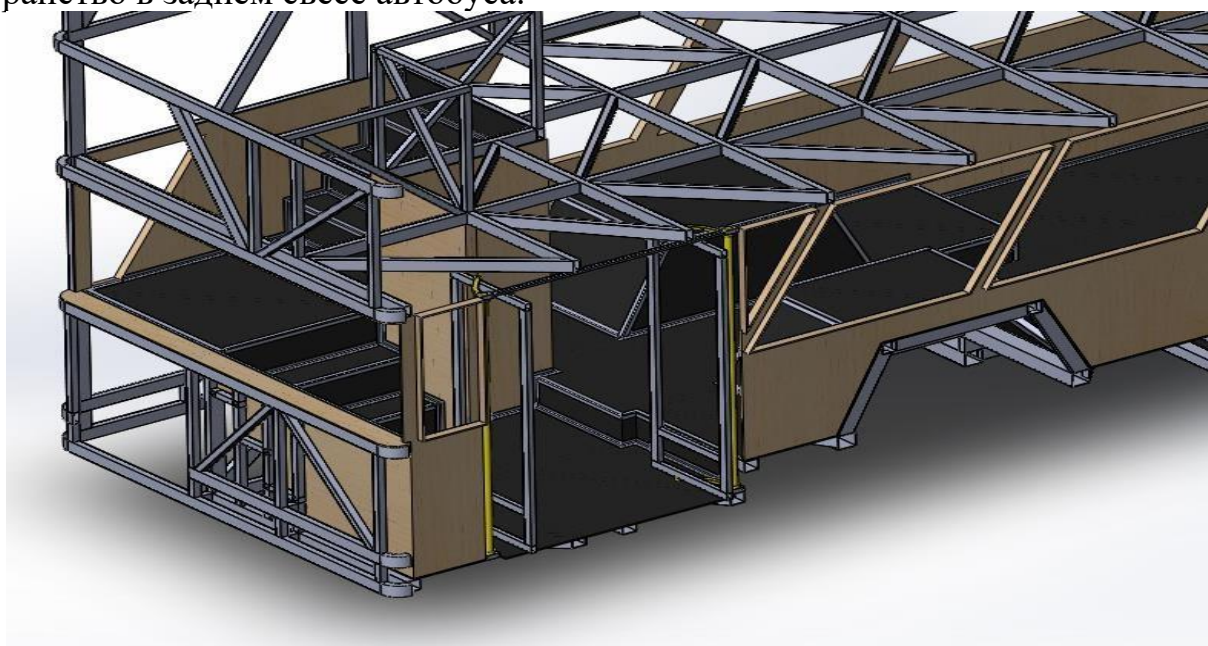


Рисунок 2 – Каркас лестницы на второй этаж

Отдельное внимание в проекте уделено созданию доступной среды для маломобильных групп населения. Поскольку высота первой ступени даже в низкопольном автобусе может превышать нормативные 200 мм, была разработана конструкция выдвижной ramпы (рисунок 3).

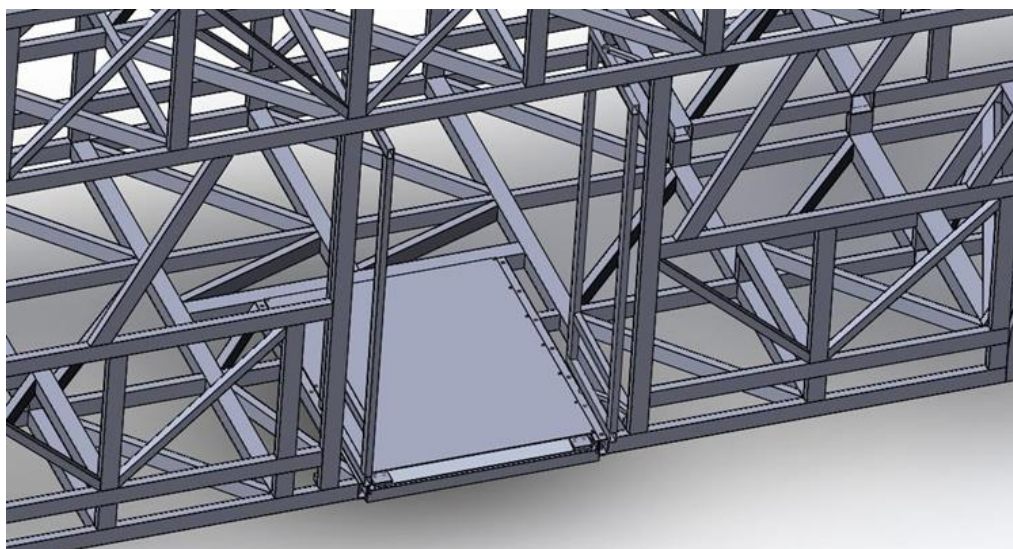


Рисунок 3 – Выдвижная ramпа

Rампа предназначена для беспрепятственного въезда и выезда пассажиров в инвалидных колясках. Ее конструкция представляет собой каркас с направляющими, по которым на роликах перемещается платформа. Вторым звеном механизма являются поворотные петли, обеспечивающие наклон платформы и ее опускание на уровень тротуара. В салоне автобуса предусмотрена специальная зона для размещения инвалидных колясок, оборудованная поручнями и соответствующим нормативным требованиям пространством. Электрическая схема управления ramпой включает концевые выключатели для остановки в крайних положениях и блокировки, исключающие возможность движения платформы при нахождении на ней человека.

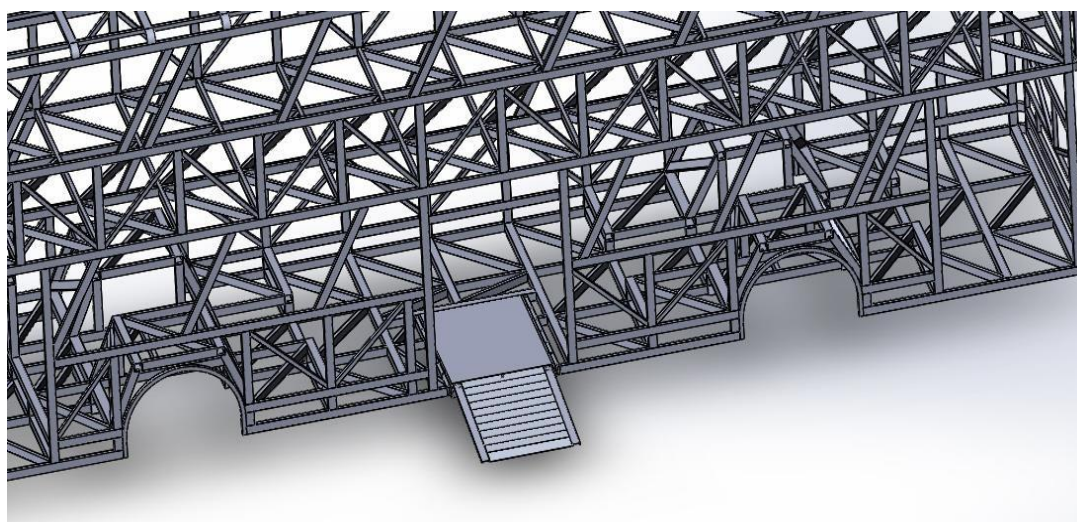


Рисунок 4 – Перемещение платформы

Материалом для каркаса служат профильные трубы прямоугольного сечения, что обеспечивает оптимальное соотношение жесткости и массы. Наружная обшивка выполняется из металлических листов. Для пола предполагается использование сэндвич-панелей, обладающих высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Внутренняя отделка бортов и потолков выполняется из пластика, что облегчает уборку салона и придает ему современный эстетичный вид. Остекление автобуса – клеенное, что позволяет использовать стекла в качестве дополнительного силового элемента, повышающего общую жесткость кузова. Для подтверждения работоспособности разработанной конструкции были выполнены проверочные прочностные расчеты с использованием метода конечных элементов. Оценка проводилась для основных режимов нагружения : изгиб и кручение под действием статической нагрузки. В результате моделирования были получены эпюры распределения напряжений в элементах каркаса. Сравнение эквивалентных напряжений, рассчитанных по энергетической теории прочности, с допускаемыми значениями для материала (сталь с пределом текучести 1870 МПа) показало, что условие прочности выполняется с запасом. Таким образом, спроектированный каркас обладает необходимой несущей способностью и жесткостью.

Заключение

В результате выполнения работы была разработана конструкция несущего каркаса двухэтажного автобуса, предназначенного для эксплуатации на городских маршрутах с высоким пассажиропотоком. Анализ исходной проблемы и патентный поиск подтвердили актуальность создания двухэтажных машин как средства повышения провозной способности без ухудшения маневренности. Основные итоги работы заключаются в следующем:

1. Предложена пространственная силовая схема каркаса, включающая основание, боковины, среднюю палубу и крышу, соединенные в единую жесткую систему. Широкое применение ферменных конструкций из раскосов обеспечивает высокую жесткость и надежность остова.

2. Предложена пространственная силовая схема каркаса, включающая основание, боковины, среднюю палубу и крышу, соединенные в единую жесткую систему. Широкое применение ферменных конструкций из раскосов обеспечивает высокую жесткость и надежность остова.

3. Разработана компоновка автобуса, позволяющая разместить двигатель и трансмиссию в заднем свесе, сохранив низкий уровень пола в большей части салона.

4. Спроектировано специальное оборудование для обеспечения доступности автобуса для лиц с ограниченными физическими возможностями, включая выдвижную рампу и зону для размещения инвалидных колясок.

5. Выполненные прочностные расчеты подтвердили, что разработанная конструкция каркаса удовлетворяет требованиям прочности и жесткости при эксплуатационных нагрузках.

6. Создана полная 3D-модель каркаса, на основе которой может быть выпущена конструкторская документация.

Список использованных источников

1. Щурин, К.В. Расчет и проектирование несущих конструкций автомобилей и автобусов : учебное пособие / К.В. Щурин, В.С. Бочкарев. – Оренбург : ОГУ, 2018. – 180 с.
2. Овчинников, Н.А. Проектирование кузовов автобусов с использованием каркасно-панельных технологий / Н.А. Овчинников, И.В. Долгов // Грузовик. – 2020. – № 5. – С. 12–17.
3. Герасимов, В.С. Методы повышения жесткости кузовов городских автобусов / В.С. Герасимов, А.П. Тарасов // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 8. – С. 28–32.
4. Ковалев, А.А. Применение метода конечных элементов при проектировании несущих систем транспортных средств / А.А. Ковалев, Д.В. Лямин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2021. – Т. 15, № 2. – С. 45–53.

DEVELOPMENT AND MODELING OF THE SUPPORTING FRAME OF A DOUBLE-DECKER BUS OF THE MIDDLE CLASS

S.V. Sumenkov, N.O. Krayushkin

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article considers the urgent problem of increasing the passenger capacity of urban public transport in conditions of dense buildings and limited capacity of the road network. The choice of a double-decker bus layout is justified as an alternative to increasing the number of rolling stock or using articulated vehicles. Based on the analysis of the patent literature, modern trends in the construction of bus load-bearing systems have been identified. The development process and modeling results of the body frame of a double-decker bus made using frame-panel technology from profile pipes are presented. The layout solutions that ensure accessibility for low-mobility groups of the population, including the design of an extendable ramp, are described. The results of testing the strength characteristics of the developed structure are presented.

Keywords: double-decker bus, body frame, passenger capacity, strength calculation, 3D modeling.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСМИССИИ

С.В. Суменков, Д.В. Рыгалов

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье рассматривается актуальная проблема адаптации переднеприводных легковых автомобилей к эксплуатации в сложных дорожных условиях, характерных для многих регионов Российской Федерации. Объектом исследования является трансмиссия автомобиля Lada Vesta. Цель работы – повышение проходимости и улучшение тягово-динамических свойств автомобиля за счет разработки и внедрения подключаемой полноприводной трансмиссии. В ходе исследования проведен анализ существующих конструктивных схем, выполнен информационно-патентный поиск, предложена оригинальная компоновка коробки передач со встроенным межосевым дифференциалом и валом отбора мощности. Результаты работы могут быть применены при мелкосерийной модернизации автомобилей или в качестве основы для дальнейших опытно-конструкторских разработок.

Ключевые слова: полный привод, трансмиссия, проходимость, межосевой дифференциал, Lada Vesta, модернизация.

Эксплуатация легковых автомобилей на территории Российской Федерации сопряжена с воздействием широкого спектра климатических факторов. Особенно остро стоит проблема обеспечения устойчивости и проходимости в осенне-зимний период для регионов Приволжского федерального округа, где наличие снежного покрова значительно ухудшает сцепные свойства колес с дорогой. Серийные переднеприводные автомобили, к которым относится и популярная на российском рынке Lada Vesta, в таких условиях не могут в полной мере реализовать крутящий момент двигателя, что приводит к пробуксовке ведущих колес и снижению динамики разгона.

Зарубежные производители решают данную проблему путем оснащения автомобилей системой постоянного полного привода [1]. Однако такое решение имеет обратную сторону: при движении по дорогам с твердым покрытием в летний период дополнительные элементы трансмиссии создают потери мощности, что ведет к перерасходу топлива. Таким образом, актуальной является задача создания конструкции, сочетающей преимущества полноприводной компоновки при движении по бездорожью и экономичности переднеприводной схемы в обычных условиях.

Для выбора оптимального технического решения был проведен анализ современного состояния вопроса. Анализ тенденций развития полноприводных

трансмиссий выявил несколько основных направлений: классическая схема с продольным расположением двигателя и подключаемым передком, схема с поперечным расположением силового агрегата (японская школа), комбинированные трансмиссии, а также гибридные системы с отдельным электродвигателем на задней оси.

В статье [2] предлагают упрощение конструкции полноприводной трансмиссии за счет применения обгонных муфт и нестандартной компоновки валов. В статье [3] описывается прогрессивную бесступенчатую трансмиссию, однако ее сложность и стоимость делают применение на бюджетном автомобиле нецелесообразным. В статье раскрыто устройство отключаемого блока передачи мощности, позволяющее минимизировать потери при движении в режиме 4×2 [4]. Ключевым недостатком имеющихся разработок является ориентация на продольное расположение двигателя, что несовместимо с компоновкой автомобиля Lada Vesta, где силовой агрегат установлен поперечно. Данное противоречие легло в основу задачи по разработке собственной конструкторской схемы.

Проблема, решаемая в рамках данной работы, заключается в необходимости улучшения проходимости переднеприводного автомобиля Lada Vesta [5] без кардинального изменения его компоновки и без присущих постоянному полному приводу недостатков в виде повышенного расхода топлива. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: разработать кинематическую схему подключаемого полного привода, адаптированную под поперечное расположение двигателя; выполнить необходимые тягово-динамические расчеты для проверки работоспособности конструкции; предложить методику испытаний модернизированного автомобиля.

Конструкторское решение, предложенное изобретателем, заключается в глубокой модернизации штатной коробки передач автомобиля Lada Vesta. Вместо установки отдельной раздаточной коробки, что потребовало бы существенных изменений в трансмиссионном тоннеле и кузове, было принято решение интегрировать элементы полного привода непосредственно в корпус КПП.

Основные конструктивные изменения включают в себя:

1. Установка межосевого дифференциала [6]: В верхней части корпуса коробки передач образована дополнительная полость, в которой на роликовых подшипниках устанавливается корпус межосевого дифференциала. Привод на него осуществляется цилиндрической косозубой передачей от вторичного вала КПП.

2. Реализация привода на переднюю и заднюю оси [7]: Вращение от межосевого дифференциала распределяется следующим образом: левый сателлит через промежуточный вал передает момент на штатный межколесный дифференциал передних колес. Правый сателлит через коническую передачу соединен с валом отбора мощности, который выведен из корпуса КПП в сторону тоннеля пола. На этом валу предполагается установка муфты для отключения заднего привода, что позволит экономить топливо при движении по хорошим дорогам. Далее момент передается на карданный вал и редуктор заднего моста.

3. Обеспечение ремонтпригодности: для доступа к механизмам дифференциалов и вала отбора мощности в корпусе КПП предусмотрены специальные обслуживающие крышки, что упрощает потенциальный ремонт и замену компонентов.

Схема коробки передач, включающая основные конструкционные изменения показана на рисунке 1.

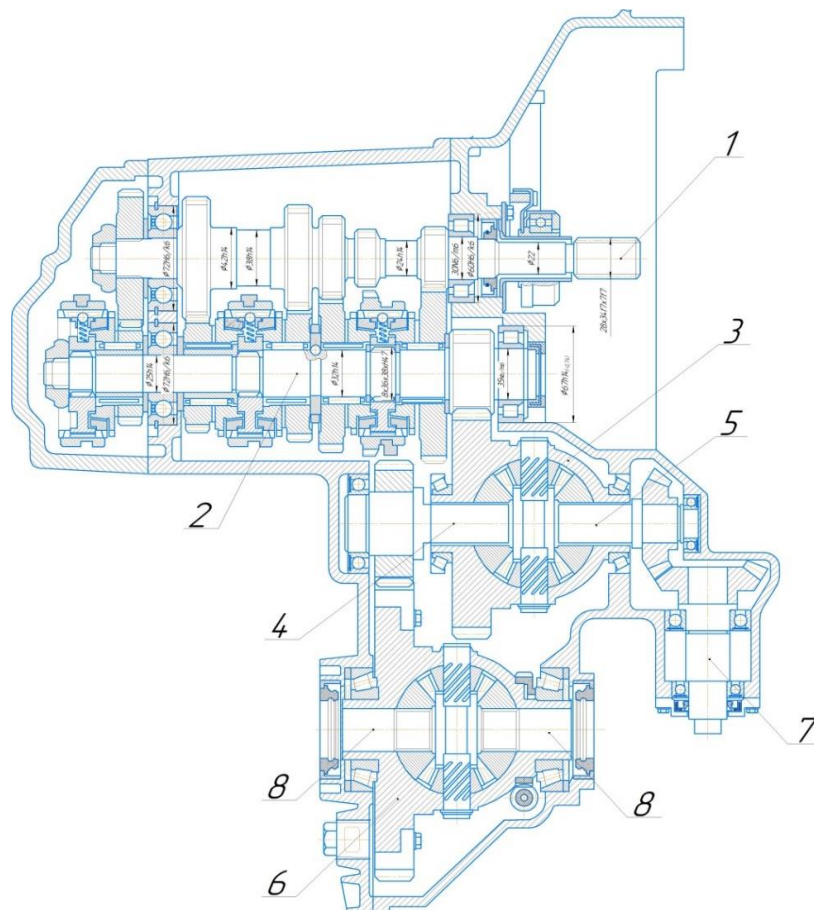


Рисунок 1 – продольный разрез коробки передач:

1 – первичный вал, 2 – вторичный вал, 3 – межосевой дифференциал, 4 – промежуточный вал переднего привода, 5 – промежуточный вал заднего привода, 6 – межколесный дифференциал, 7 – вал отбора мощности, 8 – приводы передних колес

Предложенная схема позволяет сохранить поперечное расположение силового агрегата, минимально изменить геометрию моторного отсека и салона, а также обеспечить возможность отключения заднего моста. Использование межосевого дифференциала решает проблему циркуляции мощности и повышенного износа шин, характерную для жестко подключаемого полного привода.

Для проверки заложенных технических решений был проведен тягово-динамический расчет автомобиля. Исходными данными послужили характеристики автомобиля-прототипа: максимальная скорость 182 км/ч, снаряженная масса 1653 кг. В результате расчета была определена требуемая максимальная

мощность двигателя (около 90 кВт), которая соответствует штатному двигателю автомобиля, что подтверждает принципиальную возможность использования существующего силового агрегата без форсирования. Динамический фактор автомобиля на низших передачах превышает коэффициент сопротивления качению на всех режимах движения, что гарантирует отсутствие пробуксовок при трогании на расчетных уклонах.

Заключительным этапом конструкторской проработки стала разработка программы и выбор оборудования для испытаний опытного образца. В качестве объекта исследования выступает сам автомобиль Lada Vesta с модернизированной трансмиссией, а предметом исследования – его тяговые качества. Для проведения испытаний предложено использование современного динамического стенда с беговыми барабанами и электродвигателями-генераторами. Конструкция стенда предусматривает независимую нагрузку на каждое колесо, что особенно важно для полноприводного автомобиля. Тяговые электродвигатели стенда имитируют движение накатом или спуск, а нагрузочные – сопротивление дороги и воздуха. Разработанная методика испытаний включает в себя последовательность действий по установке и закреплению автомобиля, прогреву двигателя и проведению замеров на всех передачах для построения итоговых графиков ускорения и времени разгона.

В результате проведенного исследования была решена актуальная научно-техническая задача по повышению эксплуатационных свойств легкового автомобиля Lada Vesta.

1. На основе анализа существующих конструкций выявлены недостатки прототипов и обоснован выбор схемы полного привода с поперечным расположением двигателя и интегрированным в КПП межосевым дифференциалом.

2. Предложена оригинальная конструкция модернизированной коробки передач, включающая дополнительные валы, полости и конические передачи для отбора мощности на задний мост. Ключевым преимуществом разработки является сохранение общей компоновки автомобиля, возможность отключения заднего привода для экономии топлива и улучшенная ремонтпригодность.

3. Разработана методика и предложено оборудование для проведения стендовых испытаний, что создает основу для экспериментального подтверждения теоретических выводов и доводки конструкции.

Таким образом, предложенное техническое решение можно считать перспективным для дальнейшей реализации. Оно позволяет значительно расширить функциональные возможности популярного отечественного автомобиля, адаптировав его к сложным условиям эксплуатации без значительного удорожания и усложнения конструкции.

Список использованных источников

1. Староверов Н.Е. ПОЛНОПРИВОДНАЯ ТРАНСМИССИЯ/ВАРИАНТЫ. – 2014.

2. Григоренко Н.Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СХЕМЫ ПОЛНОГО ПРИВОДА ДЛЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ НА БАЗЕ LADA VESTA CROSS //XXIV Региональная конференция молодых учёных и исследователей Волгоградской области. – 2020. – С. 137-138.

3. Бурка А.С. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ LADA 4x4 //Наука молодых-будущее России. – 2020. – С. 53-56.

4. Доронкин В.Г. Развитие конструкции автомобиля //Формирование профессиональной направленности личности специалистов-путь к инновационному развитию России. – 2022. – С. 64-69.

5. Ушнурцев С.В., Келлер А.В., Усиков В.Ю. Теоретическое обоснование выбора передаточного числа межосевого дифференциала автомобиля многоцелевого назначения //Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования. – 2012. – С. 275-279.

6. Тимофеев Б.П., Сачков М.Ю. Передаточные механизмы приводов //СПб: Университет ИТМО. – 2015.

IMPROVING THE PERFORMANCE OF A PASSENGER CAR BY UPGRADING THE TRANSMISSION

S. V. Sumenkov, D. V. Rygalov

*Penza State University
Penza, Russia*

The article addresses the pressing issue of adapting front-wheel-drive passenger cars for operation in challenging road conditions, which are typical for many regions of the Russian Federation. The research focuses on the transmission system of the Lada Vesta vehicle. The aim of the study is to enhance the vehicle's cross-country capability and improve its traction and dynamic performance by developing and implementing an on-demand all-wheel-drive transmission system. During the research, an analysis of existing design layouts was carried out, an information and patent search was performed, and an original gearbox layout with an integrated centre (inter-axle) differential and a power take-off shaft was proposed. The results of the work can be applied in small-scale vehicle modernization projects or serve as a basis for further experimental and design development efforts.

Keywords: All-wheel drive (AWD), transmission, cross-country capability, centre differential, Lada Vesta, modernization.

ОПТИМИЗАЦИЯ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ КРЫЛА К ФЮЗЕЛЯЖУ САМОЛЁТА AIRBUS 320

А.Е. Татауров, К.А. Удальцов, Г.Л. Татаров

*Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева,
г. Ульяновск, Россия*

В статье приведён расчёт и анализ прочности балки крыла самолёта Airbus A320 с прямоугольным сечением. Проведена оценка прочности при действии изгибающего момента и предложены направления оптимизации конструкции узла крепления крыла к фюзеляжу с целью повышения прочности и снижения массы. Рассмотрены основные параметры сечения и предложены рекомендации по переходу от сплошной балки к лонжеронной или тонкостенной коробчатой схеме.

Ключевые слова: крыло, фюзеляж, балка, прочность, изгибающий момент, алюминиевый сплав, оптимизация.

Одним из ключевых элементов силовой структуры самолёта является узел крепления крыла к фюзеляжу. Через этот узел передаются основные аэродинамические и инерционные нагрузки, поэтому его прочность и масса определяют надёжность и эффективность всего летательного аппарата. Для оценки несущей способности конструкции на этапе проектирования часто используются упрощённые модели, в частности, замена крыла сплошной балкой эквивалентного сечения. Целью настоящей работы является расчёт прочности упрощённой модели крыла самолёта Airbus A320 и обоснование конструктивных путей повышения эффективности узла крепления крыла к фюзеляжу.

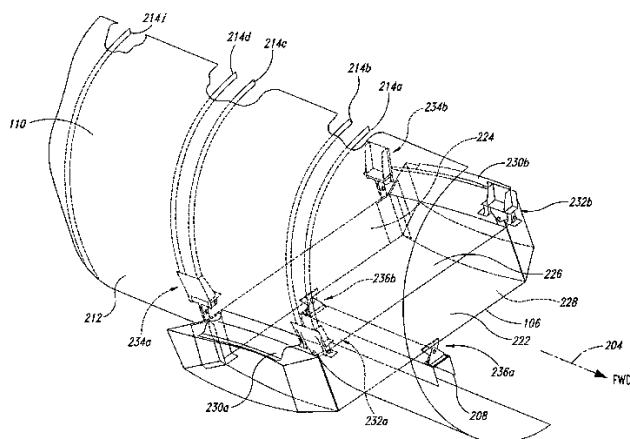


Рисунок 1 – Схема крепления крыла к фюзеляжу

Патент US7887009B2. В патенте предложена система крепления крыла к фюзеляжу через коробчатый элемент (attachment box) и продольную балку (keel beam). Такая конструкция снижает изгибающие нагрузки, облегчает конструкцию и повышает ресурс узла. Идея адаптирована для самолёта A320 – предусмотрено использование модифицированной коробчатой балки в зоне крепления крыла, что позволяет перераспределить моменты и уменьшить массу, рис. 1, 2 [7].

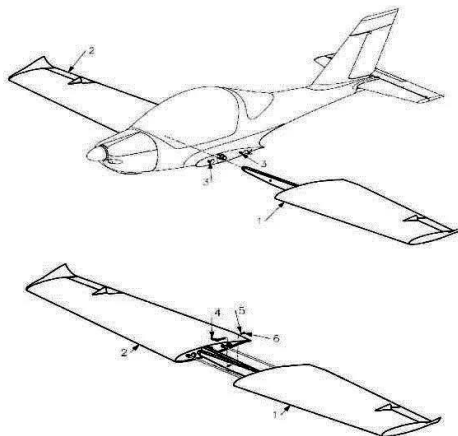


Рисунок 2 – Патентная схема крепления крыла к фюзеляжу для малой авиации

Концептуальная схема половины фюзеляжа A320 с крылом и продольной балкой. Основная идея заимствована из предоставленного изображения и патента US7887009B2, где описана конструкция узла крепления крыла через коробчатую балку, рис. 3 [7].

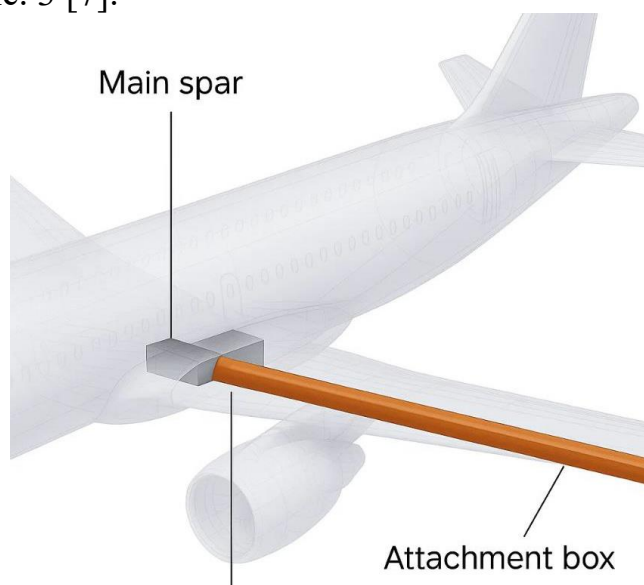


Рисунок 3 – Система крепления крыла к фюзеляжу для A320

Патент US 2009/0146007 A1 описывает систему крепления цельного крыла к фюзеляжу, основанную на использовании шарнирных звеньев и луг-штифтовых соединений, которые позволяют передавать вертикальные и поперечные нагрузки при одновременном снижении изгибающих моментов, поступающих в силовой набор фюзеляжа. Центральная секция крыла проходит через фюзеляж и соединяется с его рамами через поворотные звенья, а также нижний шарнир с килевой балкой, что уменьшает требования к усилению фюзеляжа и сокращает время сборки, рис 4 [8].

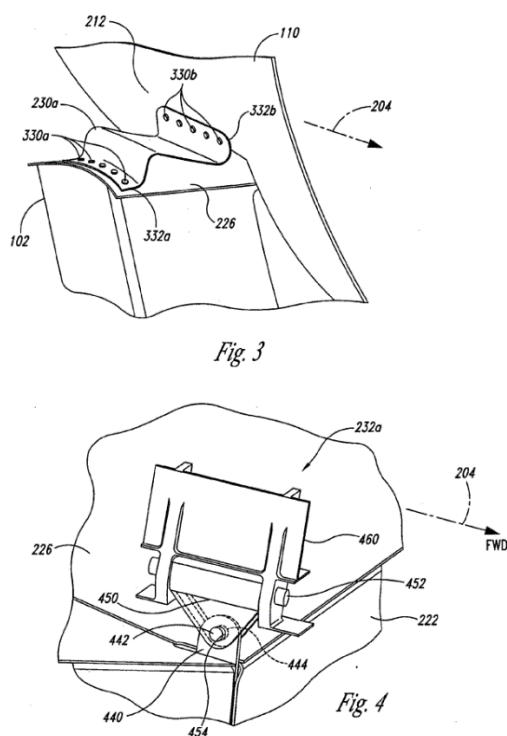


Рисунок 4 – Система крепления цельного крыла к фюзеляжу с помощью шарнирных звеньев и луг-штифтовых соединений

Патент US 2011/0089292 A1 рассматривает конструкцию соединений типа pinned lug joint, предназначенных для фиксации крупных элементов планера с контролируемым восприятием нагрузок. Предлагаются варианты рядовых луг-штифтовых соединений с регулирующими втулками и эксцентриковыми элементами, что позволяет компенсировать производственные отклонения и обеспечить равномерное распределение усилий в соединении. Решение ориентировано на повышение точности сборки и долговечности конструкций, работающих под переменными нагрузками, рис. 5 [9].

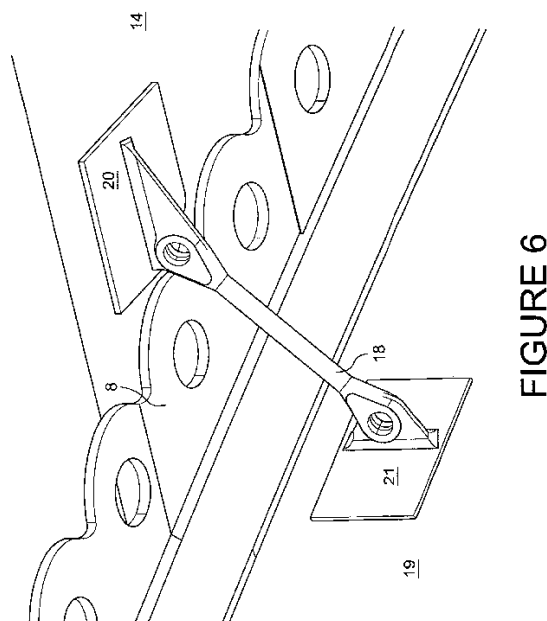


FIGURE 6

Рисунок 5 – Конструкция соединений типа pinned lug joint

Рассчитаем параметры узла крепления крыла самолета к фюзеляжу. Распределённая нагрузка на крыло:

$$q = \frac{m \cdot g}{L} = \frac{36500 \cdot 9,81}{15} = 23871 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

где L – размах крыла (длина балки), $L = 15$ м;

m – половина взлётной массы самолёта, $m = 36500$ кг

σ – нормальные напряжения для материала: алюминиевый сплав 2024-Т3, $\sigma = 250$ МПа

g – ускорение свободного падения

Представим крыло как консольную балку, закреплённая у фюзеляжа, тогда рассчитаем момент заделки M и момент сопротивления крыла изгибу W_x :

$$R_k = \frac{q \cdot L^2}{6} = \frac{23871 \cdot 15^2}{6} = 0,8952 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M = R \cdot z = 0,8952 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 15\right) = 8,952 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma]$$

$$W_x = (8,952 \text{ Н} \cdot \text{м} / 250 \text{ Па}) \cdot 10^6 = 35806,5 \text{ см}^3$$

$$W_x = \frac{bh^2}{6} = 35806,5 \text{ см}^3$$

Для снижения массы и повышения прочности рекомендуется использовать коробчатое сечение с лонжеронами и стенками из алюминия, учитывать динамические и усталостные нагрузки в узле крепления крыла. Следовательно, для оптимизации конструкции принимаем 5 профилей с параметрами $h = 40$ см; $b = 40$ см; $h' = 30$ см; $b' = 30$ см, рис. 6.

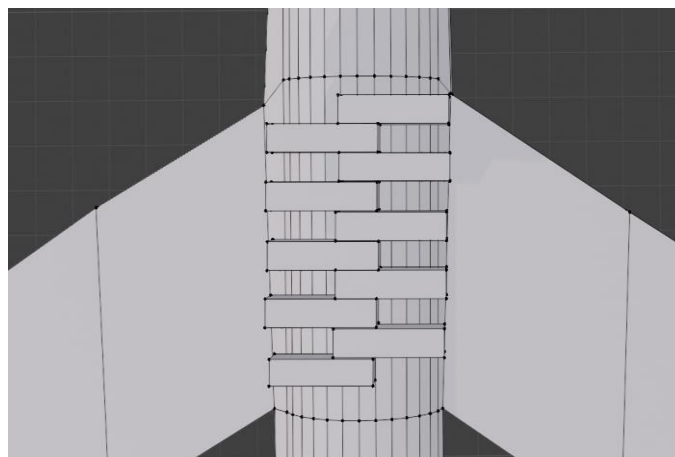


Рисунок 6 – Система крепления крыльев к фюзеляжу с помощью коробчатого сечения с лонжеронами и стенками из алюминия

Полученные результаты показывают, что при выбранных геометрических параметрах и материалах балка выдерживает расчётные нагрузки без превышения допустимого напряжения. Тем не менее, сплошное прямоугольное сечение не является оптимальным с точки зрения массы. Для повышения эффективности рекомендуется использовать коробчатую конструкцию с лонжеронами и стенками из алюминиевых или композитных панелей. Это позволит снизить массу при сохранении жёсткости и ресурса. Кроме того, при проектировании реального узла крепления необходимо учитывать динамические факторы, усталостные напряжения и концентрации усилий в местах соединения крыла и фюзеляжа.

В результате расчёта установлено, что принятая балка выдерживает предполагаемую нагрузку с запасом по прочности. Проведён анализ показал, что оптимизация конструкции возможна за счёт перехода от сплошной балки к облегчённой коробчатой схеме. Это обеспечит снижение массы и повышение эксплуатационной надёжности узла крепления крыла к фюзеляжу.

Список использованных источников

1. Airbus A320 Aircraft Maintenance Manual. ATA 57. – Airbus, [б. г.]. – 412 с.
2. ГОСТ 2.105–2019. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. – Стандартинформ, 2019. – 18 с.
3. Авдеев Ю.М. Конструкция самолётов. – Москва: Транспорт, 2019. – 352 с.
4. Миллер А.В. Проектирование авиационных узлов. – СПб.: Политехника, 2020. – 280 с.
5. ISO 15462:2010. Aircraft wing attachment – Fatigue design principles.
6. Boeing 737 Maintenance Manual. ATA 32 – Landing Gear. – Boeing, [б. г.].
7. US 7887009 B2. Methods and systems for attaching aircraft wings to fuselages / The Boeing Company. – Filed Dec. 05, 2007; published Feb. 15, 2011. – URL: <https://patents.google.com/patent/US7887009B2> (дата обращения: 12.11.2025).

8. US 2009/0146007 A1. Methods and systems for attaching aircraft wings to fuselages/The Boeing Company. – Filed Dec. 05, 2007; published Jun. 11, 2009 – URL: <https://patents.google.com/patent/US20090146007A1> (дата обращения: 15.11.2025).

9. US 2011/0089292 A1. Aircraft joint/Airbus Operations Limited. – Filed Jan. 25, 2010; published Apr. 21, 2011 – URL: <https://patents.google.com/patent/US20110089292A1> (дата обращения: 16.11.2025).

OPTIMIZATION OF THE WING-TO-FUSELAGE FASTENING UNIT OF THE AIRBUS 320

A.E. Tataurov, K.A. Udaltsov, G.L. Tatarov

*Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after
Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev,
Ulyanovsk, Russia*

The paper presents the strength calculation and analysis of an Airbus A320 wing beam with rectangular cross-section. The main parameters of the section were analyzed to determine its ability to withstand bending moments. Recommendations were made for the optimization of the wing-to-fuselage attachment unit by reducing weight while maintaining strength.

Keywords: wing, fuselage, beam, bending stress, optimization, aluminum alloy.

УДК 631.372

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО ШЛЕЙФА С НЕЗАВИСИМОЙ УСТАНОВКОЙ ПРУЖИННОЙ БОРОНЫ И ПЛАНЧАТОГО КАТКА

М.А. Терёхин¹, Ю.В. Полывяный², А.В. Яшин²

*¹АО «Радиозавод»,
г. Пенза, Россия*

*²Пензенский государственный аграрный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье выявлены недостатки рассматриваемого шлейфа культиватора К-10200, связанные с зависимой установкой рабочих органов на общих поводках, что приводит к изменению угла установки борон при копировании неровностей поля катком. С учетом этих недостатков представлена конструкция комбинированного шлейфа с жестким креплением секций пружинной бороны к штанге и независимой подвеской катка на подпружиненных рычагах. Рассмотрен технологический процесс работы предлагаемого шлейфа с возможностью установки катка в активный или пассивный режим.

Ключевые слова: комбинированный культиватор, шлейф, пружинная борона, планчатый каток, независимая подвеска, качество обработки почвы.

Современные культиваторы для сплошной обработки почвы, такие как модели серий К и Р производства «Клевер» и «Ростсельмаш» [1,2], выполняются комбинированными, т.к. помимо основных рабочих органов – стрельчатых или рыхлительных лап, они оснащаются дополнительным шлейфом. Шлейф, состоящий из пружинных борон и катка, предназначен для измельчения почвенных комков, выравнивания гребнистости, дополнительного рыхления или обратного уплотнения почвы [3]. Его работа напрямую определяет качество подготовки семенного ложа. Ввиду этого совершенствование конструкции шлейфа, направленное на повышение стабильности его работы в различных почвенных условиях, является актуальной задачей.

Типичным примером является комбинированный шлейф культиватора К-10200, навешиваемый на фланцы его рамной конструкции. Шлейф состоит из бороновального модуля и катка (рис. 1).

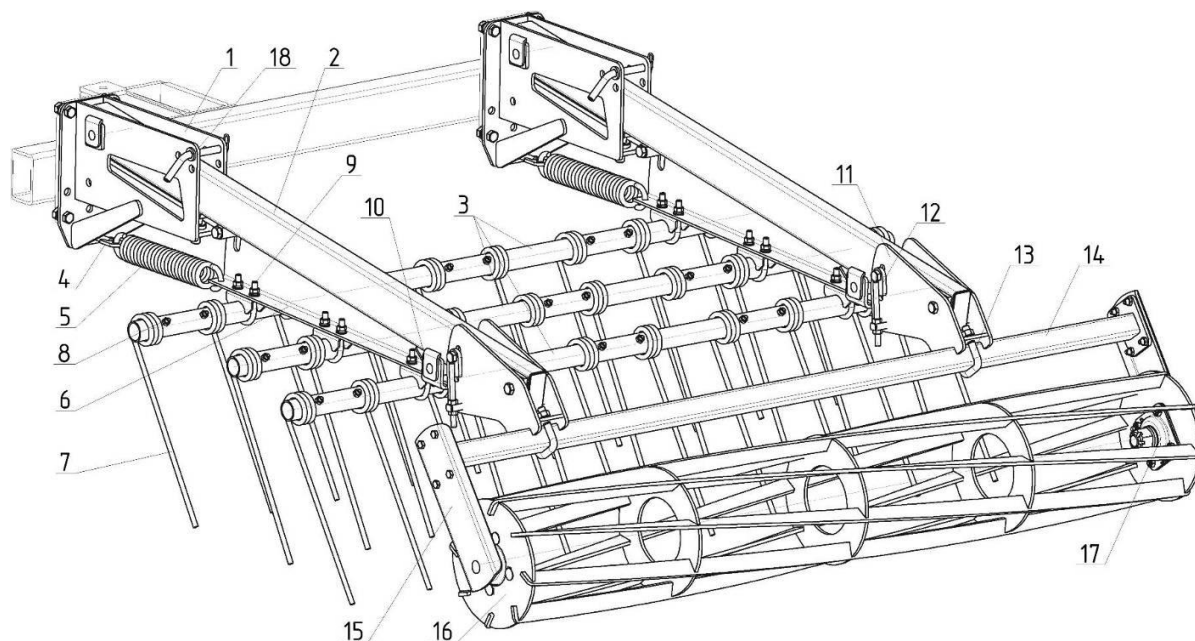


Рисунок 1 – Комбинированный шлейф культиватора К-10200:

*1 – кронштейн; 2 – поводок; 3 – труба; 4 – натяжитель; 5 – пружина;
6 – основание; 7 – зуб пружинный; 8 – болт; 9 – хомут; 10 – ось;
11 – кронштейн; 12 – натяжитель; 13 – хомут; 14 – перемычка;
15 – боковина; 16 – ротор; 17 – подшипник; 18 – штырь*

На кронштейнах 1 шарнирно установлены общие поводки 2 навески, к которым посредством U-образных хомутов 9 и болтов 8 присоединено основание 6 бороновального модуля, состоящее из труб 3 с пружинными зубьями 7. К этим же поводкам 2 через кронштейны 11 и хомуты 13 крепится каток. Догрузка бороновального модуля и катка осуществляется двумя пружинами 5, степень воздействия которых регулируется натяжителями 4. Три ряда пружинных зубьев 7

бороновального модуля имеют возможность индивидуального изменения угла наклона путем ослабления хомутов 9. Конструкцией предусмотрена регулировка высоты установки всего шлейфа перестановкой крепежных болтов по отверстиям кронштейна 1. Фиксация шлейфа в транспортном положении осуществляется штырем 18 [1].

Каток состоит из ротора 16 с планками, который при помощи подшипников 17 установлен на осях боковин 15. Боковины 15 стянуты между собой перемычкой 14. Натяжитель 12 служит для регулировки положения катка. Регулировка положения катка по высоте показана на рис. 2, б. При работе шлейфа в составе культиватора пружинные бороны, следуя за стрельчатыми лапами, выполняют выравнивание гребнистости, дополнительное рыхление поверхностного слоя и измельчение почвенных комков, подготавливая однородную поверхность для последующего прикатывания, а каток завершает рабочий процесс поверхностной или предпосевной обработки почвы. Конструкция позволяет изменять его режим работы: при ориентации планок по часовой стрелке (навстречу движению) каток работает в активном, рыхлящем режиме (рис. 2, в), а при развороте на 180° – в пассивном, уплотняющем (рис. 2, г) [4].

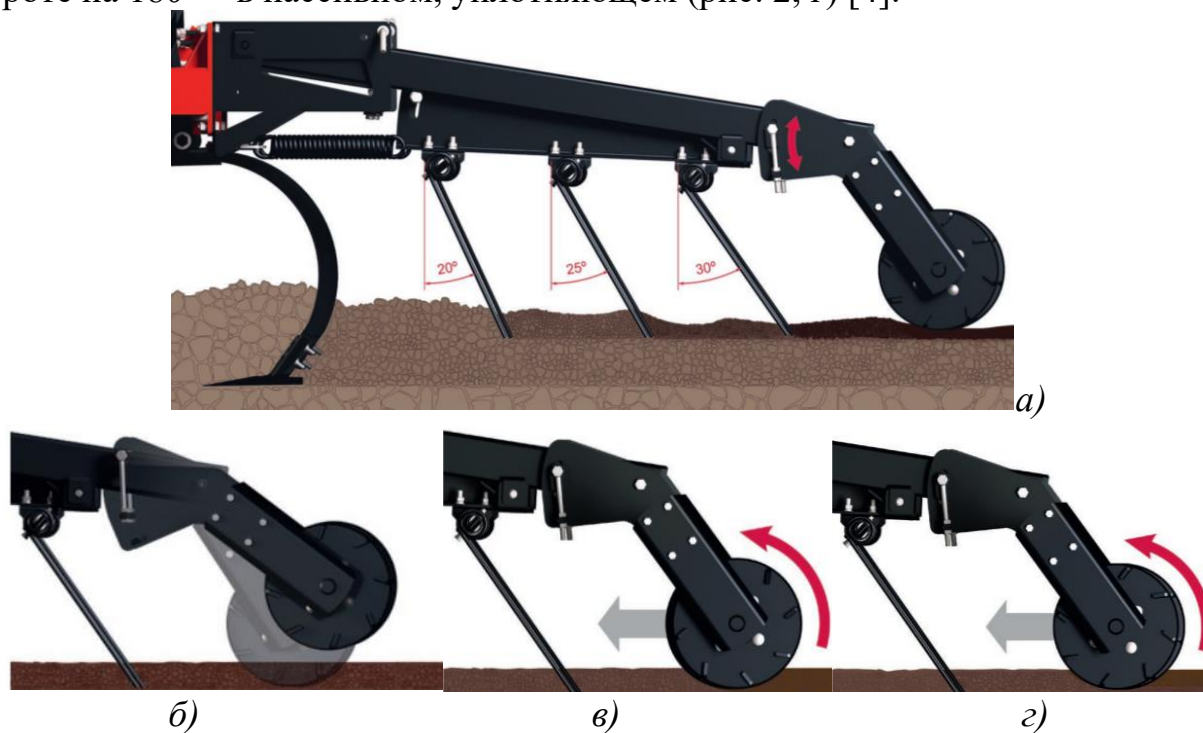


Рисунок 2 – Схема работы комбинированного шлейфа культиватора K-10200:
 а – схема технологического процесса; б – изменение положения катка по высоте при регулировке; в – положение катка в активном режиме;
 г – положение катка в пассивном режиме

Такая конструкция шлейфа имеет много преимуществ, т.к. и бороновальный модуль, и каток имеют регулировочные параметры и возможность настройки под конкретную задачу и агротехнические условия. Однако, анализ выявил и недостаток данной конструкции, свойственный также шлейфам

культиваторов серии R [2,4]. Он заключается в установке катка и граблин (секций бороны) на одних и тех же поводках 2. При копировании катком неровностей почвы поводки 2 отклоняются вверх и вниз, что неизбежно приводит к изменению угла установки граблин относительно поверхности почвы. Как следствие, изменяется интенсивность воздействия пружинной бороны на почву, что негативно сказывается на стабильности показателей качества выравнивания и крошения почвы [5]. С целью устранения выявленного недостатка нами предлагается конструкция шлейфа с независимой установкой бороновального модуля и катка. Общий вид предлагаемого шлейфа представлен на рис. 3.

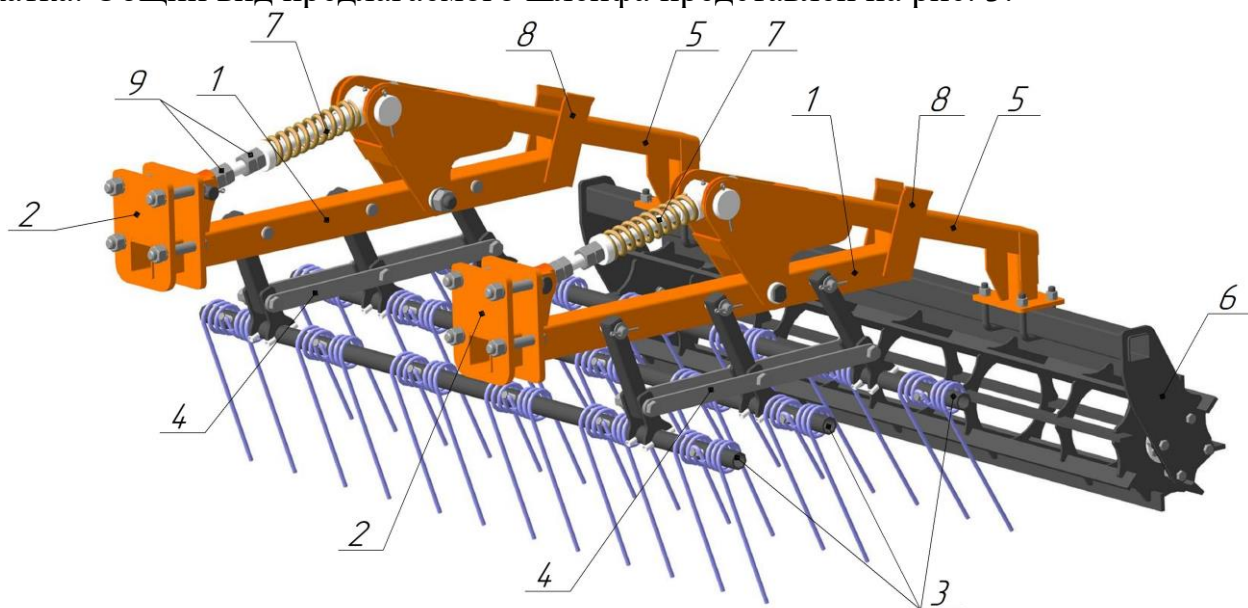


Рисунок 3 – Общий вид предлагаемого шлейфа:

- 1 – штанга; 2 – пластина прижимная; 3 – секция пружинной бороны;
4 – пластина ограничительная; 5 – рычаг; 6 – каток планчатый;
7 – механизм пружинный; 8 – направляющие; 9 – гайка регулировочная

Особенность его конструкции заключается в следующем. Штанга 1 жестко крепится к раме культиватора посредством прижимных пластин 2. На штанге 1 посредством пальцев и ограничительных пластин 4, также жестко закреплены три секции пружинной бороны 3. Каждая секция установлена под индивидуальным, оптимальным для интенсивного рыхления и выравнивания, углом к горизонту: первый ряд – под углом 20° , второй – 25° , третий – 30° . Такое решение позволяет исключить необходимость индивидуальной регулировки положения пружинных борон и обеспечивает прогрессивное, более интенсивное рыхление и перемешивание почвы по ходу движения агрегата. Таким образом, положение борон относительно почвы является постоянным и не зависит от положения других элементов шлейфа. Каток 6 диаметром 360 мм имеет 8 планок толщиной 10 мм, размещенных под углом 30° к нормали. Он установлен на шлейфе независимо от борон, а именно шарнирно закреплен на подпружиненных рычагах 5, которые, в свою очередь, шарнирно соединены со штангами 1. Рычаги 5 имеют возможность только поворачиваться относительно точки крепления, а их боковое перемещение ограничено направляющими 8. Необходимое давление катка 6

на почву в диапазоне от 120 до 180 кг на 1 погонный метр обеспечивается и регулируется пружинными механизмами 7 посредством гаек 9. Каток 6, аналогично рассмотренному выше прототипу, может быть установлен в активный (рис. 4, а) или пассивный режим работы (рис. 4, б) путем его разворота на 180°.

Технологический процесс работы предлагаемого шлейфа (рис. 4) происходит следующим образом.

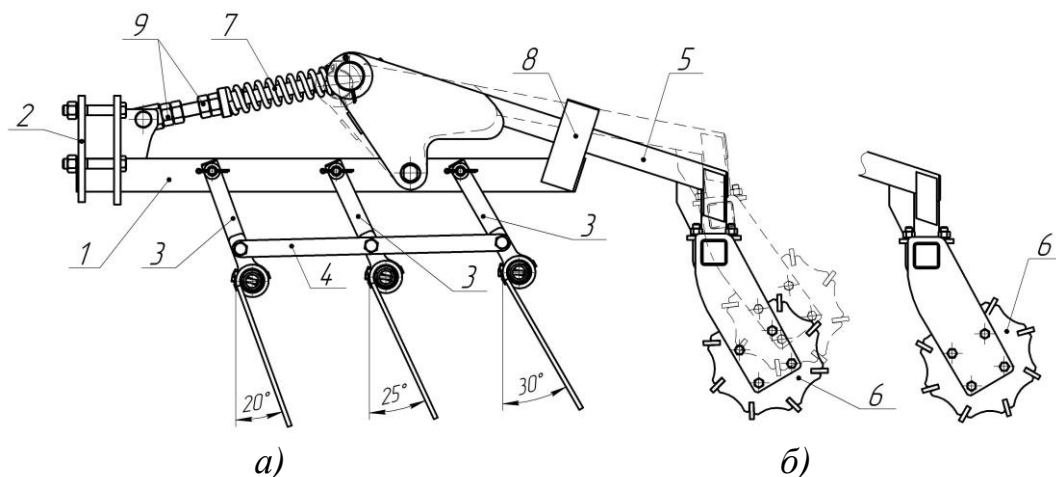


Рисунок 4 – Схема работы предлагаемого шлейфа:

*а – с катком в активном режиме; б – с катком в пассивном режиме
 (обозначение позиций в соответствии с рис. 3)*

При движении культиватора секции пружинной бороны 3, жестко закрепленные под оптимальными углами, выполняют интенсивное выравнивание гребнистости после прохода культиваторных лап, и дополнительное рыхление поверхностного слоя. Их положение и угол атаки остаются неизменными. Пружинные бороны лишь немного отклоняются назад по ходу движения культиватора и вибрируют за счет собственной упругости. Планчатый каток 6, установленный на независимых подпружиненных рычагах 5, перекатывается следом за боронами. При копировании неровностей поля каток 6 перемещается в вертикальной плоскости на величину до 120 мм, воздействуя через рычаги 5 на пружинные механизмы 7, в то время как штанга 1 с бороной 3 остается в стабильном положении. В активном режиме (рис. 4, а) каток осуществляет дополнительное дробление комьев и рыхление почвы, в пассивном (рис. 4, б) – уплотняет и окончательно выравнивает поверхность почвы под посев зерновых культур [6].

На наш взгляд предлагаемая конструкция шлейфа лишена основного недостатка рассмотренного аналога, связанного с зависимым изменением угла атаки пружинных борон при копировании неровностей поля катком. Жесткое крепление секций бороны и независимая подвеска катка на подпружиненных рычагах обеспечивают стабильность параметров работы каждого органа по отдельности. Это позволяет поддерживать высокое и постоянное качество выравнивания и крошения почвы бороной независимо от неровностей поля, что в конечном итоге способствует созданию оптимального семенного ложа. Предлагаемое решение требует испытания в реальных условиях эксплуатации. И при подтверждении

своей эффективности может быть рекомендовано для реализации в конструкциях современных комбинированных культиваторов.

Список использованных источников

1. Культиваторы для сплошной обработки почвы К-10200 К-12200. Руководство по эксплуатации К-122.00.000 РЭ. – Ростов-на-Дону: АО «КЛЕВЕР». – 88 с.
2. Культиваторы серии R. R-820, R-1020, R-1220. Проспект фирмы «Ростсельмаш». – Ростов-на-Дону, 2023. – 12 с.
3. Культиваторы Ростсельмаш серии R для сплошной обработки почвы // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 3. – С. 8-9. – EDN VWTKOS.
4. Конструктивные особенности культиваторов «Ростсельмаш» / Е. В. Демчук, А. А. Кем, О. В. Мяло, Е. И. Мальцева // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2023. – № 3(34). – EDN OPCYOR.
5. Обзор современных комбинированных культиваторов / Ю. В. Поливяный, М. А. Терехин, П. Н. Хорев, А. В. Яшин // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства. – Пенза: Пензенский ГАУ, 2025. – С. 192-198.
6. Оценка уплотняющего воздействия катка на почву комбинированного культиватора / А. А. Жалнин, М. Н. Чаткин, С. Е. Федоров [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2. – С. 44-51. – DOI 10.55170/1997-3225-2024-9-2-44-51. – EDN TBMKCO.

DEVELOPMENT OF A COMBINED TRAILING HARROW WITH INDEPENDENT MOUNTING OF A SPRING HARROW AND SLATTED ROLLER

M.A. Terekhin¹, Ju.V. Polyvyanyy², A.V. Yashin²

¹*JSC Radiozavod,
Penza, Russia,*

²*Penza State Agrarian University,
Penza, Russia*

The article identifies the shortcomings of the K-10200 cultivator's trailing harrow under consideration, associated with the dependent mounting of the working units on common drag links, which leads to a change in the harrow's attack angle when the roller follows field irregularities. Taking these shortcomings into account, the design of a combined trailing harrow is presented, featuring rigid mounting of the spring harrow sections to a beam and an independent suspension of the roller on spring-loaded levers. The technological process of operation of the proposed harrow is considered, with the possibility of setting the roller to an active or passive mode.

Keywords: combined cultivator, trailing harrow, spring harrow, slatted roller, independent suspension, soil tillage quality.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Э.Е. Тихомиров

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Рассматриваются некоторые подходы к применению аддитивных технологий в машиностроении через анализ основных методов, преимуществ и ограничений.

Ключевые слова: машиностроение, адаптивные технологии, изделия, цифровые модели.

Переход от традиционных методов обработки материалов к цифровым технологиям производства обусловлен постоянным усложнением технических требований к продукции предприятия. В этом контексте аддитивное производство, основанное на послойном создании изделий из цифровых моделей, в последние годы демонстрируют стремительное развитие и всё более широкое внедрение в промышленность.

В отличие от традиционных субтрактивных методов, таких как механическая обработка, литьё или штамповка, аддитивные технологии предполагают формирование детали путём последовательного добавления материала, чтобы существенно снизить количество отходов, а также открыть возможности для создания геометрически сложных конструкций, которые ранее были недостижимы или экономически нецелесообразны.

Таким образом, аддитивные технологии не только дополняют существующие производственные процессы, но и формируют новые подходы к инженерному мышлению.

Итак, сущность аддитивного производства заключается в создании изделия на основе цифровой модели, разработанной в системе автоматизированного проектирования. Формирование детали происходит путём последовательного нанесения слоёв материала, что принципиально отличает данный подход от традиционных методов, основанных на удалении лишнего материала. Такая технология обеспечивает высокую точность воспроизведения геометрии и позволяет создавать изделия практически любой сложности.

Наиболее часто используются такие материалы, как нержавеющая сталь, алюминиевые сплавы, титан и бронза. Это обусловлено их высокими эксплуатационными свойствами, включая прочность, устойчивость к коррозии и способность работать в условиях повышенных нагрузок.

По итогу, современные аддитивные технологии включают различные методы, отличающиеся по используемым материалам и физическим принципам. Среди основных методов аддитивного формообразования особое место занимает

селективное лазерное спекание. Данная технология основана на частичном спекании частиц порошка под воздействием лазерного излучения. Она широко применяется для создания прототипов и небольших партий изделий. Однако получаемые детали имеют пористую структуру, что ограничивает их использование в ответственных конструкциях. Более совершенной технологией является селективное лазерное плавление, при котором происходит полное расплавление порошкового материала и в результате формируются изделия с высокой плотностью и однородной структурой, что обеспечивает их повышенную прочность и надёжность. Это делает ее одной из наиболее востребованных технологий в производстве функциональных деталей. Ещё одним важным методом является прямое лазерное спекание металлов, которое позволяет формировать изделия с очень малой толщиной слоя, достигающей порядка нескольких десятков микрометров. Это все обеспечивает высокую точность и качество поверхности, а также хорошие механические характеристики готовых деталей, поэтому благодаря этим преимуществам технология широко применяется в высокотехнологичных отраслях машиностроения.

Наряду с металлическими технологиями активно используются процессы, основанные на фотополимеризации, такие как стереолитография, обеспечивающие высокую точность, но ограниченные в выборе материалов.

Одним из ключевых преимуществ аддитивных технологий является высокая степень конструкционной свободы: инженеры получают возможность разрабатывать изделия с внутренними каналами, решётчатыми структурами и сложной топологией, что значительно может повысить функциональные характеристики деталей, и в частности, использование топологической оптимизации даёт возможность снизить массу изделий без потери прочности, что особенно важно для авиационной и автомобильной промышленности, где каждый грамм имеет значение.

Практическое применение аддитивных технологий в машиностроении охватывает широкий спектр отраслей:

1) В авиационной промышленности они используются для создания лёгких и прочных компонентов, включая элементы турбин и конструкционные детали.

2) В автомобилестроении аддитивные технологии применяются преимущественно для прототипирования, изготовления оснастки и производства малых серий изделий.

3) В энергетическом машиностроении они позволяют создавать детали с внутренними каналами охлаждения, повышающими эффективность оборудования.

Но экономическая эффективность внедрения аддитивных технологий определяется рядом факторов, включая объём производства, сложность изделий, стоимость материалов и требования к качеству, поэтому в настоящее время данные технологии наиболее выгодны при производстве сложных и уникальных деталей, а также в условиях мелкосерийного производства. Но по мере развития технологий и снижения стоимости оборудования ожидается расширение области их применения.

Таким образом, аддитивные технологии представляют собой важнейший фактор трансформации современного машиностроения, так как они позволяют не только повысить эффективность производства, но и существенно расширить возможности инженерного проектирования.

Список использованных источников

1. Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). Учебное пособие. - СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 63 с.
2. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. Пособие для инженеров. – Москва: Изд-во «НАМИ», 2015. – 220 с.

THE USE OF ADDITIVE MANUFACTURING IN THE MANUFACTURE OF PARTS OF COMPLEX GEOMETRY IN MECHANICAL ENGINEERING

E.E. Tikhomirov

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia*

Some approaches to the application of additive technologies in mechanical engineering are considered through an analysis of the main methods, advantages and limitations.

Keywords: mechanical engineering, adaptive technologies, products, digital models.

УДК 621

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС В ИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Э.Е. Тихомиров

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Раскрываются принципы и основные аспекты применения географических информационных систем в информационном моделировании дорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: географические информационные системы, информационное моделирование, автомобильные дороги, цифровые модели.

Современное развитие транспортной инфраструктуры использует высокотехнологичные инструменты для проектирования, анализа и управления дорожными сетями, в частности, основанные на использовании географических информационных систем (сокр. ГИС). Данные технологии умеют интегрировать пространственные и атрибутивные данные, обеспечивая полный подход к анализу дорожной сети.

Итак, информационное моделирование автомобильных дорог представляет собой инструмент, создающий целостное представление дорожной сети как сложной системы взаимосвязанных объектов. Его применение позволяет решать широкий спектр задач, включая:

- анализ текущего состояния дорожной инфраструктуры;
- прогнозирование транспортных нагрузок;
- оптимизацию процессов проектирования и строительства;
- планирование ремонтных и эксплуатационных мероприятий;
- повышение уровня безопасности дорожного движения.

Но ключевым преимуществом информационного моделирования является возможность интеграции разнородных данных в единую систему. Основными элементами модели чаще всего являются:

- геометрическая модель (план, профиль, поперечные сечения);
- топологическая структура (связи между элементами сети);
- атрибутивные данные (тип покрытия, интенсивность движения, состояние);
- временные характеристики (динамика изменений).

В основе моделирования лежит концепция пространственных данных, которые обладают координатной привязкой и могут быть представлены в векторной или растровой форме. То есть, одной из ключевых особенностей применения ГИС является возможность работы с пространственными данными, которые являются основой для описания дорожной инфраструктуры. Каждому объекту – будь то участок дороги, транспортная развязка или дорожный знак – соответствует определённое положение в пространстве, что дает возможность учитывать взаимное расположение элементов и их влияние друг на друга а особенно это важно при анализе транспортных потоков, выявлении перегруженных участков и планировании новых маршрутов. Кроме того, ГИС обеспечивают интеграцию данных, получаемых из различных источников, включая геодезические измерения, спутниковые снимки, результаты мониторинга и эксплуатационные отчёты, что делает информационную модель более полной и достоверной.

Особое значение в информационном моделировании приобретает учет временного фактора, так как дорожная инфраструктура не является статичной системой: её состояние изменяется под воздействием транспортных нагрузок, климатических условий и эксплуатационных мероприятий. Однако на практике многие модели ограничиваются фиксацией состояния объектов на определённый момент времени, что существенно снижает их аналитическую ценность. И для преодоления данного ограничения используется темпоральное моделирование,

которое позволяет учитывать динамику изменений и анализировать процессы во времени.

Темпоральный подход включает в себя два взаимосвязанных направления: моделирование событий и отслеживание изменений параметров. Событийное моделирование основывается на представлении жизненного цикла дорожных объектов как последовательности событий, каждое из которых отражает определенное воздействие на объект. К таким событиям относятся проведение измерений, выполнение ремонтных работ, выявление дефектов и их устранение. Событие, в свою очередь, включает набор работ, которые имеют начало, процесс выполнения и завершение. Завершение одной работы может инициировать другие процессы, формируя цепочку взаимосвязанных действий, отражающих реальную эксплуатацию объекта. Параллельно с этим осуществляется анализ изменений параметров объектов во времени, таких как состояние покрытия, уровень износа или интенсивность движения. Это позволяет выявлять закономерности, прогнозировать развитие ситуации и принимать своевременные меры по поддержанию работоспособности дорожной сети. Однако следует отметить, что методы анализа временных данных в данной области пока недостаточно развиты, что является одной из ключевых проблем современного информационного моделирования.

Но несмотря на значительный прогресс в развитии геоинформационных технологий, существует ряд нерешённых вопросов, препятствующих созданию полноценных информационных моделей дорожной инфраструктуры. И одной из первых ключевых нерешенных задач является отсутствие унифицированной модели, способной адекватно описывать все аспекты дорожной инфраструктуры, так как существующие подходы, как правило, ориентированы на отдельные задачи и не обеспечивают комплексного представления системы. И как было отмечено, не менее важной проблемой является слабая проработка темпорального аспекта, так как на практике дорожные объекты постоянно изменяются во времени, однако большинство моделей фиксируют их состояние лишь в статическом виде. Это приводит к следующим ограничениям:

- невозможность полноценного анализа жизненного цикла объектов;
- отсутствие инструментов прогнозирования;
- затруднения при оценке эффективности эксплуатационных мероприятий.

Таким образом, возникает необходимость разработки новых подходов, учитывающих как пространственные, так и временные характеристики объектов.

По итогу, увеличение транспортных потоков приводит к возрастанию нагрузки на дорожную инфраструктуру, что, в свою очередь, требует более эффективных подходов к проектированию, эксплуатации и управлению автомобильными дорогами. И в этих условиях особую значимость приобретают географические информационные системы, которые позволяют не только накапливать и визуализировать пространственные данные, но и формировать комплексные информационные модели дорожных систем.

Список использованных источников

1. Бойков В.Н., Кузовлев Е.Г. ГИС автомобильных дорог в контексте парадигмы информационного моделирования (BIM)//Дорожники. – 2017. – №3 (11). – С. 66-69.

GIS APPLICATION IN INFORMATION MODELING OF ROAD INFRASTRUCTURE

E.E. Tikhomirov

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia*

The principles and main aspects of the use of geographic information systems in information modeling of road infrastructure are revealed.

Keywords: geographic information systems, information modeling, highways, digital models.

УДК 629.3.053

АКТУАЛЬНОСТЬ ИННОВАЦИЙ В АВТОМАТИЗАЦИИ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

А.А. Третьяков¹, Е.А. Нагорный², А.А. Виннер³

¹*Санкт-Петербургский университет государственной
противопожарной службы МЧС России,
г. Санкт-Петербург, Россия,*

²*Военный институт физической культуры,
г. Санкт-Петербург, Россия,*

³*Частное общеобразовательное учреждение Газпром-школа,
г. Санкт-Петербург, Россия*

В статье рассматривается актуальность внедрения инноваций и беспилотных технологий в автоматизацию наземного транспорта. Эти инновационные технологии, основанные на искусственном интеллекте и передовых системах датчиков, не только изменяют ландшафт транспортной отрасли, но и задают новые стандарты для будущего транспортного движения. В ближайшее десятилетие эксперты ожидают массовое распространение беспилотных технологий в России и мире.

Ключевые слова: беспилотные технологии, автоматизация, беспилотные транспортные средства, автоматизация передвижения.

Началом автоматизации наземного, водного и воздушного транспорта принято считать первую половину XX века, когда ведущие инженеры и изобретатели озаботились созданием, а потом и усовершенствованием автопилота для самолетов. Именно авиация до сих пор остается самым популярным направлением беспилотного транспорта. Этому есть простое и логичное объяснение: воздушное пространство – бескрайнее поле для экспериментов, где почти нет материальных препятствий. При этом все большее развитие автономный транспорт получает на земле и на воде [1].

Согласно Транспортной стратегии России до 2030 г. высокоавтоматизированные беспилотные транспортные средства (БТС) позволят повысить эффективность и безопасность грузовых и пассажирских перевозок, а также удовлетворенность конечных пользователей услуг, будет способствовать снижению себестоимости перевозок на 15% и повышению пропускной способности инфраструктуры до 10%. Так, к 2035 году планируется запуск беспилотников на всех ключевых маршрутах [2].

Развитие беспилотных автомобильных перевозок будет осуществляться по 2 направлениям:

- внедрение автомобильных грузовых междугородних перевозок на ключевых магистралях;
- развитие грузовых и пассажирских перевозок в крупнейших агломерациях.

Суть БТС заключается не только в автоматизации передвижения, но и в создании более эффективной, безопасной и устойчивой транспортной системы. Системы искусственного интеллекта, обученные распознавать окружающую среду и принимать решения на основе данных в реальном времени, обеспечивают безопасность пассажиров и участников движения [3].

Развитие БТС не только оптимизирует существующие методы передвижения, но и открывает новые перспективы для транспортной индустрии. Возможность уменьшить пробки, снизить аварийность, оптимизировать маршруты и улучшить доступность транспорта для людей с ограниченными возможностями – лишь несколько примеров того, как БТС становятся ключевым звеном в построении будущего транспортного движения. Повышение грузоподъемности специализированных беспилотников с их удешевлением – станет триггером к сокращению расходов на строительство и содержание сети аэродромов на удаленных территориях и иной транспортной инфраструктуры, а также приведет к существенным изменениям на рынке электронной торговли [4].

Использование в городской среде личных беспилотных автомобилей, а также автономных такси не освободит крупные города от высокой загрузки дорожной сети, а, скорее, увеличит ее. Потенциальный ежедневный пробег автономных машин которые лишены человеческих ограничений и не знают усталости, куда выше, чем у обычных авто. В этой связи более эффективным решением видится использование системы скоростного автобусного сообщения на основе беспилотных транспортных средств повышенной вместимости - Bus Autonomous Rapid Transit (BART). BART-системы активно используются в развивающихся

странах и представляют собой движение автобусов по физически отделенной, обособленной полосе с островками-остановками, оснащенными турникетами. Эксперименты с беспилотными системами BART уже ведутся по всему миру. Одно из их основных преимуществ – значительная дешевизна, по сравнению с легкорельсовым транспортом.

Использование БТС на выделенной полосе повышает безопасность перевозок за счет более предсказуемых сценариев поведения транспортного средства, взаимодействующего с «умной» инфраструктурой полосы (датчики, метки). Передовыми странами по внедрению беспилотного общественного транспорта считаются Китай, Сингапур, Франция, Германия, Швейцария, а также скандинавские страны. В Китае и Сингапуре уже запущено коммерческое использование автономных автобусов.

В июне 2022 года в Норвегии вышел на маршрут первый в Европе беспилотный автобус для перевозки пассажиров по городу. Полностью электрический автобус Karsan Autonomous e-АТАК турецкого производства с технологией автономного вождения 4-го уровня (по SAE) приступил к работе на маршруте в городе Ставангер [5]. Автономный электробус Karsan Autonomous e-АТАК способен передвигаться по запланированному маршруту без водителя со скоростью 50 км/ч днем и ночью при любых погодных условиях и осуществлять подъезд к остановкам, управлять процессами посадки и высадки пассажиров, обеспечивать корректное прохождение перекрестков и светофоров.

В России пока изучают опыт первого применения общественного беспилотного транспорта за рубежом, чтобы убедиться в его эффективности и безопасности. В нашей стране разработано несколько опытных проектов, у которых есть определенные перспективы в части промышленного производства и массового использования на дорогах общего пользования.

Использование беспилотных технологий может также увеличить эффективность и снизить себестоимость грузовых автомобильных перевозок.

Ключевые преимущества – это снижение затрат на топливо за счет более плавного вождения, без резких ускорений и торможений машины; экономия на расходах на персонал, техобслуживании и ремонте; сокращение сроков доставки грузов в среднем в два раза за счет исключения остановок для отдыха водителей. Кроме того, беспилотные грузовики могут снизить аварийность – автопилот выводит за рамки уравнения человеческий фактор [6].

Беспилотные грузовики активно испытываются на общих магистралях в США, в некоторых странах Европы и Азии. Лидерство в сегменте удерживают американские компании: Waymo – разработчик Google, Aurora Innovation Inc, TuSimple.

Россия также движется по пути внедрения беспилотных грузовых технологий. Одним из первых беспилотных грузовиков в России стал представленный в 2019 году КАМАЗ-4308 «Одиссей». Проект использовал серийный грузовой автомобиль, который оснащён системой компьютерного зрения Cognitive Pilot. Проект проходил тестовые испытания, но затем был заморожен.

С начала 2020 года на собственном производстве Камского автозавода эксплуатировался ещё один концепт – КАМАЗ-3373 «Челнок». Это бескабинная платформа с бортовым фургоном, которая оснащена электродвигателем и развивает скорость до 40 км/ч, запас хода – 50 км, грузоподъёмность – 10 тонн. Уникальная особенность – это полное отсутствие кабины и дублирование органов ориентации в пространстве (лидары, радары и камеры): любая сторона может быть как передней, так и задней частью грузовика, а фургон может разгружаться с обеих сторон. Предполагается, что на платформу можно будет устанавливать не только бортовой фургон, но и сцепку для создания беспилотных автопоездов [7]. Реализация проекта создаст возможность для первой в мире масштабной эксплуатации беспилотных грузовиков на всём протяжении целой магистрали, а не на отдельных участках в режиме тестирования. К 2030 году беспилотные перевозки планируется организовать на современных магистралях: М-11 Москва – Санкт-Петербург, М-1 «Беларусь», М-4 «Дон», М-12 Москва - Казань, ЦКАД.

Таким образом, ускоренное формирование флота беспилотных технологий возможно только на основе современной, динамично развивающейся производственной базы.

Список использованных источников

1. Третьяков А.А. и др. Перспективы развития беспилотной авиации для мониторинга кризисных ситуаций инфраструктуры Арктики // Актуальные проблемы технических и естественных наук в России и за рубежом: Сборник научных статей. – Москва, 2024. – С. 177-179.
2. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozm-na-period-do-2035-goda/> (дата обращения: 02.03.2026).
3. Демьянов В.А. и др. Инновационные проекты развития беспилотной авиации на современном этапе // Нанотехнологии: наука и производство. – 2024. – № 2/2024. – С. 52-56.
4. Воробьев А.А. и др. Современные тенденции развития военной автомобильной техники в России и за рубежом // Нанотехнологии: наука и производство. – 2024. – № 1/2024. – С. 98-102.
5. Папырин В.В. и др. Современные подходы к развитию беспилотной авиации для аварийно-спасательных формирований МЧС России // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Международной научно-практической конференции. – С. Петербург, 2024. – С. 77-82.
6. Цой А.А. и др. Инновационные проекты развития робототехнических технологий для пожарно-спасательных подразделений МЧС России // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы

Международной научно-практической конференции. – С. Петербург, 2024. – С. 49-53.

7. Мельник А.А. и др. Инновации в использовании беспилотной авиации в Арктической зоне России // Вопросы науки. – 2024. – № 2/2024. – С. 110 – 115.

THE RELEVANCE OF INNOVATIONS IN GROUND TRANSPORT AUTOMATION

A.A. Tretyakov¹, E.A. Nagorny², A.A. Winner³

*¹Sankt-St. Petersburg University of the State
Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
St. Petersburg, Russia, Russia*

*²Military Institute of Physical Culture
St. Petersburg, Russia, Russia,*

*³Private educational institution Gazprom School,
St. Petersburg, Russia, Russia*

The article discusses the relevance of the introduction of innovations and unmanned technologies in the automation of land transport. These innovative technologies based on artificial intelligence and advanced sensor systems are not only changing the landscape of the transportation industry, but also setting new standards for the future of traffic. In the next decade, experts expect a massive spread of unmanned technologies in Russia and the world.

Key words: unmanned technologies, automation, unmanned vehicles, automation of movement.

УДК 629.067

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.А. Третьяков¹, В.А. Демьянов², Е.А. Нагорный²

*¹Санкт-Петербургский университет государственной
противопожарной службы МЧС России,
г. Санкт-Петербург, Россия,*

*²Военный институт физической культуры,
г. Санкт-Петербург, Россия,*

В статье рассматривается направления совершенствования конструктивной и эксплуатационной безопасности автотранспортных средств - основы безопасности дорожного движения (ДД). Безопасность ДД определяет одно из

основных качеств автотранспортных систем, значение которых становится все более актуальным.

Ключевые слова: конструктивная и эксплуатационная безопасность, автотранспортные средства, дорожное движение, сертификация автомобиля.

Легковые, грузовые автомобили и автобусы являются основными источниками опасности для «уязвимых участников ДД» (пешеходов, велосипедистов и других двух- и трехколесных транспортных средств) и при их динамическом взаимодействии между собой в момент дорожно-транспортного происшествия (ДТП). Неудовлетворительные параметры и техническое состояние практически большинства конструктивных систем (элементов) автомобиля и неоптимальные показатели эксплуатационных свойств автотранспортных средств (АТС) могут явиться причиной возникновения ДТП и травмирования ее участников. Поэтому при создании автомобиля и совершенствовании отдельных его систем и свойств необходимо минимизировать вероятность появления в условиях эксплуатации условий и отказов, которые могут стать причиной ДТП. Анализ статистики ДТП показывает, что в России имеются большие резервы для повышения БДД, в том числе за счет повышения безопасности автотранспортных средств [1].

Безопасность ДД определяет одно из основных качеств автотранспортных систем, значение которых становится все более актуальным. Безопасность АТС характеризуется уровнем конструктивной и эксплуатационной безопасности. Конструктивная безопасность определяется комплексом свойств, влияющих на безопасность АТС и закладываемых в конструкцию автомобиля на стадиях его создания и производства [2].

Безопасность конструкции АТС (конструктивная безопасность) обеспечивается как при проектировании и создании новых моделей АТС, так и при производстве АТС. Перед началом проектирования изучаются имеющиеся законодательные акты (законы, ведомственные постановления, ПДД, требования к дорогам, топливам, системы сертификации и т.д.). Затем определяется объем нормативов, которым должна соответствовать разработанная модель. Основными нормативными документами при этом являются:

- Правила Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) и Глобальные технические предписания (ГТП ООН);
- стандарты ISO (Международной организации по стандартизации);
- директивы ЕС (Европейского сообщества);
- ПДД;
- ГОСТы, ОСТы, РД;
- национальные технические регламенты, действующие в РФ;
- национальные стандарты стран импортеров;
- фирменные нормативы.

Минимальным объемом нормативов являются перечень требований, которым должна соответствовать конструкция при сертификации автомобиля.

Перед началом производства АТС предприятие–изготовитель должно получить документ (сертификат) – «Одобрение типа транспортного средства», который является основанием для государственной регистрации каждого автомобиля в органах ГИБДД. При производстве АТС контроль осуществляется за счет функционирования на заводе-изготовителе системы обеспечения качества и проведением представителями органа по сертификации регулярных инспекций уровня обеспечения качества выпускаемой на заводе сертифицированной продукции [3].

Обеспечение безопасности при эксплуатации АТС (эксплуатационная безопасность) на первом этапе осуществляется при допуске к эксплуатации (регистрации АТС в органах ГИБДД), когда проверяется наличие сертификата, а также может ограничиваться допуск к эксплуатации автомобилей с большим сроком эксплуатации (10 или 15 лет); автомобилей, не предназначенных для правостороннего движения, и т.д. Система поддержания безопасного технического состояния АТС осуществляется эксплуатирующей организацией (или собственником), а результаты ее функционирования контролируются при проведении государственных технических осмотров [4].

Для обеспечения возможности проведения грамотной эксплуатации автомобиля с учетом требований безопасности проводится обучение персонала при лицензировании автомобильных перевозок.

Организации, которые выполняют ЕО, ТО и ТР, также могут получать сертификаты для обеспечения качественного выполнения этих работ при наличии минимально необходимого для этого перечня оборудования. Это также повышает уровень безопасности АТС в условиях эксплуатации. Органы ГИБДД должны контролировать использование водителями и пассажирами ремней безопасности, шлемов и других средств повышения безопасности [5].

Безопасность транспортных средств как источников возникновения ДТП, естественно, в большей степени определяет БДД в целом. Одновременно конструкция ТС по сравнению с другими составляющими автотранспортной системы подвергается непрерывной модернизации и тем самым появляются практические возможности для достаточно оперативного внедрения мероприятий, предупреждающих возникновение и снижающих тяжесть последствий ДТП [6].

О необходимости повышения безопасности ТС говорят высокие показатели аварийности в Российской Федерации, вызванные, в частности, недоработками как на этапе допуска к эксплуатации ТС, так и на этапе обеспечения безопасности при эксплуатации ТС.

Так, процедура сертификации оказывает существенное влияние на безопасность дорожного движения, являясь основополагающим фактором повышения безопасности ТС на стадиях их проектирования, производства и

эксплуатации. Предписания нормативных документов, регламентирующих технические требования, предъявляемые к автотранспортным средствам, и методы их испытаний положены в основу регламентации требований активной, пассивной и функциональной безопасности, обеспечение соответствия которым является основной задачей сертификации.

Сертификация транспортных средств - это действие «третьей», независимой от производителей и потребителей продукции, стороны, доказывающее, что должным образом идентифицированная продукция (транспортные средства), соответствует определенным нормативным документам, составляющим нормативную базу сертификации.

Определение перечня нормативных документов, которые регламентируют технические требования к транспортным средствам, является важным этапом при создании системы сертификации [7].

Российская Федерация как страна-участница Женевского Соглашения 1958 г. и Глобального соглашения 1998 г., приложением к которому являются Правила ООН и глобальные технические предписания ООН, приняла при сертификации транспортных средств в качестве основных нормативных документов международные Правила ООН и глобальные технические предписания, а также дополнительно национальные стандарты (ГОСТы, ОСТы, РД) в соответствии с утвержденными техническими регламентами [8]. В Женевском Соглашении определено, что термин «колесные транспортные средства, предметы оборудования и части» включает любые колесные транспортные средства, предметы оборудования и части, характеристики которых оказывают влияние на безопасность дорожного движения и охрану окружающей среды.

Таким образом, Правила ООН и глобальные технические предписания в качестве основных нормативных документов в отечественной системе стандартизации (технической регламентации) устанавливают уровень конструктивной безопасности колесных транспортных средств (легковых и грузовых автомобилей и их прицепов, автобусов, мототранспортных средств) и оказывают непосредственное влияние на безопасность дорожного движения и экологическую безопасность в стране. Следовательно, конструктивная безопасность является основой (базой), на которой строится безопасность АТС.

Список использованных источников

1. Мороз С.М. Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств: учебное пособие. – Москва: МАДИ, 2015. – 204 с.
2. Иванов и др. Автомобили: Теория эксплуатационных свойств: учебник. – Москва: Академия, 2013. – 176 с.
3. Демьянов В.А. и др. Специфика функционирования транспортной инфраструктуры Арктики на международной арене // Пути развития и

совершенствования технических наук в современной России: исторический опыт и вызовы современности: Сборник научных статей. – Москва: ООО "Издательство ВВМ", 2025. – С. 78-80.

4. Третьяков А.А. и др. Перспективы использования современных технологий в оборонно-промышленном комплексе России // Парадигмы социально-экономического развития России в новых реалиях: Сборник научных статей. – Краснодар: Новация, 2024. – С. 78-80.

5. Демьянов В.А. и др. Инструменты развития и приоритетные проекты транспортной инфраструктуры Арктики // Парадигмы социально-экономического развития России в новых реалиях: Сборник научных статей. – Краснодар: Новация, 2024. – С. 75-77.

6. Мачехин Н.Ю. и др. Влияние планового технического обслуживания на эффективность использования вооружения и военной техники // Естественные и технические науки: обсуждение проблем, пути совершенствования: Сборник научных статей. – Ульяновск: Зебра. – С. 116-118.

7. Нагорный Е.А. и др. Инновационные решения в модернизации и производстве вооружения на современном этапе // Информатизация, цифровизация, технический прогресс: новые возможности и достижения: Сборник научных статей. – Волгоград, 2024. – С. 69-71.

8. Коломиец В.А. и др. Вооружение, военная и специальная техника России на современном этапе развития // Место и роль междисциплинарных связей в сфере социально-гуманитарных, естественных технических исследований: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ульяновск, 2024. – С. 59-61.

ANALYSIS OF EXISTING REQUIREMENTS FOR ENSURING THE SAFETY OF MOTOR VEHICLES

A.A. Tretyakov¹, V.A. Demyanov², E.A. Nagorny²

*¹Sankt-St. Petersburg University of the State
Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
St. Petersburg, Russia,*

*²Military Institute of Physical Culture,
St. Petersburg, Russia, Russia*

The article examines the areas of improvement of the constructive and operational safety of motor vehicles - the fundamentals of road safety. DD safety defines one of the main qualities of motor transport systems, the importance of which is becoming increasingly relevant.

Key words: structural and operational safety, motor vehicles, road traffic, vehicle certification.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ И ИХ РЕШЕНИЙ В РАЗВИТИИ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

А.А. Третьяков¹, Е.А. Нагорный², А.А. Виннер³

¹*Санкт-Петербургский университет государственной
противопожарной службы МЧС России,
г. Санкт-Петербург, Россия,*

²*Военный институт физической культуры,
г. Санкт-Петербург, Россия,*

³*Частное общеобразовательное учреждение Газпром-школа,
г. Санкт-Петербург, Россия*

В статье рассматриваются направления и проблемы развития систем и средств комплексов с БПЛА, а также анализируются перспективы их применения в будущем. Большое внимание будет уделено анализу существующих проблем и их решений, а также предлагаются различные пути улучшения эффективности и функциональности систем и средств комплексов с БПЛА.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, перспективы развития, мониторинг, эффективность и функциональность систем.

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стремительно приобретают популярность и широко применяются в различных сферах, включая военную, гражданскую и научную области. Особое внимание уделяется развитию систем и средств комплексов с БПЛА, так как это является одной из ключевых составляющих для эффективного использования и интеграции БПЛА в различных задачах. Тема перспектив развития систем и средств комплексов с БПЛА является актуальной и вызывает интерес у широкого круга специалистов в силу потенциала и возможностей, которые они предоставляют [1].

Первые БПЛА были построены в начале 20 века и применялись в первую очередь для решения военных задач. Развитие технологий позволило создавать и использовать беспилотные воздушные суда (БВС) в гражданских, в том числе коммерческих целях. Сегодня БПЛА – это высокотехнологичные универсальные системы, которые востребованы в самых разных отраслях экономики.

Так впервые гражданское применение дронов анонсировала компания Amazon для доставки потребительских товаров в 2013 году. В 2021 г. объем мирового рынка беспилотных авиационных систем (БАС) по разным оценкам составил около \$27 млрд. Индустрия БПЛА стремительно развивается и к 2030 г. объем рынка может вырасти в 1,5 раза, превысив \$40 млрд. Стабильный ежегодный прирост в районе 9% будет обеспечен в первую очередь увеличением объема инвестиций и наращиванием рынка коммерческих услуг с использованием дронов [2].

Энергетический сектор – лидер по числу заказанных услуг на коммерческом рынке БПЛА. Дроны используют здесь для мониторинга состояния энергообъектов, инспекций инфраструктуры и выявления деформаций и отклонений. Беспилотники контролируют качество выполнения работ, оценивают расстояния и площади для планирования работ, формируют цифровые модели рельефа местности.

Также широко БВС применяются в сельском хозяйстве и строительстве. При этом самой быстрорастущей сферой является транспорт и складирование. Ключевыми игроками на рынке коммерческих дронов на сегодняшний день являются США и Китай. В то же время все больше растет популярность использования дронов в Европе и России [3]. Наиболее перспективными в экономическом плане направлениями развития рынка БАС признаны: строительство, сельское хозяйство, геологоразведка, мониторинг инфраструктуры, здравоохранение и аэродоставка грузов.

Главным ограничителем развития рынка БАС в России на сегодня остается нормативное регулирование. Не решены вопросы, относящиеся к дистанционному управлению, автономным полетам, перемещениям на сверхнизких высотах, полетам над людьми. В отношении БАС весом менее 30 кг ограничения в использовании минимальны. Вместе с тем для БАС свыше 30 кг требуется обязательная регистрация, получение большого количества сертификатов и допусков [4].

Всего в мире насчитывается более 1000 различных моделей БАС как для коммерческого, так и для потребительского сегмента, в России – более 150 моделей. С развитием рынка количество моделей БАС для различных сегментов будет увеличиваться в разы ежегодно. В настоящее время в России насчитывается более 70 разработчиков и компаний-производителей БАС, при этом доля их продаж на отечественном рынке составляет не более 15% от общего объема. В числе ключевых отечественных производителей БВС с наибольшим количеством коммерческих моделей – «Аэромакс», «Геоскан», «Аэрокон», ГК «Кронштадт», КБ «Русь», «Радар ммс», «ZalaAero» и другие.

Развитие отрасли беспилотной авиации в перспективе приведет к вытеснению традиционной, пилотируемой авиации из таких секторов рынка, как аэрофото- и видеосъемка, мониторинг земной поверхности и промышленных объектов, доставка малогабаритных грузов. Большинство участников рынка разрабатывает или эксплуатирует мультироторные БАС.

БВС уже активно заменяют пилотируемую авиацию везде, где требуется съемка, мониторинг и различного рода измерения. Высокий, но пока не реализованный потенциал БВС просматривается в сферах логистики, борьбы с чрезвычайными происшествиями и здравоохранении [5].

Применение БАС значительно сокращает финансовые (на 20-50%) и временные затраты по сравнению с использованием спутников или пилотируемой авиации. БАС применяются для аэрофотосъемки, создания цифровых моделей

рельефа и картографической основы, геоинформационных систем, топографических планов и 3D-карт местности, топографического мониторинга территорий. Использование беспилотников позволяет определить точный контур месторождений полезных ископаемых, провести аэрофотосъемку с применением специальной бортовой аппаратуры, составить ортофотопланы и топографические планы местности со специальными слоями и точками. При этом традиционные методы геологоразведки (геофизические, аналитические, геологические) отличаются высокая цена, низкая эффективность и затянутость процесса. Сочетание космического и беспилотного мониторинга более целесообразно. Стоимость летного часа БАС в 2 раза дешевле пилотируемой авиации, а выполняемые функции идентичны.

В сельском хозяйстве БАС применяются для распыления химикатов против вредителей и сорняков, посевных работ, оценки состояния сельхозугодий и мониторинга поголовья скота. БАС позволяют обрабатывать урожай в самых труднодоступных местах в любое время суток. Использование БАС в сельском хозяйстве способствует повышению урожайности более чем на 15 %.

БАС проводят аэрофото- и видеосъемку с использованием инфракрасных датчиков, тепловизоров, лидаров и других устройств в целях контроля состояния линий электропередач и дорог, трубопроводов, выявляют аварии, утечки, повреждение объектов, мониторят ход и динамику строительства объектов, следят за безопасностью. Применение БАС в этой сфере также выгоднее использования пилотируемой авиации – за счет сокращения временных и финансовых затрат в 3-5 раз [6].

БАС могут осуществлять доставку различных грузов, в том числе средств спасения и гуманитарной помощи, лекарств, продуктов, почты для отдаленных и труднодоступных территорий вместо железнодорожного, автомобильного и авиатранспорта. Использование БАС, согласно расчетам, значительно снижает стоимость и время доставки, снимает ограничения по работе в условиях плохой видимости. Например, в северных регионах доставка грузов с помощью БАС позволит удешевить перевозки грузов более чем в 2 раза по сравнению с пилотируемой малой авиацией.

Ключевым шагом для развития отрасли беспилотной авиации в России должен стать перевод услуг в этой сфере из разряда уникальных в массовые. Создание недорогой, стандартизированной услуги с фиксированными характеристиками и быстрым предоставлением клиентам будет иметь решающее значение для активного роста сегмента беспилотной авиации. Сейчас стоимость летного часа беспилотных и пилотируемых воздушных судов в России примерно сопоставима. Это объясняется высокой стоимостью отечественных моделей БАС, которые производятся штучно или выпускаются очень малыми сериями. Для того, чтобы от кустарного и мелкосерийного производства перейти к промышленному выпуску БАС, необходимо обеспечить устойчивый и прогнозируемый спрос для основных производителей. Для повышения доступности БАС для различных

групп потребителей требуется кардинально уменьшить капитальные затраты на их приобретение.

Объём ежегодно производимых БПЛА в России должен насчитывать тысячи единиц, тогда как текущие темпы прироста флота исчисляются лишь десятками выпущенных аппаратов в год. Ускоренное формирование флота БАС возможно только на основе современной, динамично развивающейся производственной базы. В свою очередь вывести производственные мощности отечественных компаний на новый уровень может массовый централизованный заказ наиболее эффективных и востребованных на рынке типов БАС. Оперативно справиться с такой комплексной задачей возможно только с помощью отраслевого оператора с гарантированной господдержкой, который возьмет на себя роль организующей структуры, развивающей рынок производства и потребления услуг с использованием беспилотников.

Таким образом, ускоренное формирование флота беспилотных технологий возможно только на основе современной, динамично развивающейся производственной базы. БПЛА представляют собой потенциал для изменения нашего мира, предоставляя улучшенные возможности комфорта, повышенную безопасность и эффективность.

Список использованных источников

1. Мельник А.А. и др. Инновации в использовании беспилотной авиации в Арктической зоне России // Вопросы науки. – 2024. – № 2/2024. – С. 110 – 115.
2. Демьянов В.А. и др. Инновационные проекты развития беспилотной авиации на современном этапе // Нанотехнологии: наука и производство. – 2024. – № 2/2024. – С. 52-56.
3. Третьяков А.А. и др. Перспективы развития беспилотной авиации для мониторинга кризисных ситуаций инфраструктуры Арктики // Актуальные проблемы технических и естественных наук в России и за рубежом: Сборник научных статей. – Москва, 2024. – С. 177-179.
4. Папырин В.В. и др. Современные подходы к развитию беспилотной авиации для аварийно-спасательных формирований МЧС России // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Международной научно-практической конференции. – С. Петербург, 2024. – С. 77-82.
5. Цой А.А. и др. Инновационные проекты развития робототехнических технологий для пожарно-спасательных подразделений МЧС России // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Международной научно-практической конференции. – С. Петербург, 2024. – С. 49-53.
6. Моисеев И.М. и др. Деятельность Российской Федерации по укреплению обороны и безопасности в Арктике // Вопросы развития, совершенствования

экономики, социологии и политологии: Сборник научных статей. – Краснодар: Новация. – С. 133-135.

ANALYSIS OF EXISTING PROBLEMS AND THEIR SOLUTIONS IN THE DEVELOPMENT OF UNMANNED AIRCRAFT

A.A. Tretyakov¹, V.A. Demyanov², A.A. Winner³

*¹Sankt-St. Petersburg University of the State
Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
St. Petersburg, Russia, Russia*

*²Military Institute of Physical Culture
St. Petersburg, Russia, Russia,*

*³Private educational institution Gazprom School,
St. Petersburg, Russia, Russia*

The article examines the directions and problems of the development of systems and facilities for complexes with UAVs, as well as analyzes the prospects for their use in the future. Much attention will be paid to the analysis of existing problems and their solutions, as well as various ways to improve the efficiency and functionality of systems and facilities of UAV complexes.

Key words: unmanned aerial vehicles, development prospects, monitoring, efficiency and functionality of systems.

УДК 629.3.053

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

А.А. Третьяков¹, И.С. Гусев², А.А. Виннер³

*¹Санкт-Петербургский университет государственной
противопожарной службы МЧС России,
г. Санкт-Петербург, Россия,*

*²Военный институт физической культуры,
г. Санкт-Петербург, Россия,*

*³Частное общеобразовательное учреждение Газпром-школа,
г. Санкт-Петербург, Россия*

В статье рассматриваются направления и проблемы внедрения интеллектуальных транспортных систем для оптимизации городского движения, повышения безопасности дорожного движения и сокращения экологического

воздействия транспорта на окружающую среду, а также перспективы дальнейшего их развития.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, автоматизация, безопасность дорожного движения, искусственный интеллект.

В эпоху одной из наиболее важных задач транспортной системы Российской Федерации является обеспечение максимальной эффективности функционирования дорожно-транспортного комплекса страны путем повышения качества и безопасности предоставляемых транспортных услуг и удовлетворенности населения их эффективностью и комфортом. А одним из инструментов реализации цифровой трансформации является внедрение и функционирование на дорожной сети интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [1].

Интеллектуальные транспортные системы – интеллектуальная система управления, использующая инновационные разработки в моделировании транспортных систем и регулировании транспортных потоков, интегрирующая современные информационные и телематические технологии и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реализации максимально эффективных сценариев управления транспортно-дорожным комплексом региона, конкретным транспортным средством или группой транспортных средств с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта [2].

Одной из целей внедрения ИТС на автомобильных дорогах является создание системы, которая позволяет в реальном времени контролировать и управлять транспортными потоками. Это способствует увеличению пропускной способности улично-дорожной сети, снижению издержек, повышению уровня безопасности дорожного движения и минимизации экологического ущерба.

Другая задача ИТС заключается в том, чтобы удовлетворить увеличивающийся спрос на пассажирские перевозки, обеспечив равновесие между пропускной способностью дорог и их фактической загрузкой, а также повысить безопасность движения и сократить выбросы вредных веществ. В ближайшей перспективе развитие ИТС подразумевает глубокую интеграцию современных информационных, коммуникационных технологий и автоматизированных систем с транспортной инфраструктурой, транспортными средствами и всеми участниками дорожного движения [3].

Ключевая долгосрочная цель - объединение разрозненных инструментальных подсистем городских агломераций на базе единой интеграционной платформы. Это позволит создать национальную систему ИТС, охватывающую все автомобильные дороги общего пользования. Создание интеллектуальной транспортной системы позволит оптимизировать движение общественного транспорта, благодаря чему повысится средняя скорость движения автомобилей, увеличится пропускная способность городских магистралей, уменьшится количество заторов. И, конечно же, повышается безопасность всех участников дорожного движения.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529 ИТС, включая автономные транспортные средства, определены как приоритетные направления научно-технологического развития, а транспортные технологии (в том числе беспилотные и автономные системы) вошли в перечень важнейших наукоемких технологий. Это обуславливает актуальность темы внедрения ИТС в контексте развития технологий и урбанизации [4].

В настоящее время в Российской Федерации активно и достаточно успешно реализуется процесс цифровой трансформации дорожной отрасли, предполагающий принципиальное изменение бизнес-модели ее деятельности за счет использования новых цифровых инструментов и технологий. Интеллектуальные транспортные системы сегодня активно внедряются в регионах Российской Федерации. В числе лидеров – Тюменская, Красноярская, Рязанская, Белгородская, Сочинская, Тульская, Пермская, Казанская агломерации. Впервые с этого года «умные» технологии стали внедрять в Смоленской и Курганской областях, Республике Северная Осетия – Алания, Приморском крае и других субъектах. Помимо развития непосредственно интеллектуальных транспортных систем в регионах ведется серьезная научно-исследовательская работа, разрабатывается новое отечественное оборудование и софт, дорабатываются и актуализируются стандарты, создаются пилотные зоны и лаборатории, идет оптимизация подготовки кадров в данной сфере [5].

Ключевым трендом этих проектов является широкое использование и развитие цифровых платформ, нейронных сетей, искусственного интеллекта, интернета вещей и технологий работы с большими данными.

Необходимость скоординированного развертывания ИТС на автомобильных дорогах общего пользования и улично-дорожной сети муниципальных образований, обеспечения их функциональной совместимости, а также приоритетность создания ИТС в дорожно-транспортном комплексе установлены Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года и Концепцией создания и функционирования национальной сети ИТС на автомобильных дорогах общего пользования [6].

Формирование единой цифровой экосистемы транспортного комплекса Российской Федерации требует проработки вопросов единства данных и технологической совместимости создаваемых в рамках цифровой трансформации транспортной отрасли цифровых платформ, информационных систем и информационно-коммуникационной инфраструктуры и сервис-ориентированной архитектуры их реализации.

С учетом установленных приоритетов цифрового развития важным вопросом становится обеспечение технологической интеграции и информационного взаимодействия формируемой национальной сети ИТС с национальной цифровой транспортно-логистической платформой (НЦТЛП) в целях реализации мультимодальных грузовых и пассажирских перевозок и организации цифровых транспортных коридоров [7].

Эскалация угроз информационной безопасности в условиях напряженной международной обстановки и беспрецедентного санкционного давления со стороны недружественных стран привела к росту требований в части импортнезависимости элементной и технологической базы, а также информационной

безопасности создаваемых в рамках цифровой трансформации транспортного комплекса информационных и технологических ресурсов. И здесь безусловным приоритетом является безопасность объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ), функционирующих в сфере транспорта, в том числе относящихся к ИТС [8].

Актуальной в этих условиях становится проблема отсутствия квалифицированных кадров, обеспечивающих внедрение и развитие ИТС, а также специалистов, выполняющих задачи по созданию отечественных образцов периферийного оборудования ИТС, разработке и адаптации инновационных технологий под нужды и задачи, решаемые в области ИТС. Поэтому требуется оценка кадровой потребности в области ИТС, разработка квалификационных требований к персоналу, обеспечивающему функционирование и техническую поддержку ИТС, подготовка образовательных программ для средних профессиональных и высших учебных заведений.

Таким образом, ускоренное внедрение и развитие ИТС возможно только на основе современной, динамично развивающейся производственной базы и квалифицированных кадров и специалистов, обеспечивающих их функционирование и техническую поддержку.

Список использованных источников

1. Воробьев А.А. и др. Современные тенденции развития военной автомобильной техники в России и за рубежом // Нанотехнологии: наука и производство. – 2024. – № 1/2024. – С. 98-102.

2. Демьянов В.А. и др. Инновационные подходы к использованию робототехнических комплексов в интересах МЧС России // Нанотехнологии: наука и производство. – 2024. – № 2/2024. – С. 84-88.

3. Третьяков А.А. Обеспечение безопасности транспортной инфраструктуры МЧС России в Арктической зоне Российской Федерации // Трансформация науки и образования в современном обществе: теория и практика междисциплинарных исследований: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2024. – С. 133-134.

4. Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий». – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50755/> (дата обращения: 04.03.2026).

5. Интеллектуальные транспортные системы – уровень зрелости! – Режим доступа: <https://www.itsjournal.ru/articles/digital-region/intellektualnye-transportnye-sistemy-uroven-zrelosti/> (дата обращения: 04.03.2026).

6. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda/> (дата обращения: 04.03.2026).

7. Марков И.С. и др. Развитие коммуникационных технологий и систем связи для обеспечения деятельности спасательных центров МЧС России в

Арктическом регионе // Стратегии развития и совершенствования науки и образования в новой реальности: материалы XXVI Всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар, 2023. – С. 172-173.

8. Третьяков А.А. Развитие коммуникационных технологий и систем обеспечения деятельности единой транспортной системы в Арктике // Наука и образование в новых реалиях: проблемы, дискуссии, пути совершенствования: материалы XXXII Всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар, 2023. – С. 177-178.

DIRECTIONS OF DEVELOPMENT AND PROBLEMS OF IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

A.A. Tretyakov¹, I.S. Gusev², A.A. Winner³

*¹Sankt-St. Petersburg University of the State
Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
St. Petersburg, Russia,*

*²Military Institute of Physical Culture,
St. Petersburg, Russia, Russia,*

*³Private educational institution Gazprom School,
St. Petersburg, Russia, Russia*

The article discusses the directions and problems of implementing intelligent transport systems to optimize urban traffic, improve road safety and reduce the environmental impact of transport on the environment, as well as the prospects for their further development.

Key words: intelligent transport systems, automation, road safety, artificial intelligence.

УДК 622

ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

К.З. Тугушев

*Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,
г. Саратов, Россия*

В настоящей статье представлен обзор современных технологий и методов, применяемых на всех этапах жизненного цикла автомобильных дорог – от проектирования до ремонта и эксплуатации.

Ключевые слова: автомобильные дороги, жизненный цикл, проектирование, ремонт, эксплуатация, строительство.

Проектирование автомобильных дорог представляет собой сложный многопараметрический процесс, основанный на учете транспортных, геологических, климатических, экономических и прочих факторов. Но основной задачей проектирования является создание безопасности дорожного движения, конструкции на протяжении всего жизненного цикла дороги.

Именно поэтому прогресс в области дорожного строительства во многом определяется решением ряда фундаментальных научно-технических задач, например, одной из ключевых проблем является глубокое изучение свойств грунтов, которые служат основанием для дорожных конструкций или исследование закономерностей водно-теплового режима земляного полотна, так как именно от него зависит устойчивость и долговечность дороги.

Процесс проектирования начинается с проведения инженерных изысканий, включающих геодезические, геологические и гидрологические исследования, где уже полученные данные используются для выбора оптимального направления трассы, оценки условий строительства и определения конструктивных решений. Существенное значение имеет трассирование дороги, при котором учитываются рельеф местности, существующая застройка и экологические ограничения.

Одним из ключевых элементов данного подхода является применение современных технологий сбора и обработки информации о местности.

Использование геоинформационных технологий позволяет получать высокоточные данные о рельефе, геологическом строении и других характеристиках территории. Это, конечно же, существенно повышает качество инженерных изысканий и снижает вероятность ошибок на последующих этапах проектирования.

Значительный прогресс достигнут и в области автоматизации проектных работ: современные системы автоматизированного проектирования предоставляют инженерам широкий набор инструментов для создания цифровых моделей местности, выбора оптимального положения трассы, проектирования продольных и поперечных профилей дороги, а также расчета дорожных конструкций. Кроме того, такие системы позволяют выполнять оценку различных проектных решений и выбирать наиболее эффективные из них с учетом заданных критериев.

При этом здесь расчет дорожной одежды является одним из ключевых этапов проектирования, так как конструкция дорожной одежды, как правило, включает несколько слоев, каждый из которых выполняет определенную функцию. И поэтому при расчетах учитываются интенсивность движения, нагрузки от транспортных средств, температурные колебания и воздействие влаги.

По этим причинам, современные методы расчета основаны на использовании многослойных моделей и теории упругости, что позволяет более точно оценивать напряженно-деформированное состояние конструкции.

Само строительство автомобильных дорог включает комплекс технологических процессов, направленных на создание прочной и долговечной дорожной конструкции. И тут уже важнейшим этапом является подготовка основания,

включающая расчистку территории, устройство земляного полотна и создание эффективной системы водоотвода, где качество выполнения этих работ во многом определяет срок службы дороги.

Технологии устройства дорожных покрытий постоянно совершенствуются. Особое внимание уделяется разработке новых видов асфальтобетонных смесей, учитывающих их технологические особенности и условия эксплуатации. Исследования направлены на изучение поведения асфальтобетона в различных климатических условиях, что позволяет разрабатывать более устойчивые и долговечные покрытия. Параллельно ведется развитие технологий цементобетонных покрытий, так как использование неорганических вяжущих и специальных химических добавок позволяет создавать бетоны с повышенной прочностью и долговечностью. Перспективным направлением является строительство непрерывно армированных цементобетонных покрытий, которые характеризуются высокой устойчивостью к образованию трещин и длительным сроком службы.

Разработка технологий укладки бетона также открывает новые возможности для повышения эффективности строительства и снижения затрат.

Также уже современные методы укладки и уплотнения дорожных покрытий основаны на применении автоматизированной техники с системами контроля качества. Использование спутниковой навигации и датчиков позволяет обеспечивать высокую точность укладки и равномерность уплотнения. Это существенно повышает качество покрытия и его эксплуатационные характеристики.

В частности, важную роль играет развитие дорожного машиностроения, поскольку расширение номенклатуры и совершенствование дорожных машин способствует повышению производительности труда и улучшению качества выполняемых работ. Автоматизация и механизация процессов позволяют значительно сократить сроки строительства и снизить влияние человеческого фактора.

Стадия эксплуатации автомобильных дорог направлена на поддержание их транспортно-эксплуатационных характеристик в течение всего срока службы. Важнейшим элементом является систематический мониторинг состояния дорожного покрытия, который позволяет своевременно выявлять дефекты и принимать меры по их устранению.

Современные системы управления дорожными активами позволяют грамотно спланировать работы по содержанию и ремонту. А анализ больших массивов данных позволяет прогнозировать развитие дефектов и переходить к превентивной стратегии обслуживания.

Наиболее распространенными дефектами дорожных покрытий являются трещины, колейность, выбоины и разрушение кромок. Их возникновение обусловлено воздействием транспортных нагрузок, температурных колебаний, влаги, а также возможными ошибками на этапах проектирования и строительства.

И своевременное выявление и устранение дефектов является ключевым условием продления срока службы дороги.

В противном случае необходим ремонт автомобильных дорог, который представляет собой комплекс мероприятий, направленных на восстановление эксплуатационных характеристик дорожного покрытия. В зависимости от степени повреждений и износа различают текущий, средний и капитальный ремонт, а также реконструкцию.

Современные методы ремонта включают также широкий спектр технологий. Одним из наиболее распространенных является ямочный ремонт, применяемый для устранения локальных повреждений. Более эффективным методом является фрезерование изношенного слоя с последующей укладкой нового покрытия, что позволяет восстановить ровность и прочность дорожной одежды.

Важное место занимает технология ресайклинга, предусматривающая переработку существующего покрытия с повторным использованием материалов. Это позволяет существенно снизить затраты и уменьшить потребление природных ресурсов. Также применяются методы поверхностной обработки, такие как микросюрфейсинг, которые позволяют продлить срок службы покрытия без значительных затрат.

Таким образом, использование современных технологий и цифровых инструментов, инновационных материалов и развитие методов управления жизненным циклом позволяют существенно повысить качество дорожной инфраструктуры.

Список использованных источников

1. Дмитриев В.Н. Развитие системы проектирования, строительства и ремонта автомобильных дорог в Свердловской области: дис. ... д-ра техн. наук. - Екатеринбург, 2007.
2. Евгеньев И.Е., Казарновский В.Д. Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. – Москва: Транспорт, 1976. – 270 с.
3. Пудов Ю. Выбор геотекстиля. Рекомендации проектировщикам. Технический текстиль. – 2002. – № 3. – с.9.

INNOVATIVE DIRECTIONS OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF HIGHWAYS

K.Z. Tugushev

*Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin,
Saratov, Russia*

This article provides an overview of modern technologies and methods used at all stages of the life cycle of highways – from design to repair and operation.

Keywords: highways, life cycle, design, repair, operation, construction.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

К.З. Тугушев

*Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,
г. Саратов, Россия*

Представлено описание современных строительных машины и оборудование, а также ключевые направления их автоматизации. Анализируются технологические тенденции и их влияние на эффективность строительного производства.

Ключевые слова: строительные машины, автоматизация, строительное оборудование, производительность, безопасность.

Технический прогресс последних десятилетий привёл к активному появлению автоматизации и цифровых технологий, трансформируя традиционные методы организации строительного производства.

Существенное увеличение темпов строительства достигается благодаря переходу к индустриальным методам возведения зданий. В современных условиях строительство всё чаще представляет собой не разрозненный набор операций, а целостный механизированный процесс, основанный на использовании сборных конструкций. Эти элементы изготавливаются на специализированных предприятиях, таких как домостроительные комбинаты, где производство осуществляется с высоким уровнем механизации и автоматизации и уже в результате строительная площадка превращается в место монтажа готовых элементов, что значительно сокращает сроки выполнения работ и повышает их качество.

На современном этапе технологического развития особое значение приобретает комплексная механизация строительных процессов. Речь идёт не только о применении отдельных машин, но и о создании взаимосвязанных систем оборудования, обеспечивающих выполнение всех технологических операций. Выходит, что использование базовых машин в сочетании с различными навесными и специализированными устройствами позволяет повысить производительность труда и эффективность использования ресурсов. При этом именно оснащённость строительных организаций как крупной техникой, так и малой механизацией, включая ручные машины и специализированные комплекты для выполнения отделочных работ играет важную роль.

Строительные машины представляют собой совокупность технических средств, предназначенных для выполнения различных операций на строительных объектах. Они используются при разработке грунта, транспортировке материалов, возведении конструкций, а также при выполнении отделочных и дорожных работ. Такое разнообразие строительной техники обусловлено широким спектром задач, выполняемых в процессе строительства.

Традиционно строительные машины классифицируются по функциональному назначению, степени мобильности и уровню автоматизации. В зависимости от выполняемых функций выделяют землеройные, подъёмно-транспортные, дорожно-строительные, бетонные и отделочные машины, а по степени мобильности их могут различать как стационарные, передвижные и самоходные установки. Особый интерес представляет классификация по уровню автоматизации, включающая ручные, механизированные, автоматизированные и роботизированные системы.

Современное строительное оборудование характеризуется высокой производительностью, универсальностью и надёжностью. Наиболее распространёнными являются экскаваторы, применяемые для разработки грунта, бульдозеры, используемые при планировке территорий, подъёмные краны, обеспечивающие перемещение тяжёлых грузов, а также оборудование для бетонных работ, включая бетононасосы и смесительные установки.

Значительное место в системе строительного производства занимает дорожно-строительная техника, которая представляет собой совокупность машин и транспортных средств, предназначенных не только для строительства, но и для эксплуатации и обслуживания дорожной инфраструктуры. Несмотря на широкое распространение, терминология в данной области остаётся неоднозначной: используются различные обозначения, включая аббревиатуры и профессиональные термины. Тем не менее, роль этой техники трудно переоценить, так как развитие транспортной сети напрямую связано с экономическим ростом и эффективностью функционирования строительной отрасли.

Итак, развитие строительной техники тесно связано с внедрением автоматизации. Под автоматизацией понимается использование систем управления, позволяющих выполнять технологические операции с минимальным участием человека. В зависимости от степени внедрения выделяют частичную, комплексную и полную автоматизацию. На современном этапе наибольшее распространение получила частичная и комплексная автоматизация, тогда как полностью автономные системы находятся на стадии активного развития. Такие современные системы управления способны выполнять диагностику технического состояния оборудования, контролировать параметры работы и предоставлять оператору необходимую информацию в режиме реального времени. Кроме того, они позволяют оптимизировать режимы работы основных агрегатов, таких как гидравлические системы, что способствует снижению износа оборудования и повышению его надёжности.

Одним из наглядных примеров эффективного применения микропроцессорных технологий в строительстве является использование автоматических ограничителей нагрузки в самоходных кранах с телескопическими стрелами. Такие системы играют ключевую роль в обеспечении безопасной эксплуатации техники, предотвращая её перегрузку и возможные аварийные ситуации, и благодаря встроенным датчикам и вычислительным модулям осуществляется непрерывный контроль параметров работы крана, что значительно повышает его надёжность и расширяет функциональные возможности.

Следует отметить, что автоматизация наиболее эффективна только в условиях комплексной механизации. Попытки внедрения автоматизированных решений в частично механизированные процессы часто не дают положительного результата, а иногда даже замедляют развитие производства. Это связано с тем, что отсутствие целостной технической базы не позволяет в полной мере реализовать преимущества автоматизации.

При этом важно понимать, что автоматизация отдельных операций, даже если они являются частью общего технологического процесса, не способна существенно изменить эффективность всей системы. Недостаточный уровень механизации становится серьёзным препятствием для внедрения автоматизации, поскольку отдельные улучшения не обеспечивают необходимого синергетического эффекта. Только системный подход, охватывающий весь производственный цикл, может привести к значительным результатам.

Также одной из серьёзных проблем, сдерживающих развитие отрасли, является несоответствие между оптимальной структурой машинного парка и фактическим состоянием используемой техники. Недостаточная комплексная механизация приводит к снижению производительности труда и замедлению внедрения новых технологий.

Таким образом, современное строительное производство развивается в направлении дальнейшей механизации и автоматизации.

В перспективе роль автоматизированных систем будет только возрастать, что приведёт к формированию принципиально новых подходов к организации строительного производства.

Список использованных источников

1. Габдуллин Т.Р. Новые технологии строительства дорог в России // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. Сборник докладов Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – Т.1. – С. 109-113.

CONSTRUCTION MACHINERY AND THEIR AUTOMATION IN THE CONTEXT OF TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

K.Z. Tugushev

*Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin,
Saratov, Russia*

A description of modern construction machinery and equipment, as well as key areas of their automation, is presented. Technological trends and their impact on the efficiency of construction production are analyzed.

Keywords: construction machinery, automation, construction equipment, productivity, safety.

ОБЗОРНЫЙ АНАЛИЗ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН МАЛОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Б.Х. Умаров, С.В. Суменков

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

Гусеничные машины малой грузоподъемности представляют собой специализированную технику, предназначенную для решения широкого спектра задач в условиях ограниченной проходимости и сложных рельефов местности. Такие машины широко используются в сельском хозяйстве, строительстве, лесозаготовительной промышленности, коммунальном обслуживании и спасательных операциях.

Ключевые слова: гусеничные многоцелевые платформы, зарубежные, отечественные.

Существует несколько образцов гусеничных многоцелевых платформ грузоподъемностью 500 кг: как зарубежных, так и отечественных.

Рассмотрим зарубежные.

Gereon RCS (компания *ARX Robotics*, Германия) (рис. 1). Гусеничная роботизированная платформа с грузоподъемностью до 500 кг и дальностью действия до 40 км. Входит в линейку модульных роботизированных систем *ARX Robotics*, способна нести дроны или датчики.

DH:REGION (бренд *DRONESHUB*) (рис. 2). Роботизированная платформа на базе гусеничного шасси для перевозки грузов, патрулирования, охраны территорий, мониторинга, работы в опасных условиях. Грузоподъемность – 500 кг, габариты – 160×130×60 см. Может оснащаться поворотной камерой с трансформатором, дополнительным тепловизионным модулем и двумя типами прожекторов – обычным и инфракрасным.



Рисунок 1 – *Gereon RCS*



Рисунок 2 – DH:REGION

Отечественные.

«Импульс-М». Автономная роботизированная платформа с высокой проходимостью (рис. 3). Грузоподъемность гусеничной платформы при углах подъёма до 30° – 500 кг, прицепа – до 1500 кг. Платформа применяется для расчистки заснеженных дорог, заграждений, завалов, земляных работ, спасательных работ в зонах чрезвычайных ситуаций. Есть опция изменения конфигурации платформы и возможность присоединения дополнительных быстросъёмных модулей.



Рисунок 3 – «Импульс-М»

«Каракал». Компактный гусеничный робот, который можно оснастить оборудованием для широкого спектра задач (рис. 4). Грузоподъёмность платформы – более 500 кг, запас хода – 150 км. Комплекс оборудован системой дистанционного управления (РТК-Л), которая включает камеры, тепловизор, навигационную систему и помехозащищённый радиопередатчик. Позволяет управлять платформой с помощью пульта управления на расстоянии до 2 км, в том числе в ночное время.



Рисунок 4 – «Каракал»

«Угра». Безэкипажный дистанционно-управляемый многоцелевой гусеничный комплекс. Грузоподъёмность – 500 кг, скорость хода – до 20 км/ч. Вес платформы без дополнительной полезной нагрузки – 450 кг. Способна выполнять эвакуационные задачи и задачи огневой поддержки после оснащения турельными пулемётными комплексами и дистанционно-управляемыми боевыми модулями ПТРК «Конкурс-М» и «Корнет».



Рисунок 5 – «Угра»

Список использованных источников

1. Иванов И.И., Петров А.А. Анализ современных тенденций развития строительной техники // Строительные науки и технологии. – 2022. – № 4. – С. 87–93.
2. Карпов Н.С. Эксплуатационные качества малых гусеничных машин сельскохозяйственного назначения / Н.С. Карпов, Д.В. Николаев // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 1. – С. 45–51.
3. Кузьмина О.Л. Особенности выбора оптимальной техники для лесного хозяйства / О.Л. Кузьмина, Е.Н. Смирнова // Лесотехнический журнал. – 2023. – № 2. – С. 120–126.
4. Лебедин Ю.М. Оптимизация конструктивных решений гусеничных тракторов малой мощности // Вестник машиностроения. – 2022. – № 6. – С. 56–62.
5. Морозова Г.Б. Прогрессивные тенденции развития малогабаритной гусеничной техники для коммунальных служб / Г.Б. Морозова, Р.Р. Харламов // Проблемы коммунального хозяйства и пути их решения. Сборник научных трудов. – Москва: Издательство МГСУ, 2023. – С. 153–161.
6. Сидоров П.К. Опыт эксплуатации импортных моделей гусеничных автомобилей в условиях российского климата // Автомобильный транспорт. – 2021. – № 3. – С. 101–108.
7. Хохлов В.Е. Использование инновационных технологий в производстве гусеничного транспорта малой грузоподъемности // Автотранспортное предприятие. – 2022. – № 5. – С. 67–74.
8. Яковлев Б.Ф. Конструктивные особенности и эксплуатационные свойства отечественных моделей гусеничных маломощных тракторов / Б.Ф. Яковлев, А.П. Михайлов // Технические науки и промышленность. – 2023. – № 1. – С. 115–123.

OVERVIEW ANALYSIS OF LIGHT-DUTY TRACKED VEHICLES

B.Kh. Umarov, S.V. Sumenkov

*Penza State University,
Penza, Russia*

Light-duty tracked vehicles are specialized equipment designed to solve a wide range of tasks in conditions of limited cross-country ability and difficult terrain. Such machines are widely used in agriculture, construction, the logging industry, public utilities and rescue operations.

Keywords: tracked multipurpose platforms, foreign, domestic.

ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 КВ**В.О. Ушаков***Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассматривается актуальная проблема воздействия зарядной инфраструктуры электротранспорта на качество электроэнергии в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ. Подробно анализируются физические процессы, возникающие при работе зарядных станций как нелинейных потребителей. Особое внимание уделяется вопросам генерации высших гармоник, вызывающих несинусоидальность напряжения, а также проблеме несимметрии фаз, возникающей при массовом использовании однофазных зарядных устройств. Описаны негативные последствия ухудшения показателей качества электроэнергии: перегрев кабельных линий, преждевременный износ трансформаторного оборудования, сбои в работе автоматики и электродвигателей. В работе также освещены технологические различия между разными типами зарядных станций и их способность к компенсации искажений. В заключение предлагаются инженерные и организационные методы минимизации негативного влияния, включая внедрение «умного» управления нагрузкой и технологий двустороннего перетока энергии, что позволяет сохранить надежность и устойчивость городских электросетей в условиях растущего парка электромобилей.

Ключевые слова: зарядные станции для электромобилей, качество электроэнергии, сети 0,4 кВ, гармонические искажения, несимметрия напряжений.

Массовая электрификация транспорта является одним из ключевых трендов современной энергетики и экологической политики. Электромобили и гибридные автомобили, воспринимаемые обществом прежде всего как средство снижения выбросов CO₂, представляют собой сложную электротехническую нагрузку. Подключение десятков и сотен тысяч таких устройств к распределительным сетям низкого напряжения (0,4 кВ) ставит перед энергетиками принципиально новые вопросы.

Главный из них заключается не просто в увеличении потребляемой мощности, а в качественном изменении характера нагрузки и её влиянии на показатели качества электроэнергии (ПКЭ). Зарядные станции для электротранспорта, являясь нелинейными и часто несимметричными потребителями, способны существенно исказить синусоидальность напряжения, вызывать отклонения частоты и создавать дисбаланс фаз, что в конечном итоге угрожает стабильности всей питающей сети.

Основным элементом любой зарядной станции является выпрямитель и преобразователь частоты. Именно эта топология определяет нелинейный характер потребления тока. В отличие от классической активной нагрузки (например, лампы накаливания или ТЭНа), зарядное устройство потребляет ток не

непрерывно на протяжении всей синусоиды напряжения, а короткими импульсами в моменты пикового напряжения [1].

Это приводит к генерации высших гармоник в сети. Высшие гармоники – это кратные основной частоте (50 Гц) составляющие тока и напряжения, которые накладываются на идеальную синусоиду, искажая её форму. Наибольшую опасность представляют 3-я, 5-я, 7-я, 11-я и 13-я гармоники. Коэффициент несинусоидальности напряжения (THD) является одним из ключевых параметров качества электроэнергии, и массовое использование некомпенсированных зарядных станций может привести к его недопустимому росту.

Последствия высокой гармонической нагрузки для сетей 0,4 кВ многообразны и носят кумулятивный эффект. Во-первых, токи высших гармоник, протекая по проводникам, вызывают дополнительный нагрев, который не учитывается в расчетах теплового действия тока промышленной частоты. Это приводит к преждевременному старению изоляции кабелей и перегреву обмоток трансформаторов на трансформаторных подстанциях.

Во-вторых, гармоники негативно влияют на работу другого электрооборудования: вызывают сбои в работе электроники, ложные срабатывания автоматических выключателей, увеличивают потери в магнитопроводах электродвигателей и создают вибрацию в валопроводах. В-третьих, гармоники существенно снижают коэффициент мощности ($\cos \varphi$), что увеличивает реактивную нагрузку на сеть и требует установки дополнительных компенсирующих устройств [2].

Помимо гармонических искажений, серьезной проблемой является несимметрия напряжений, возникающая при подключении однофазных зарядных станций. Большинство легковых автомобилей, особенно на начальном этапе внедрения, заряжаются от обычных однофазных розеток или специализированных однофазных зарядных боксов.

Если распределить подключение таких станций по фазам неравномерно, возникает перекос фаз. На одной фазе, к которой подключено наибольшее количество зарядок, напряжение просаживается из-за высокой токовой нагрузки, в то время как на двух других фазах напряжение может даже возрасти. Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности является критическим параметром: его превышение приводит к выходу из строя трехфазных электродвигателей в лифтах, насосах и системах вентиляции жилых домов, так как в них возникают обратные магнитные поля, тормозящие ротор и вызывающие перегрев [3].

Нельзя игнорировать и влияние режимов работы зарядных станций на отклонения напряжения. Современные быстрые зарядные станции постоянного тока (DC) потребляют огромную мощность (от 50 до 350 кВт) в течение короткого промежутка времени. Хотя подключаются они, как правило, к отдельным трансформаторам или мощным распределительным пунктам, их импульсный характер нагрузки создает провалы и кратковременные перенапряжения в питающей сети.

В жилых кварталах ситуация усугубляется вечерним пиком нагрузок, когда жители возвращаются с работы и массово ставят автомобили на зарядку, одновременно включая бытовую технику. Это приводит к наложению пиков и значительному падению напряжения в конце линий 0,4 кВ, что вызывает мерцание

света (фликкер) и некорректную работу чувствительной электроники у всех потребителей, подключенных к данному трансформатору [4].

Современные исследования показывают, что уровень влияния зарядных станций на сеть зависит не только от их количества, но и от технологии. Зарядные станции, оснащенные активными выпрямителями и современными силовыми модулями на IGBT-транзисторах, способны выполнять функцию активной фильтрации гармоник и даже компенсировать реактивную мощность, работая в режиме активного фильтра.

Такие устройства могут подстраивать форму потребляемого тока, чтобы минимизировать искажения в точке подключения. Однако стоимость таких решений выше, и на рынке пока доминируют более простые, а значит, и более "грязные" с точки зрения электромагнитной совместимости модели [5].

Для минимизации негативного влияния на показатели качества электроэнергии в сетях 0,4 кВ необходим комплексный подход. На этапе проектирования жилых комплексов и коммерческих зданий следует закладывать резервы мощности и предусматривать установку фильтрокомпенсирующих устройств. Целесообразно внедрение "умных" зарядных станций с функцией динамического управления нагрузкой (Load Balancing), которые автоматически снижают мощность заряда при росте общедомового потребления.

Также эффективной мерой является стимулирование двухстороннего обмена энергией (технология Vehicle-to-Grid, V2G), когда аккумуляторы электромобилей работают как буфер, сглаживая пики потребления и поддерживая качество напряжения в сети. Только сочетание технологических инноваций и грамотного планирования позволит интегрировать миллионы электромобилей в существующую инфраструктуру без ущерба для надежности и качества электроснабжения.

Список использованных источников

1. Баканова Е.И., Булаев Е.А., Незевак В.Л. Оценка показателей графиков нагрузки трансформаторных подстанций при развитии сети зарядных станций электромобилей // Известия Транссиба. – 2025. – №3 (63).

2. Воронин В.А. Управление напряжением в низковольтных распределительных сетях в условиях домашних зарядных устройств электромобилей / В.А. Воронин, Ф.С. Непша. – Текст: непосредственный // iPolytech Journal. – 2024. – Т. 28. - № 2.

3. Плетнев С. Экологичная техника требует заряда. Гудок. Выпуск: № 102 (27924). – Текст: электронный. – URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1674415> (дата обращения: 15.03.2026).

4. Сарасвати В.Н., Рамачандран, В.П. (2024). Комплексный обзор технологий зарядных устройств, типов и моделей зарядных станций для электромобилей. Heliyon, 10(20), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38945>.

5. Булатов Ю.Н. Применение энергорутеров для подключения зарядных устройств электромобилей / Ю.Х. Булатов, А.В. Крюков, В.В. Кижин. – Текст: непосредственный. – 2025. – № 3(6), №1 (65). – С. 101-107.

THE INFLUENCE OF CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES ON THE QUALITY OF ELECTRICITY IN 0.4 KV NETWORKS

V.O. Ushakov

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

The article discusses the actual problem of the impact of the charging infrastructure of electric transport on the quality of electricity in distribution networks with a voltage of 0.4 kV. The physical processes that occur during the operation of charging stations as nonlinear consumers are analyzed in detail. Special attention is paid to the generation of higher harmonics that cause non-sinusoidal voltage, as well as the problem of phase asymmetry that occurs with the mass use of single-phase chargers. The negative consequences of the deterioration of electricity quality indicators are described: overheating of cable lines, premature wear of transformer equipment, malfunctions of automation and electric motors. The paper also highlights the technological differences between different types of charging stations and their ability to compensate for distortion. In conclusion, engineering and organizational methods are proposed to minimize the negative impact, including the introduction of smart load management and two-way energy transfer technologies, which makes it possible to maintain the reliability and stability of urban power grids in the face of a growing fleet of electric vehicles.

Keywords: charging stations for electric vehicles, electricity quality, 0.4 kV networks, harmonic distortion, voltage asymmetry.

УДК 621.311

ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕТЯХ С АКТИВНО-АДАПТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ (РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ) ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

В.О. Ушаков

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассматриваются особенности протекания переходных процессов в электрических сетях с активно-адаптивными элементами, а именно с распределенной генерацией на базе возобновляемых источников энергии, при возникновении коротких замыканий. Показано, что интеграция инверторных источников, обладающих функциями токоограничения и низковольтного проезда (LVRT), принципиально изменяет характер аварийных процессов. Выявлены ключевые отличия от классических сетей: ограниченный уровень тока короткого

замыкания, его зависимость от алгоритмов управления силовой электроникой, двунаправленный характер потоков энергии и влияние погодных условий на вклад генерации в аварийный ток. Особое внимание уделено проблемам несимметричных коротких замыканий и необходимости учета стохастической природы генерации. Обоснована неэффективность традиционных методов релейной защиты в таких условиях и необходимость перехода к адаптивным, интеллектуальным системам управления на основе цифровых технологий и электромагнитного моделирования.

Ключевые слова: активно-адаптивные сети, распределенная генерация, переходные процессы, короткое замыкание, инверторные источники.

Активное внедрение распределенной генерации (РГ) на базе возобновляемых источников энергии и накопителей трансформирует архитектуру электрических сетей, придавая им свойства активно-адаптивных (smart grid) систем. Солнечные электростанции, ветрогенераторы и аккумуляторные батареи, интегрируемые через силовые электронные преобразователи, качественно меняют характер протекания переходных процессов, особенно при таком тяжелом возмущении, как короткое замыкание (КЗ). Традиционные представления о токах КЗ, сформировавшиеся в эпоху сетей с преобладанием синхронных машин, требуют кардинального пересмотра, поскольку поведение инверторных источников в аварийных режимах принципиально иное и вносит существенные коррективы в работу релейной защиты и автоматики [1].

Главной особенностью сетей с высокой долей инверторных источников является коренное изменение природы тока короткого замыкания. В классической схеме ток КЗ от синхронного генератора имеет большую амплитуду (в 5-10 раз превышающую номинальную) и четко выраженную физическую природу затухания, определяемую переходными и сверхпереходными параметрами машины. Это позволяет относительно просто рассчитывать уставки токовых защит и обеспечивать их селективность. Источники же, подключенные через инверторы, ведут себя иначе: их электронные системы управления имеют встроенные функции токоограничения. При возникновении КЗ силовая электроника не может пропускать через себя токи, значительно превышающие номинальные параметры полупроводниковых ключей. Как следствие, максимальный ток, который такой источник способен выдать в месте повреждения, редко превышает 1,2–2 номинальных значений.

Однако это не означает, что переходный процесс становится более простым. Напротив, он усложняется из-за работы алгоритмов низковольтного проезда (LVRT – Low Voltage Ride Through). Современные инверторы, согласно сетевым кодексам, не должны отключаться при кратковременных провалах напряжения, а обязаны поддерживать сеть, выдавая реактивную мощность. Во время КЗ система управления инвертора переключается с режима выдачи активной мощности на режим поддержки напряжения, генерируя реактивный ток. Величина этого тока жестко регламентируется глубиной провала напряжения в точке подключения. Таким образом, ток КЗ от источника РГ не является пассивным откликом системы, а представляет собой активный, программно управляемый

процесс, который меняется в реальном времени в зависимости от параметров сети [2].

Другой важнейшей особенностью является двунаправленный характер потока энергии. В традиционных радиальных сетях энергия течет строго от источника к потребителю, и ток КЗ течет в одном направлении. В активно-адаптивной сети с распределенной генерацией ток к месту повреждения может стекаться с разных сторон: как от питающей подстанции, так и от «крышных» солнечных панелей или ветроустановок, подключенных в конце линии. Это явление, известное как «подпитка» места КЗ, приводит к тому, что ток, протекающий через выключатели головных участков, может быть ниже расчетного (часть тока берет на себя местная генерация), в то время как в середине линии токи могут оказаться выше. Такая инверсия уровней тока делает классическую ступенчатую защиту неселективной: защита ближнего резервирования может не сработать, так как не почувствует ток, достаточный для её пуска [3].

Особую сложность представляют переходные процессы при несимметричных видах КЗ. Большинство инверторов малой и средней мощности являются однофазными или подключаются к сети через трансформаторы со схемой соединения обмоток, изолирующей нулевую последовательность. В сетях с изолированной нейтралью или компенсированной нейтралью, характерных для сетей 6-35 кВ, наличие распределенной генерации существенно влияет на емкостные токи замыкания на землю. В момент возникновения однофазного замыкания на землю происходит разряд и перезаряд емкостей фаз сети, и инверторные источники, даже с токоограничением, могут вносить непредсказуемую составляющую в переходный процесс, изменяя длительность и форму дуги.

Также необходимо учитывать зависимость предшествующего режима. Величина тока КЗ от солнечной или ветровой станции напрямую зависит от погодных условий в момент аварии. В пасмурную погоду или безветрие вклад такой станции в ток аварии может стремиться к нулю, что делает невозможным использование фиксированных уставок по току. Это требование учета стохастической природы генерации порождает необходимость перехода к адаптивным алгоритмам защиты, которые подстраивают свои параметры в реальном времени под текущую генерируемую мощность [4].

В связи с этим меняются требования к методам расчета переходных процессов. Приближенные методы, где инвертор представляется просто источником тока, недостаточно точны. Современные исследования, проводимые с использованием электромагнитных симуляторов (например, PSCAD/EMTDC), показывают необходимость моделирования не только силовой части, но и алгоритмов управления инверторами с учетом реальных заводских параметров. Такое детальное моделирование на субмиллисекундном уровне позволяет выявить высокочастотные составляющие, вызванные широтно-импульсной модуляцией, и переходные процессы разряда конденсаторов в звене постоянного тока, которые могут быть опасны для оборудования.

В качестве решения проблем, вызванных изменением характера переходных процессов, предлагаются различные подходы: использование устройств ограничения токов КЗ (сверхпроводниковых или реакторных), внедрение адаптивных защит с цифровыми каналами связи (технология IEC 61850) и переход на

защиты, основанные на измерении не только токов, но и параметров переходного процесса (скорость нарастания тока, изменение частоты, векторные измерения) [5].

Таким образом, сети с активно-адаптивными элементами демонстрируют принципиально новое поведение при коротких замыканиях. Оно характеризуется ограниченными, управляемыми токами подпитки, зависимостью параметров аварии от режима работы силовой электроники и погодных условий, а также возможным изменением направления потоков энергии. Эти особенности делают традиционные методы защиты неэффективными и диктуют необходимость внедрения интеллектуальных, адаптивных систем управления аварийными режимами, способных распознавать переходный процесс и адекватно реагировать на него в реальном времени.

Список использованных источников

1. Илюшин П.В., Кучеров Ю.Н. Подходы к оценке возможности обеспечения надежного электроснабжения потребителей за счет строительства объектов распределенной генерации // ЭЛЕКТРО, 2014. – С. 2-7.
2. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (Введен в действие с 01.01.2014). Москва, Изд-во: Стандартинформ, 2014, 20 с.
3. ГОСТ IEC 60034-3-2015 «Машины электрические вращающиеся. Часть 3. Специальные требования для синхронных генераторов, приводимых паровыми турбинами и турбинами на сжатом газе» (Введен в действие с 01.03.2017). Москва, Изд-во: Стандартинформ, 2016, 14 с.
4. Методические указания по устойчивости энергосистем. (Утверждены приказом № 277 Минэнерго России от 30.06.2003). – Москва, Изд-во: ЭНАС, 2004, 24 с.
5. Кеннеди Д. Виртуальная электростанция - «умный контроль» распределенной генерации // Энергетика и промышленность России № 08 (244), Санкт-Петербург, С. 14-15.

FEATURES OF TRANSIENT PROCESSES IN NETWORKS WITH ACTIVE ADAPTIVE ELEMENTS (DISTRIBUTED GENERATION) IN CASE OF SHORT CIRCUITS

V.O. Ushakov

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

The article discusses the features of transient processes in electrical networks with active adaptive elements, namely distributed generation based on renewable energy sources, in the event of short circuits. It is shown that the integration of inverter sources with current limiting and low-voltage transmission (LVRT) functions

fundamentally changes the nature of emergency processes. The key differences from classical networks are revealed: a limited level of short-circuit current, its dependence on power electronics control algorithms, the bidirectional nature of energy flows and the influence of weather conditions on the contribution of generation to the emergency current. Special attention is paid to the problems of asymmetric short circuits and the need to take into account the stochastic nature of generation. The inefficiency of traditional relay protection methods in such conditions and the need to switch to adaptive, intelligent control systems based on digital technologies and electromagnetic modeling are substantiated.

Keywords: active-adaptive networks, distributed generation, transients, short circuit, inverter sources.

УДК 621

ТРАНСФОРМАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

М.К. Фальков

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

Представлен обзор современных концепций, подходов и направлений применения интеллектуальных транспортных систем в деятельности транспортных компаний.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, цифровизация, транспортная логистика, автоматизация.

Научные достижения, инновационные проекты и новые идеи перестают быть изолированными элементами и становятся основой практической деятельности. Также в такую эпоху постоянных изменений и транспортные компании не могут оставаться статичными – они вынуждены непрерывно развиваться, адаптироваться и внедрять новые решения.

И одним из важнейших достижений в этой области являются интеллектуальные транспортные системы, которые представляют сложные технологические комплексы, основанные на использовании современных информационных, коммуникационных и аналитических решений. Они включают в себя комплекс аппаратных и программных решений, обеспечивающих сбор, передачу, обработку и анализ данных о состоянии транспортных потоков, инфраструктуры и подвижного состава. А самыми важными элементами таких систем являются сенсорные устройства, системы мониторинга, коммуникационные сети, центры обработки данных и аналитические платформы, способные обрабатывать большие объемы информации в режиме реального времени. Они также способны учитывать множество факторов, включая загруженность дорог, погодные

условия, аварийные ситуации и поведение участников движения, что дает возможность принимать более точные управленческие решения и повышать пропускную способность транспортной сети.

Технологическую основу интеллектуальных систем составляют такие направления, как искусственный интеллект, интернет, большие данные и облачные вычисления.

Применение данных технологий позволяет не только фиксировать текущее состояние транспортной системы, но и выявлять закономерности и принимать оптимальные управленческие решения. В частности, методы машинного обучения широко используются для анализа транспортных потоков, прогнозирования загруженности дорог и оптимизации маршрутов. К ним относятся системы предотвращения столкновений, электронные системы оплаты транспортных услуг, управление движением в условиях чрезвычайных ситуаций, информирование участников движения, контроль погодных условий, а также координация работы общественного транспорта.

Важным направлением является и развитие интермодальных перевозок для взаимодействия различных видов транспорта: использование таких цифровых платформ позволяет оптимизировать маршруты доставки, снизить затраты на топливо и время, а также повысить прозрачность логистических процессов. При этом, мониторинг перемещения грузов в режиме реального времени обеспечивает более высокий уровень контроля и позволяет оперативно реагировать на возникающие отклонения.

Особое значение интеллектуальные системы имеют в области обеспечения безопасности, так как современные решения позволяют анализировать техническое состояние транспортных средств, контролировать поведение водителей и предотвращать аварийные ситуации. Использование технологий компьютерного зрения и систем видеонаблюдения способствует повышению уровня безопасности как на дорогах, так и в транспортной инфраструктуре в целом.

Одним из наиболее перспективных направлений развития является создание автономного транспорта: беспилотные транспортные средства, функционирующие на основе сложных алгоритмов обработки данных и сенсорных систем, способны значительно повысить эффективность перевозок и снизить человеческий фактор, являющийся одной из основных причин дорожно-транспортных происшествий. Несмотря на существующие технологические и нормативные ограничения, развитие автономного транспорта продолжается быстрыми темпами.

Внедрение интеллектуальных транспортных систем обеспечивает значительные преимущества для транспортных компаний. К их числу относятся повышение эффективности управления, снижение эксплуатационных затрат, улучшение качества обслуживания клиентов и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Таким образом, трансформация транспортной системы на основе интеллектуальных технологий неизбежно приводит к изменениям в инфраструктуре, где традиционные подходы к управлению, сформированные в доцифровую

эпоху, постепенно заменяются новыми методами, основанными на автоматизации и использовании больших данных.

Список использованных источников

1. Инновации в транспортных системах, Романтеев Р.В., В сборнике: механика, оборудование, материалы и технологии. 4 Международная научно-практическая конференция. Краснодар, 2021. С. 632-635
2. Лобасев Д. В. Цифровые технологии в управлении транспортными системами // Инновации и инвестиции. - 2022. - № 11. - С. 210-214.

TRANSFORMATION OF THE TRANSPORT INDUSTRY BASED ON INTELLIGENT SYSTEMS

M.K. Falkov

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

An overview of modern concepts, approaches and directions of application of intelligent transport systems in the activities of transport companies is presented.

Keywords: intelligent transport systems, digitalization, transport logistics, automation.

УДК 621.791

НОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВА ROTOTEC LT 29240, АРМИРОВАННЫЕ ЧАСТИЦАМИ TiNi

**Р.С. Федорцов, П.А. Быков, И.Е. Калашников,
Л.И. Кобелева, Р.С. Михеев***

*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,
г. Москва, Россия,*

** Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
г. Москва, Россия*

Разработана технология изготовления новых сварочных композиционных материалов на основе сплава RotoTec LT 29240, армированных 3 мас.% частицами TiNi. Проведено исследование структурно-фазового состава на всех этапах подготовки компонентов и изготовления сварочных композиционных материалов (обработка в планетарной мельнице, холодное прессование и процесс

экструзии). Показано, что выбранные технологические режимы позволяют изготовить сварочные композиционные материалы системы Sn-Sb-Cu – TiNi с гладкой поверхностью и бездефектной структурой при отсутствии химического взаимодействия между материалом матрицы и наполнителя. Новые сварочные композиционные материалы обладают стандартными геометрическими размерами (диаметр 6 мм, длина 350 мм), что позволяет их рекомендовать для формирования методами дуговой сварки рабочих покрытий узлов трения.

Ключевые слова: сварочные композиционные материалы, сплав RotoTec LT 29240, никелид титана, экструзия.

Надежность и необходимых ресурс современных узлов трения можно обеспечить за счет применения дисперсно-наполненных композиционных материалов (КМ) уже на стадиях их проектирования и изготовления [1, 2]. Причем, наибольший интерес представляют КМ на основе промышленных сплавов олова, содержащие частицы TiNi, обладающие сочетанием высоких механических свойств, демпфирующей способностью и сверхупругостью [3]. Применение подобных материалов в конструкциях узлов трения может обеспечить не только низкие значения трибологических свойств, но и стабилизировать процесс трения снизив уровень вибраций и акустического шума [4]. Поэтому весьма актуальной задачей является создание сварочных композиционных материалов, позволяющих на этапах изготовления или ремонта узлов трения наносить рабочие покрытия из подобных материалов методами дуговой сварки с применением стандартного сварочного оборудования. В связи с этим целью настоящей работы являлась разработка новых сварочных композиционных материалов на основе сплава RotoTec LT 29240, армированного частицами TiNi.

Матричным для изготовления сварочных композиционных материалов являлся сплав RotoTec LT 29240 (8 масс. % Sb; 4 масс. % Cu; Sn – остальное). Сплав RotoTec LT 29240 системы Sn-Sb-Cu выпускают в форме металлического порошка размером от 45 до 125 мкм, что позволяет применять его в процессе напыления рабочих антифрикционных покрытий узлов трения. Кроме того, данный сплав допускает эксплуатацию при следующих предельных условиях: нагрузка до 15 МПа; скорость скольжения до 50 м/с; температура до 353 К. Поэтому он имеет широкое практическое применение в промышленности. Частицы никелида титана размером до 100 мкм были изготовлены гидридно-кальциевым методом в ООО «Метсинтез» и обладали стабильностью фазового состава в пределах всей области существования [5].

Сварочные композиционные материалы изготавливали экструзией, выбранной по критериям возможности получения изделий требуемых геометрических размеров, а также обеспечения заданного содержания армирующих компонентов в объеме матричного сплава [6]. Порошковую смесь из матричного сплава RotoTec LT 29240 и армирующих частиц TiNi в количестве 3 масс.%, обрабатывали в планетарной мельнице Retch PM100. Для получения однородной

композиционной смеси обработку проводили по режиму: частота вращения барабана – 300 об/мин, длительность обработки – 10 мин, защитная среда – аргон высшего сорта по ГОСТ 10157. Следующей технологической операцией являлось компактирование полученной композиционной порошковой смеси. Для этого размещенные в пресс-форме навески массой 40 г подвергали прессованию при давлении 300 ± 5 МПа. Предварительно, перед экструзией, компактированную заготовку выдерживали в камерной электропечи сопротивления СНОЛ 10/11-В при температуре $350 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 30 мин. Процесс экструзии через фильеру диаметром 6 мм выполняли на механическом прессе NORDBERG N3550 при усилии 115-120 кН и температуре $300 \pm 20^\circ\text{C}$. Значения параметров экструзии (усилия и температуры) выбирали исходя из обеспечения экструдирования всего объема изготовленной порошковой смеси.

Изготовленные экструзией присадочные композиционные материалы характеризуются гладкой бездефектной поверхностью (на поверхности образцов отсутствуют облои, заусенцы свыше 0,5 мм, включения шлака, пригар) и обладают следующими геометрическими размерами: диаметр 6 мм, длина 350 мм. Исследование структуры изготовленных образцов проводили с применением средствами оптической (LEICA DMILM) и электронной (сканирующий электронный микроскоп TESCAN VEGA II SBU, оснащенный приставкой INCA Energy для элементного анализа методом энергодисперсионной спектроскопии) микроскопии. Поскольку матричный сплав RotoTec LT 29240 характеризуется относительно низкой температурой солидуса, формирование структуры матрицы нового сварочного композиционного материала происходит в процессе экструзии при нагреве пластически деформированного материала вследствие развития процесса рекристаллизации [6]. Структура матрицы изготовленных образцов состоит из твердого раствора сурьмы или меди в олове, кубических кристаллов SnSb и игольчатых частиц системы Cu-Sn (рис. 1, а). Важно отметить, что этапы подготовки компонентов КМ перед изготовлением образцов сварочных материалов - обработка в планетарной мельнице, холодное прессование и сам процесс экструзии приводят к дроблению исходных сросшихся частиц порошка TiNi и изменению их морфологии. В частности, при перемешивании мягких частиц порошка RotoTec LT 29240 малого размера и твердых частиц TiNi обеспечивается больше контактов частиц обеих фракций и частичное разрушение частиц TiNi. Частицы TiNi в образцах КМ имеют неправильную или близкую к округлой форму, редко встречаются частицы осколочной формы. Средний размер частиц TiNi в изготовленных образцах сварочных материалов составляет 12 мкм. Частицы TiNi сохраняются в структуре КМ без химического взаимодействия с матрицей, что подтверждено результатами энергодисперсионной спектроскопии (рис. 1, в). Образование крупных скоплений частиц TiNi не происходит. Результатом этого является однородное распределение частиц TiNi в

матрице. В структуре всех изготовленных образцов сварочных композиционных материалов отсутствуют поры и другие несовершенства.

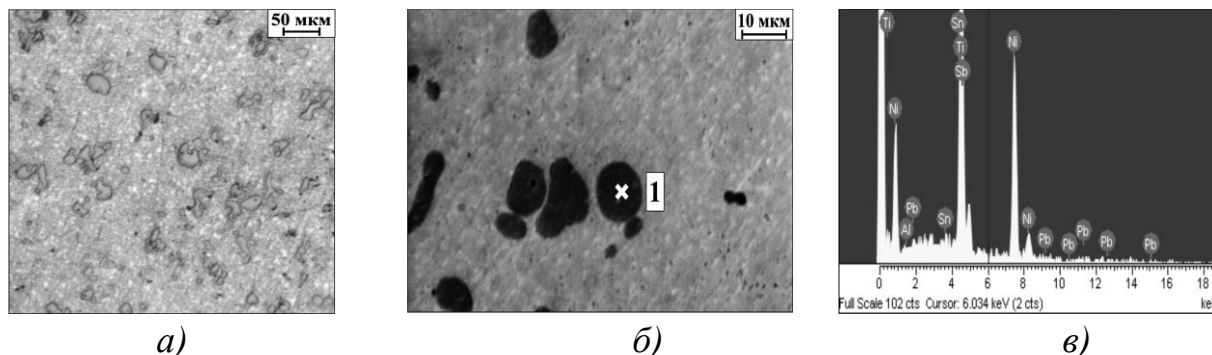


Рисунок 1 – Микроструктура изготовленных сварочных композиционных материалов (а, б) и результаты элементного анализа в точке 1 (г).

Таким образом, разработана технология изготовления новых сварочных композиционных материалов на основе сплава RotoTec LT 29240, армированных частицами TiNi. Средствами оптической и электронной микроскопии показано изменение морфологии армирующих частиц TiNi на всех этапах подготовки компонентов КМ перед изготовлением образцов (обработка в планетарной мельнице, холодное прессование и процесс экструзии). Определено, что выбранные технологические режимы позволяют изготовить сварочные композиционные материалы системы Sn-Sb-Cu – TiNi с гладкой поверхностью и бездефектной структурой, обладающие стандартными геометрическими размерами, что позволит их применять в сочетании с типовым сварочным оборудованием.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-29-00980).

Список использованных источников

1. Wang Y., Monetta T. Systematic study of preparation technology, microstructure characteristics and mechanical behaviors for SiC particle-reinforced metal matrix composites // Journal of Materials Research and Technology. 2023. V. 25. P. 7470-7497.
2. Chernyshova T.A., Mikheev R.S., Kalashnikov I.E., Akimov I.V., Kharlamov E.I. Development and testing of Al-SiC and Al-TiC composite materials for application in friction units of oil-production equipment // Inorganic Materials: Applied Research. 2011. V. 2. P. 322-329.
3. Han J., Chen X., Zhang G., Lu L., Xin Y., Liu B., Cai Y., Zhang X., Tian Y. Microstructure and mechanical properties of Ni_{50.8}Ti_{49.2} and Ni₅₃Ti₄₇ alloys

prepared in situ by wire-arc additive manufacturing // Journal of Materials Processing Technology. 2022. V. 306 Art. N 117631.

4. Nabi S., Rathee S., Srivastava M. Friction and wear analysis of Al-5052/NiTi surface composites fabricated via friction stir processing // Tribology International. 2024. V. 191. Art. N 109179.

5. Kasimtsev A.V., Volodko S.S., Yudin S.N., Alimov I.A., Markova G.V., Karpov B.V. Powder titanium nickelide: Technology and properties // Russian Metallurgy (Metally). 2020. V. 2020. N 11. P. 1267-1275.

6. Kalashnikov I.E., Kolmakov A.G., Bolotova L.K., Bykov P.A., Kobeleva L.I., Mikheev R.S., Kheifets M.L. Technological parameters of production and properties of babbitt-based composite surfacing rods and deposited antifriction coatings // Inorganic Material: Applied Research. 2019. V. 10. P. 635-641.

NEW FILLER COMPOSITE MATERIALS BASED ON RotoTec LT 29240 ALLOY, REINFORCED WITH TiNi PARTICLES

R.S. Fedortsov, P.A. Bykov, I.E. Kalashnikov, L.I. Kobeleva, R.S. Mikheev*

*A.A. Baykov Institute of Metallurgy and Materials
Science of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia,*

**Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia*

A technology for manufacturing new welding composite materials based on RotoTec LT 29240 alloy reinforced with 3 wt % by TiNi particles. The structural and phase composition has been studied at all stages of the preparation of components and the manufacture of welding composite materials (processing in a planetary mill, cold pressing and extrusion process). It is shown that the selected technological modes make it possible to produce welding composite materials of the Sn-Sb-Cu –TiNi system with a smooth surface and a defect-free structure in the absence of chemical interaction between the matrix material and the filler. The new welding composite materials have standard geometric dimensions (diameter 6 mm, length 350 mm), which allows them to be recommended for forming working coatings of friction units using arc welding methods.

Keywords: welding composite materials, RotoTec LT 29240 alloy, titanium nickelide, extrusion.

НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ АНАЛИЗА ПРОЛИВАЕМОСТИ ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПЛАСТИКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ В ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФОРМЫ

Е.С. Федутинов, Н.Н. Татарников, А.Д. Чернышев

*Московского политехнического университета,
Рязанский институт (филиал),
г. Рязань, Россия*

При проектировании пресс-форм для литья пластмасс под давлением невозможно однозначно предугадать поведение расплава в форме. Поведение пластика определяется множеством факторов – температурой расплава в материальном цилиндре, давлением впрыска, параметрами подпитки, охлаждением и др. Даже имея полностью стабильный и контролируемый процесс литья, подразумевающий неизменность литьевых параметров невозможно гарантировать получение отливки с заранее планируемыми параметрами. В статье рассматривается процесс анализа проливаемости пресс-формы в среде Moldex3D. Исследуется три литниковых канала – тоннельный литник, банановый и щелевой с целью выбрать наилучший вариант.

Ключевые слова: Пресс-форма, литье под давлением, анализ проливаемости.

Известны два основных варианта распространения расплава в форме. В одном случае расплав, проходя более узкий участок формы на выходе из него образует форму, напоминающую каплю, которая, врезаясь в противоположную стенку формы, начинает заполнять этот участок. Во втором случае расплав на выходе из более узкого участка в более широкий распространяется во все стороны, до полного заполнения данного участка. Также возможна совокупность обоих способов, когда часть расплава формируется в виде капли, а часть разлетается во все стороны. Оба случая заполнения возможны, однако заранее непросто предугадать, какой из вариантов произойдет.

Налипание горячего расплава на более холодные стенки формы приводит к его немедленному остыванию, в то время как более горячая часть расплава (сердцевина потока) застывает после. Это может привести к непредсказуемому заранее процессу остывания отливки в форме.

Вышеуказанные факторы являются одними из немногих, влияющими на поведение расплавленного пластика внутри пресс-формы.

Стабильность литья требует тщательного подбора заранее известных параметров, однако без получения первых отливок является затруднительным заранее предугадать все аспекты формообразования. Работа конструктора в данном случае напоминает взаимодействие с черным ящиком, в котором хоть и известны

все входные параметры, однако детально заранее определить выходные параметры однозначно не представляется возможным.

Возникающие несоответствие полученной детали её 3D модели требуют доработок формы, что, в свою очередь, приносит материальные и временные затраты для производства. Вопрос наименьшего, по возможности, снижения параметра непредсказуемости литья может быть частично закрыт внедрением в производственный процесс анализа проливаемости формы в специальном программном обеспечении.

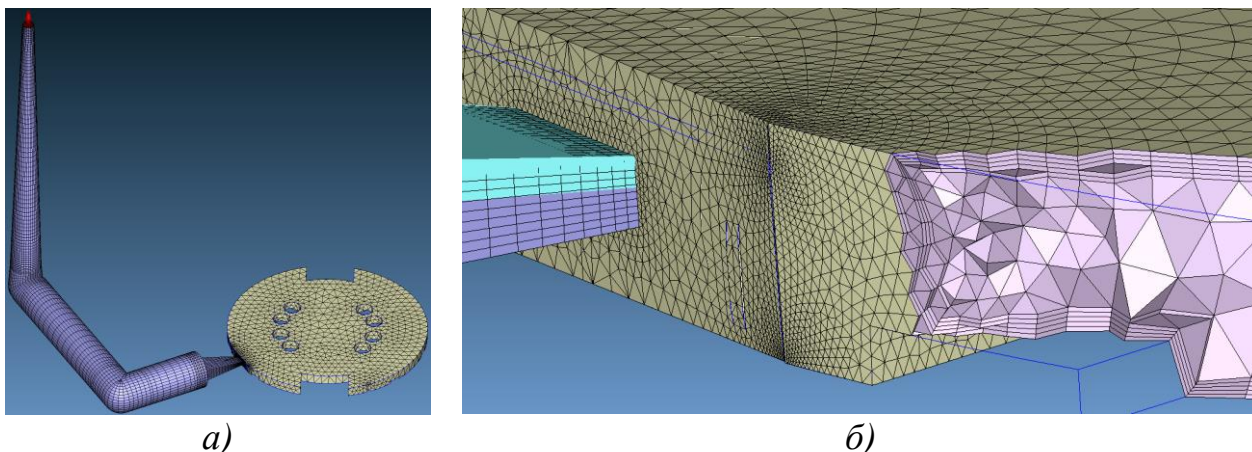
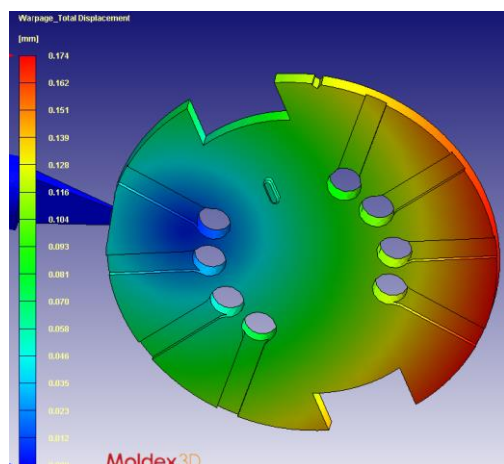


Рисунок 1 – а) Смоделированная сетка для щелевого литника;
б) BLM-сетка литника (runner) и отливки

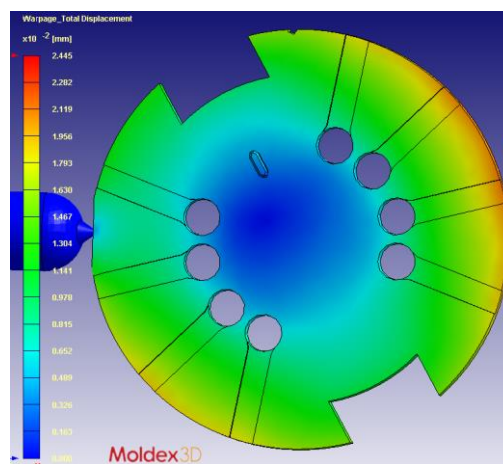
Известны несколько САЕ САПР, позволяющих методом конечных элементов с хорошей точностью смоделировать поведение расплава в литевой пресс-форме. Одной из них является Moldex3D. Зная заранее даже некоторую часть входных данных (ПТР материала, расположение охлаждения, вид и расположение литниковых каналов, литевой термопластавтомат) данное аппаратное обеспечение позволяет провести обозначенную выше симуляцию. На выходе в первом приближении можно получить данные о дисбалансе литниковых каналов, значения давлений на впуске, местонахождение потенциальных воздушных ловушек.

Обыкновенно, перед анализом осуществляется подготовка сеточной 3D модели литника (runner), точки впрыска (gate) и отливки (cavity). Предварительно в сторонней программе моделируется литниковый канал, начиная от точки вхождения расплава в литевую втулку до точки входа расплава в отливаемую деталь. Учитываются диаметры литниковой втулки, параметры литникового канала и точки впрыска. В работе для моделирования данных элементов используется SolidWorks. Подготовленная 3D модель импортируется в Moldex.

Одни из наиболее распространенных способов моделирования сетки – это составление 3D, 2,5D, 2D полигональных моделей на основе модели отливки. 2,5D и 2D обеспечивает меньшее время расчета, однако имеют большее отклонение от фактического результата, полученного при литье на термопластавтомате. Увеличение вычислительных возможностей открывает возможность повсеместно использовать 3D решатель.



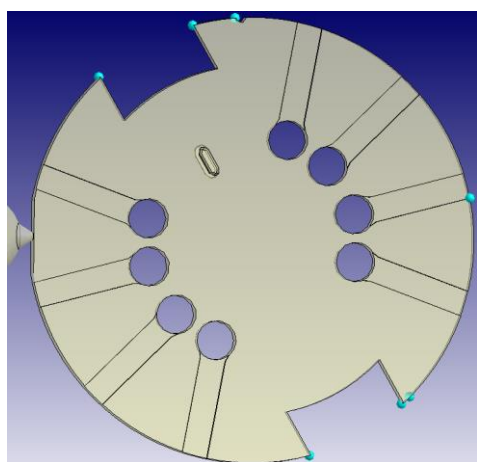
а)



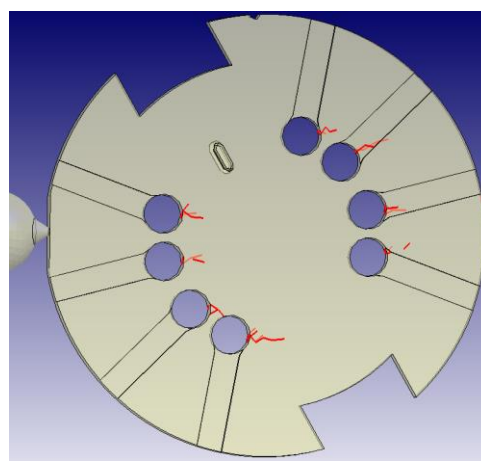
б)

Рисунок 2 – Визуализация деформации:
а) Щелевой литник; б) Тоннельный литник

Для формирования сетки существуют 2 основных метода – eDesign и Boundary Layer Mash (BLM). В первом случае сетка формируется равномерно по всей 3D модели, не меняя свою плотность. Способ является компромиссным вариантом, обеспечивая наибольшую скорость расчета при относительно хорошей точности. BLM-метод заключается в уплотнении сетки к краям 3D модели (при взгляде вдоль нормали относительно любого сечения 3D модели).



а)



б)

Рисунок 3 – а) Расчетное расположение воздушных ловушек при литье;
б) Расчетное расположение линий сая.

Обыкновенно применяется сетка, содержащая 3 или 5 слоёв вблизи границы. Остальное же пространство триангулируется равномерно, однако принято увеличивать плотность полигонов в областях вблизи литникового канала – это позволяет точнее рассчитать направления течений расплава на выходе из точки впрыска. В работе используется сетка с 5-ю граничными уровнями.

Для работы выбрана деталь, представляющую из себя диск диаметром 47 мм и шириной 2 мм, отливающуюся в четырехместной пресс-форме. В работе рассматривается только одно гнездо.

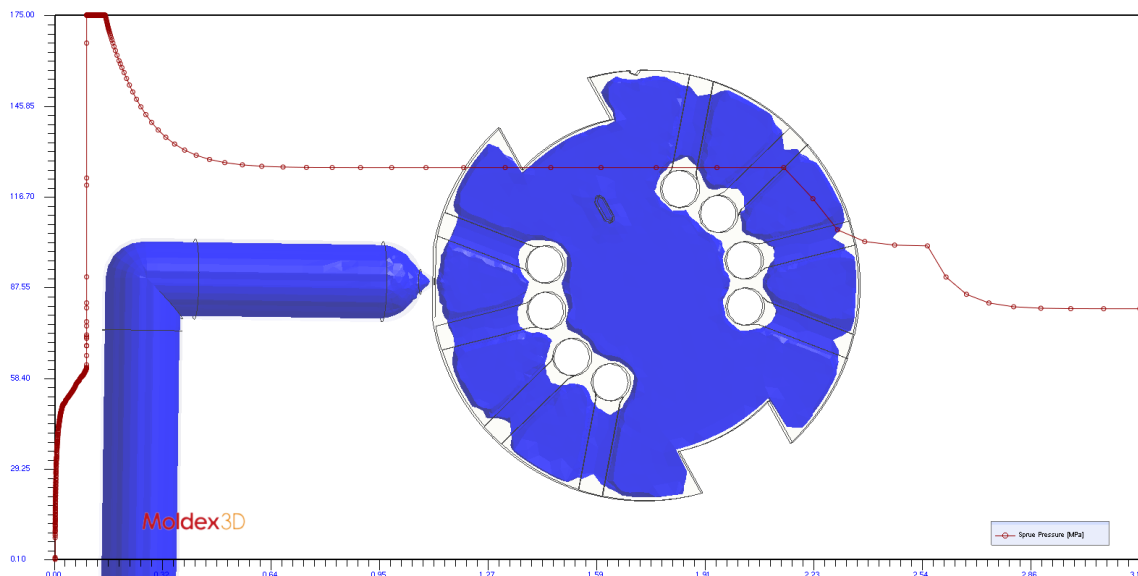


Рисунок 4 – График давления упаковки (щелевой литник), наложенное на визуализацию усадки отливки при охлаждении.

Эксперимент заключается в выборе вида впускного литника, рассматриваются щелевой литник $0,8 \times 2$ мм, тоннельный и банановый литник диаметрами $\varnothing 0,714$ мм – параметры литниковых каналов подобраны таким образом, чтобы площадь сечения впускного канала во всех трех случаях являлась приблизительно одинаковой.

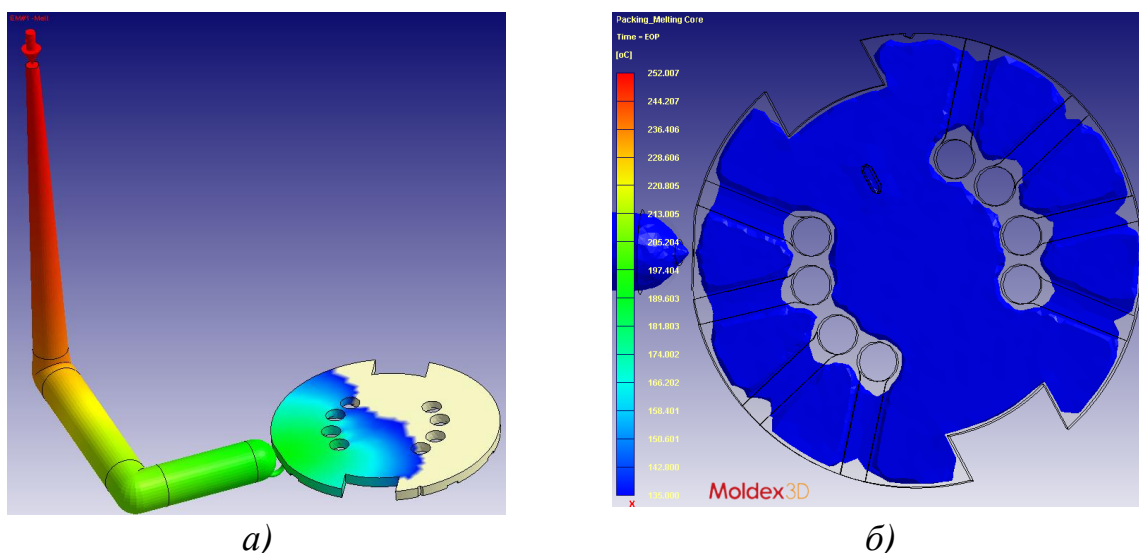


Рисунок 5 – а) Визуализация процесса анализа проливаемости при банановом литниковом канале. Заметно застывание расплава.
б) График давления при уплотнении щелевого литник

Щелевой и тоннельный литниковые каналы обеспечивают нормальную проливаемость формы. Озадачимся вариантами выбора наилучшего варианта впрыска расплава.

Расчет показывает, что при банановом литнике отливка не заполнилась. Вследствие невысокой толщины детали (2 мм). Тонкий впускной литник также повлиял на результаты, однако данная конструкция литника обеспечивает направление впрыска в стенку, как следствие – потеря давления. Увеличение давления заполнения предотвратило данную проблему. Рекомендуется увеличить толщину впускного отверстия.

Таблица 1 – Основные данные

Параметр	Щелев. литн.	Тоннельн. литн.	Банан. литн.
Скорость заполнения, с	0,147	0,155	0,181
Линии спая	Одинаковые		
Давление (при заполнении), мПа	159,2	160,4	175
Давление (при подпитке), мПа	98,443	95,267	
Объёмная усадка (при заполнении), %	2,408	2,409	–
Объёмная усадка (при подпитке), %	4,624	4,627	–
Объёмная усадка (при охлаждении), %	4,162	4,263	–
Максимальная деформация, мм	0,174	0,024	–

По результатам расчета была составлена таблица, в которую были внесены основные данные. Банановый тип литникового канала с текущими геометрическими параметрами не обеспечивает заполнение формы расплавом. Выбор может быть осуществлен между оставшимися двумя вариантами.

Вывод

Внедрение анализа проливаемости формы не только упрощает процесс проектирования, позволяя наглядно видеть виртуальные результаты литья и предупредить множество ошибок на стадии проектирования. Это, в свою очередь, дает возможность снизить материальные и временные издержки производства на цикл доработки формы.

Список использованных источников

1. Барвинский И., Барвинская И. Компьютерный анализ литья: Подходы и модели // Пластикс. – 2009. – № 3. – С. 50-54; № 4. – С. 63-66.
2. Барвинский И.А., Барвинская И.Е. Проблемы литья под давлением изделий из полимерных материалов: уплотнение // Полимерные материалы. – 2014. – № 3. – С. 3-13.

3. Барвинский И.А., Барвинская И.Е. Проблемы литья под давлением изделий из ПМ: спай // Полимерные материалы. – 2009. – № 7. – С. 25-33.

THE NEED TO INTRODUCE ANALYSIS OF THE SPILLABILITY OF A PLASTIC INJECTION MOLDING MOLD INTO THE MOLD DESIGN PROCESS

E.S. Fedutinov, N.N. Tatarnikov, A.D. Chernyshev

*Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University,
Ryazan, Russia*

When designing molds for injection molding plastics, it is impossible to accurately predict the behavior of the melt in the mold. The behavior of plastic is determined by a variety of factors – the temperature of the melt in the material cylinder, injection pressure, make-up parameters, cooling, etc. Even with a completely stable and controlled casting process, which implies the immutability of casting parameters, it is impossible to guarantee the production of a casting with pre-planned parameters. The article discusses the process of mold spill analysis in the Moldex3D environment. Three spigot channels are being investigated – tunnel spigot, banana and slit in order to choose the best option.

Keywords: Mold, injection molding, spillability analysis.

УДК 623

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В РАБОТЕ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

А.Э. Хайруллина

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

Обозреваются навигационные системы, применяемые в работе машинно-тракторных агрегатов, функционирующих на основе автоматизированных систем управления.

Ключевые слова: навигационные системы, машинно-тракторный агрегат, автоматизированные системы управления.

Переход от стандартных методов управления к автоматизированным и автономным системам стал возможен, в частности, и благодаря развитию спутниковых и инерциальных систем позиционирования. В этом смысле навигация техники в последние десятилетия стала одним из ключевых направлений развития инженерных систем управления подвижными объектами, в том числе и

машинно-тракторных агрегатов, так как работа таких агрегатов связана с необходимостью строгого соблюдения заданной траектории движения при выполнении различных сельскохозяйственных операций, таких как посев, внесение удобрений, обработка почвы и опрыскивание.

Однако в реальных условиях эксплуатации движение техники сопровождается отклонениями, вызванными неровностями рельефа, изменением характеристик почвы, действием инерционных сил и наличием уклонов. Эти факторы могут привести к появлению огрехов, перекрытий и пропусков, что может негативно сказаться на качестве обработки поля. Такие возможные отклонения обусловлены совокупностью факторов, среди которых можно выделить неровности опорной поверхности, динамические нагрузки, инерционные силы, а также уклон местности. И даже при высокой квалификации механизатора полностью исключить влияние данных факторов невозможно, что приводит к появлению так называемых огрехов – необработанных или избыточно обработанных участков поля.

И вот решение указанных проблем стало возможным как раз благодаря навигационным системам, интегрированным в автоматизированные системы управления машинно-тракторными агрегатами.

Под такой навигацией в контексте автотракторной техники понимается процесс определения текущего положения машины, её скорости, направления движения и ориентации в пространстве.

В зависимости от используемых технических средств и принципов функционирования различают спутниковую и инерциальную.

Наиболее широкое распространение получила спутниковая навигация, основанная на использовании глобальных навигационных спутниковых систем. Принцип их работы заключается в определении расстояния до нескольких спутников по времени распространения радиосигнала, что позволяет вычислить координаты приёмника. Такие спутниковые системы обеспечивают точность позиционирования от нескольких метров до сантиметрового уровня при использовании дополнительных методов коррекции, однако их функционирование может быть ограничено внешними факторами, включая радиопомехи, затенение сигнала и атмосферные условия.

Инерциальные навигационные системы, в свою очередь, представляют собой автономные средства определения параметров движения, основанные на измерении ускорений и угловых скоростей с помощью акселерометров и гироскопов. Их основным преимуществом является независимость от внешних источников информации, что особенно важно в условиях отсутствия спутникового сигнала, но вместе с тем, такие системы подвержены накоплению ошибок, что требует периодической коррекции с использованием внешних источников данных.

В зависимости от уровня автоматизации навигационные системы, применяемые в сельском хозяйстве, можно разделить на системы параллельного вождения и системы автоматического управления. Системы параллельного вождения предоставляют оператору информацию о текущем отклонении от заданной траектории, что позволяет корректировать движение вручную. Такие системы

снижают нагрузку на механизатора и уменьшают количество ошибок, однако полностью не исключают влияние человеческого фактора. А в более продвинутых вариантах такие системы дополняются исполнительными механизмами, способными автоматически корректировать направление движения трактора, позволяя частично автоматизировать процесс управления и снизить нагрузку на оператора. Однако наиболее высокий уровень автоматизации достигается в системах автопилотирования, где управление движением полностью или в значительной степени передаётся электронной системе.

Особое значение в навигации автотракторной техники имеют технологии повышения точности позиционирования, где одним из наиболее эффективных методов является дифференциальная коррекция, реализуемая с помощью базовых станций, передающих поправки к спутниковым сигналам. Данная технология позволяет достигать точности до нескольких сантиметров, что делает её незаменимой в задачах точного земледелия.

Так, в сельском хозяйстве навигационные технологии стали основой концепции точного земледелия, предполагающей рациональное использование ресурсов и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду: автоматическое вождение тракторов, контроль перекрытий при обработке полей, дифференцированное внесение удобрений и средств защиты растений – все эти задачи решаются с использованием навигационных систем. И в результате достигается снижение затрат на топливо и материалы, а также повышение урожайности. Также к примеру, в строительстве и дорожных работах навигация может быть применена для управления специализированной техникой и контроля параметров выполняемых операций, при этом, использование высокоточных систем позиционирования позволяет автоматизировать процессы планировки и перемещения грунта, повышая качество и скорость выполнения работ.

Но несмотря на высокую эффективность навигационных систем, их использование связано с рядом ограничений. К числу основных проблем относится зависимость от внешних условий, таких как радиопомехи, затенение сигнала и влияние атмосферных явлений, например, вблизи мощных источников электромагнитного излучения, включая линии электропередач и радиопередающие станции, возможна потеря сигнала или снижение точности позиционирования. Кроме того, спутниковые системы не учитывают микрорельеф поверхности, что может приводить к дополнительным погрешностям при управлении движением. Также существенным недостатком является также неспособность таких систем обнаруживать препятствия, возникающие в зоне работы техники. В условиях открытого поля могут присутствовать как стационарные объекты, так и динамические препятствия, включая людей и животных.

Но в конечном счете, развитие навигационных систем тесно связано с общими тенденциями цифровизации сельского хозяйства, поэтому внедрение автоматизированных систем управления позволяет не только повысить точность выполнения отдельных операций, но и обеспечить комплексное управление технологическими процессами. Интеграция навигационных данных с

геоинформационными системами и платформами управления агропроизводством создаёт основу для реализации концепции точного земледелия.

Список использованных источников

1. Личман Г.И., Марченко А.Н., Белых С.А. Размещение приемника сигналов ГЛОНАСС/GPS на агрегате // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 1. – С. 7–9.
2. Михайлов, А.С. Цифровые технологии в агробизнесе / А.С. Михайлов. – Текст: непосредственный // В сборнике: Передовые достижения науки в молочной отрасли. Часть 2. – Вологда–Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2021. – С. 176–178

NAVIGATION SYSTEMS IN THE OPERATION OF MACHINE AND TRACTOR UNITS

A.E. Khairullina

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

Navigation systems used in the operation of machine-tractor units operating on the basis of automated control systems are reviewed.

Keywords: navigation systems, machine-tractor unit, automated control systems.

УДК 62

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

А.Э. Хайруллина

*Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия*

Обозревается роль интеллектуальных транспортных систем в качестве инструмента повышения экономической деятельности транспортной отрасли; анализируются основные направления их влияния.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, экономика, логистика, управление, транспорт.

В начале XXI века транспортная система многих стран столкнулась с резким ростом уровня автомобилизации. И такое увеличение количества личных

транспортных средств привело к значительному усложнению дорожной обстановки, особенно в крупных городах. На фоне чего транспортная отрасль столкнулась с рядом серьезных проблем, среди которых особенно выделяются низкая пропускная способность инфраструктуры, неэффективная логистика. В свою очередь, снижение пропускной способности транспортной инфраструктуры неизбежно может привести к возникновению целого ряда экономических проблем: увеличиваются сроки доставки грузов, нарушаются логистические цепочки, возрастают затраты на перевозку, снижается надёжность транспортных услуг. А это же может отразиться на конечной стоимости продукции и уровне обслуживания населения. В пассажирских перевозках также может наблюдаться снижение качества транспортного обслуживания, выражающееся в увеличении времени поездок и снижении комфорта.

Все перечисленные факторы оказывают негативное влияние на экономику транспортной отрасли и требуют поиска эффективных решений.

На фоне данных вопросов одним из наиболее перспективных направлений развития транспортной отрасли стало внедрение интеллектуальных транспортных систем, представляющих собой комплекс информационно-коммуникационных технологий, интегрированных в транспортную инфраструктуру.

Под такими интеллектуальными транспортными системами (ИТС) понимается совокупность современных информационно-коммуникационных технологий, интегрированных с транспортной инфраструктурой, транспортными средствами и пользователями. А основной целью таких систем является повышение безопасности и устойчивости транспортного процесса, а также улучшение качества обслуживания участников движения.

Современные ИТС также включают в себя такие элементы, как электронные платежные системы, позволяющие автоматизировать процессы оплаты проезда, и системы мониторинга окружающей среды, обеспечивающие контроль погодных условий и экологической обстановки. Важной составляющей является управление действиями в чрезвычайных ситуациях.

ИТС охватывают широкий спектр функциональных направлений. Важное место занимает информирование участников дорожного движения, позволяющее водителям и пассажирам получать актуальные данные о дорожной ситуации, погодных условиях и возможных ограничениях; существенную роль играет управление дорожным движением, включающее адаптивное регулирование светофоров и координацию транспортных потоков; уделяется внимание и грузовым перевозкам, где ИТС позволяют оптимизировать маршруты и повысить эффективность логистики; в сфере общественного транспорта интеллектуальные решения способствуют повышению регулярности движения и улучшению качества обслуживания пассажиров; системы оперативного реагирования обеспечивают быстрое взаимодействие служб в случае аварий и чрезвычайных ситуаций.

И получается, что внедрение таких систем позволяет существенно повысить экономическую эффективность отрасли за счет комплексного воздействия на ключевые процессы. И прежде всего, использование технологий анализа данных в реальном времени обеспечивает оптимизацию транспортных потоков, что

способствует снижению заторов и более рациональному распределению нагрузки на инфраструктуру. Это, в свою очередь, приводит к сокращению времени перевозок и повышению общей производительности транспортной системы.

Не менее важным является вопрос повышение эффективности логистических процессов, так как использование интеллектуальных алгоритмов маршрутизации и прогнозирования позволяет минимизировать пробег транспортных средств, повысить точность доставки и сократить временные издержки. В условиях глобальной экономики это приобретает особую значимость, поскольку эффективность логистики напрямую влияет на конкурентоспособность предприятий.

При этом, сама автоматизация управления транспортной системой отвечает за повышение экономической эффективности: снижение влияния человеческого фактора способствует уменьшению количества ошибок, повышению точности планирования и ускорению принятия управленческих решений. Это особенно актуально для крупных транспортных узлов и мегаполисов, где сложность управления транспортными потоками требует применения высокотехнологичных решений.

Дополнительным эффектом внедрения интеллектуальных транспортных систем является повышение уровня безопасности, например, снижение аварийности ведет к уменьшению экономических потерь, связанных с восстановлением инфраструктуры, медицинскими расходами и страховыми выплатами, а улучшение экологических показателей за счет сокращения выбросов и более рационального использования ресурсов способствует снижению экологических платежей и повышению устойчивости экономики.

Вместе с тем внедрение интеллектуальных транспортных систем связано с рядом ограничений, среди которых следует отметить высокую стоимость реализации, необходимость модернизации существующей инфраструктуры, а также вопросы обеспечения безопасности.

Таким образом, рост автомобилизации в начале XXI века выявил серьезные проблемы в функционировании транспортной системы, оказавшие негативное влияние на экономику. И в этих условиях внедрение интеллектуальных транспортных систем становится необходимым условием повышения эффективности транспортной отрасли, поскольку их развитие способно не только решить текущие проблемы, но и создать основу для устойчивого экономического роста, повышения качества жизни населения и формирования современной цифровой экономики.

Список использованных источников

1. Маркова О.А. Цифровая трансформация на транспорте: возможности развития и риски ограничения конкуренции // Современная конкуренция. – 2019. – Том 13. – № 3 (75). – С.73–90.

2. Меренков А.О. Цифровая экономика: управление на транспорте и интеллектуальные транспортные системы // Электронный менеджмент в отраслях. – 2018. – № 1. – С. 12–18.

DIGITALIZATION OF THE TRANSPORT INDUSTRY: INTELLIGENT SYSTEMS

A.E. Khairullina

*Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russia*

The role of intelligent transport systems as a tool for increasing the economic activity of the transport industry is reviewed; the main directions of their influence are analyzed.

Keywords: intelligent transport systems, economics, logistics, management, transport.

УДК 621.317.39:621.311:620.9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

И.С. Хасаншин, Л.В. Фетисов

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассматриваются современные тенденции развития измерительных преобразователей для систем диагностики силовых агрегатов энергетической отрасли. Проведен анализ основных типов сенсоров, применяемых для контроля технического состояния генераторов, трансформаторов и двигателей.

Ключевые слова: измерительные преобразователи, техническая диагностика, силовые агрегаты, энергетическая отрасль, емкостные сенсоры.

Надежность и эффективность функционирования энергетической отрасли в определяющей степени зависят от технического состояния ключевого оборудования – турбогенераторов, гидрогенераторов, силовых трансформаторов, мощных электродвигателей. Выход из строя силового агрегата на электростанции или промышленном предприятии может привести не только к значительным экономическим потерям, но и к каскадному развитию аварий в энергосистеме. Традиционные системы диагностики, основанные на периодических измерениях

с использованием стационарных или переносных приборов, не всегда позволяют своевременно выявить развивающиеся дефекты, особенно на ранних стадиях.

Решение этой проблемы лежит в области создания и совершенствования измерительных преобразователей физических величин, интегрируемых непосредственно в конструкцию силовых агрегатов и обеспечивающих непрерывный мониторинг их состояния в режиме реального времени. Безаварийная и эффективная работа мощных турбогенераторов в значительной степени зависит от стабильности их основных механических параметров, что требует разработки специализированных сенсоров для их контроля [1].

Специфика контроля силовых агрегатов энергетической отрасли предъявляет повышенные требования к измерительным преобразователям. Прежде всего, они должны функционировать в условиях интенсивных электромагнитных помех, высоких температур, вибраций и агрессивных сред. Традиционные методы диагностики, как отмечают разработчики из Чувашского государственного университета, затруднены ограниченным доступом к внутренним элементам оборудования, необходимостью приостанавливать его работу и влиянием электромагнитных наводок.

Современные тенденции совершенствования измерительных преобразователей включают:

- повышение точности и помехозащищенности за счет применения новых физических принципов измерений;
- миниатюризацию и возможность встраивания непосредственно в конструктивные элементы агрегатов;
- снижение энергопотребления, особенно для автономных беспроводных систем;
- расширение функциональных возможностей – способность измерять несколько физических величин одновременно.

Одним из ярких примеров совершенствования измерительных преобразователей является разработка многоэлементных емкостных сенсоров с компланарными электродами для контроля состояния сердечника статора турбогенератора. Исследователи Института электродинамики предложили оригинальное техническое решение для косвенной оценки давления прессовки сердечника путем измерения хода тарельчатых пружин в силовых аккумуляторах, устанавливаемых на стяжных призмах.

Разработанный сенсор состоит из высокопотенциального, низкопотенциального и заземленного электродов, причем заземленный электрод располагается между потенциальными электродами и вокруг них, что обеспечивает эффективное экранирование от внешних полей. Каждый сектор содержит свой элементарный сенсор, размещенный на кольцевой диэлектрической пластине и образованный компланарными электродами, являющимися частью соосных концентрических колец. Важным преимуществом данной разработки является наличие упрощенной аналитической модели, позволяющей получить аналитическую зависимость изменения информативной составляющей электрической емкости от

хода тарельчатых пружин. Достоверность модели подтверждена экспериментально при испытаниях лабораторного образца [2].

Принципиально новые возможности для диагностики высоковольтного энергетического оборудования открывают оптоволоконные измерительные преобразователи. Ученые Чувашского государственного университета разработали и протестировали новый класс диагностических устройств для силовых трансформаторов, ориентированных на работу в экстремальных условиях.

Оптоволоконные сенсоры позволяют одновременно фиксировать температурные параметры, акустические и вибрационные характеристики оборудования, обеспечивая объемный мониторинг без искажений, типичных для высоковольтной среды. Ключевое преимущество таких датчиков – возможность проведения измерений под рабочим напряжением без необходимости останова оборудования. Это существенно снижает риски технологических нарушений и уменьшает стоимость диагностики маслонаполненного оборудования. По оценкам специалистов, интеграция оптоволоконных датчиков в энергосистемы открывает возможность предиктивного анализа старения оборудования и обнаружения аварийных режимов принципиально новым способом [3].

Для диагностики быстроходных силовых установок большой мощности (авиационных и ракетных двигателей, мощных газотурбинных установок) перспективным направлением является использование одновитковых вихретоковых датчиков с чувствительными элементами в виде одиночного контура тока или отрезка проводника, а также их кластерных разновидностей [4].

Простота конструкции датчиков обеспечивает их высокую технологичность и работоспособность в условиях внешних воздействий. Они предназначены для оперативного обнаружения опасных состояний, вызванных разрушением пар трения или попаданием посторонних предметов в газоздушный тракт.

Развитие измерительных преобразователей связано с совершенствованием методов обработки сигналов. Современные разработки направлены на повышение достоверности диагностики за счет использования адаптивных методов фильтрации, вейвлет-преобразований и машинного обучения, преодолевая ограничения классического спектрального анализа тока.

Перспективно использование электродвигателя как датчика вибраций, где механические колебания модулируют потребляемый ток. Изменение амплитуды собственных частот позволяет не только констатировать, но и прогнозировать развитие дефекта.

Существенным ограничением для непрерывного мониторинга является сложность прокладки кабельных линий. Решение – беспроводные сенсорные сети и автономное питание датчиков.

В аэрокосмическом двигателестроении перспективно использование сверхширокополосных сигналов для передачи данных и термоэлектрических преобразователей для автономной генерации питания.

"Интеллектуальные" энергетические цепи со встроенными сенсорами контролируют состояние кабельных систем, предотвращая незапланированные простои.

Современная энергетика движется к цифровым подстанциям и интеллектуальным системам управления. Измерительные преобразователи должны обладать функциями предварительной обработки, самодиагностики и цифровой коммуникации.

Совершенствование измерительных преобразователей физических величин является ключевым фактором повышения эффективности систем диагностики силовых агрегатов энергетической отрасли. Анализ современных разработок позволяет выделить несколько магистральных направлений развития: применение новых физических принципов (емкостные сенсоры со сложной топологией электродов, оптоволоконные датчики, вихретоковые преобразователи); обеспечение встраиваемости в конструкцию оборудования и работы без остановок; развитие беспроводных технологий с автономным энергообеспечением; совершенствование алгоритмов обработки сигналов на основе искусственного интеллекта [5].

Особую значимость приобретает интеграция измерительных преобразователей в единые интеллектуальные системы мониторинга, позволяющие перейти от реактивного обслуживания (по факту отказа) к предиктивному (по фактическому техническому состоянию с прогнозированием остаточного ресурса). Это требует дальнейших исследований в области создания унифицированных измерительных модулей, разработки помехозащищенных каналов передачи данных и совершенствования методов метрологического обеспечения в условиях эксплуатации.

Список использованных источников

1. Волчанина М.А. Совершенствование методов диагностирования изоляции силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения с применением мобильных технических средств. – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-metodov-diagnostirovaniya-izolyatsii-silovykh-transformatorov-sistemy-tya> (дата обращения 12.03.2026).

2. Хренников А.Ю. Основные причины внутренних повреждений обмоток силовых трансформаторов напряжением 110 – 500 кВ в процессе эксплуатации / А. Ю. Хренников. – Текст: непосредственный // Промышленная энергетика. – 2006. – №12. – С. 12–14.

3. Бей Ю.М. Тяговые подстанции / Ю.М. Бей, Р.Р. Мамошин. – Москва: Транспорт, 1986. – 319 с. – Текст: непосредственный.

4. Москаленко Р.В. Перспективные пути совершенствования диагностики силовых трансформаторов / Р. В. Москаленко. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2011. – №2/2. – С. 94–97.

5. Христинич Р.М. Комплексная диагностика маслонаполненных трансформаторов / Р.М. Христинич, А.Р. Христинич, Е.В. Христинич. – Текст: непосредственный // Вестник КрасГАУ. – 2007. – №3. – С. 222–226.

IMPROVEMENT OF MEASURING TRANSDUCERS OF PHYSICAL QUANTITIES FOR DIAGNOSTIC SYSTEMS OF POWER UNITS IN THE ENERGY INDUSTRY

I.S. Khasanshin, L.V. Fetisov

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

The article discusses current trends in the development of measuring transducers for diagnostic systems of power units in the energy industry. The analysis of the main types of sensors used to monitor the technical condition of generators, transformers and motors is carried out.

Keywords: measuring transducers, technical diagnostics, power units, energy industry, capacitive sensors.

УДК 621

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОВРЕЖДЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК С ПИТАНИЕМ ОТ СОЛНЕЧНЫХ МИНИ-СТАНЦИЙ

А.Р. Хисамов, З.И. Фахрутдинов

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

Статья посвящена концептуальной разработке автономной цифровой системы мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи, интегрирующей два инновационных подхода: энергонезависимое питание на основе солнечных мини-станций и метод обнаружения дефектов по анализу частотных характеристик передаваемого сигнала.

Ключевые слова: автономный мониторинг, воздушные линии электропередачи, частотная трансмиссометрия, солнечные мини-станции, обнаружение повреждений.

Надежность воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) критически важна для энергосистем. Их протяженность и подверженность внешним

воздействиям требуют непрерывного мониторинга. Традиционные методы (визуальный осмотр, тепловизор, авиация) трудоемки, медленны и дороги.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с камерами и лидарами точны (до 98%) в обнаружении видимых дефектов, но зависят от человеческого фактора и требуют соответствующей инфраструктуры. Они менее эффективны для скрытых повреждений (внутренние дефекты, коррозия, контактные соединения).

Стационарные сенсоры (например, LKX MULTI) собирают метеоданные, проводят видеонаблюдение и контролируют токи, используя энергию поля линии. Однако их высокая стоимость, сложность монтажа и привязка к типам опор ограничивают массовое внедрение. Перспективным является применение автономных измерительных постов с возобновляемыми источниками энергии, в частности, солнечными мини-станциями. Существуют микроконтроллерные системы для мониторинга фотоэлектрических установок с низким энергопотреблением. Переход к диагностике ВЛЭП требует отказа от параметрического контроля (ток, напряжение) в пользу структурной диагностики. Этого можно достичь анализом высокочастотных характеристик линии как длинной передающей среды [1].

Ключевым теоретическим фундаментом предлагаемой системы является метод частотной трансмиссометрии (FDT), разработанный С.Э. Валиевым и А.Ч. Окафором. В отличие от классических методов TDR и FDR, FDT анализирует прошедший сигнал (S_{21}), что упрощает аппаратную часть, исключая необходимость в направленных ответвителях. Сигнал подается на вход линии, регистрируется на выходе, и с помощью IFFT восстанавливается псевдовременная характеристика. Пики на ней указывают на неоднородности волнового сопротивления (повреждения, коррозию, соединения).

Преимущество FDT для автономного мониторинга – размещение передатчика и приемника на противоположных концах контролируемого участка. Эксперименты на коаксиальных линиях показали, что площадь под пиком FDT-отклика пропорциональна ширине зоны коррозии, а амплитуда прошедшего сигнала коррелирует с глубиной повреждения. Отмечена возможность прогнозирования остаточного ресурса, так как скорость коррозии замедляется со временем.

Перенос FDT на воздушные линии электропередачи (ВЛ) требует учета их специфики: более высокого волнового сопротивления, распределенных параметров и больших размеров. Однако фундаментальная физическая основа сохраняется – зависимость параметров распространения волны от локальных изменений погонных индуктивности и емкости [2].

Архитектура системы предполагает размещение на опорах ВЛ компактных солнечных мини-станций (фотоэлектрические панели, контроллеры заряда, аккумуляторы). Потребление (менее 2 Вт в режиме ожидания, до 14 Вт пиковое потребление) достаточен для периодических измерений и беспроводной передачи данных. Солнечная генерация обеспечивает гальваническую развязку и независимость от токовой нагрузки, что важно при диагностике в периоды низкого энергопотребления или аварийных отключений.

Ключевой особенностью предлагаемого решения является интеграция измерительного тракта непосредственно с инверторной частью солнечной мини-станции. Современные сетевые инверторы малой мощности, построенные на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT), способны генерировать высокочастотные составляющие в широком спектре. Это позволяет использовать инвертор не только по прямому назначению, но и в качестве программируемого генератора зондирующих сигналов. Для реализации FDT-метода необходимо обеспечить возможность инъекции в контролируемый участок линии частотно-модулированного сигнала (свип-сигнала) в диапазоне, обеспечивающем достаточную разрешающую способность [3]. Экспериментальные исследования на авиационных линиях показали информативность диапазона от 10 МГц до 2.6 ГГц. Для воздушных линий, обладающих большей погонной задержкой и более высоким затуханием, целесообразно использование более низкочастотного диапазона – ориентировочно от 100 кГц до 300 МГц, что технически достижимо при доработке выходных каскадов инверторов.

Приемная часть системы располагается на противоположной опоре, ограничивающей контролируемый пролет. Приемник, также питаемый от автономной солнечной станции, синхронизируется с передатчиком по протоколам точного времени (например, RTRv2) и регистрирует амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики прошедшего сигнала. Полученная частотная характеристика S21 подвергается цифровой обработке непосредственно в измерительном модуле. Применение алгоритмов обратного быстрого преобразования Фурье позволяет преобразовать частотные данные в псевдовременную форму, визуализирующую пики, соответствующие точкам отражений/переотражений. Положение пика на временной оси определяет расстояние до дефекта, а его амплитуда и форма – тип и тяжесть повреждения.

Особого внимания заслуживает вопрос классификации дефектов. В работах по FDT-диагностике идентифицированы три типа повреждений: с обнаженным внешним проводником (ЕОС), с обнаженным центральным проводником (ЕСС) и с полным разрывом цепи (ЕЕСС). Для воздушных линий спектр повреждений шире: это коррозия сталеалюминиевых проводов, нарушение контактных соединений, обрывы жил, набросы посторонних предметов. Каждый тип повреждения формирует уникальный паттерн изменения S21-характеристики в частотной области. Система, накапливая базу эталонных сигнатур, может в автономном режиме классифицировать событие и принимать решение о степени критичности. Важно подчеркнуть, что в отличие от рефлектометров, требующих высококвалифицированного оператора для интерпретации рефлектограмм, предлагаемая система оперирует сравнительным анализом: текущая частотная характеристика сопоставляется с базовой, снятой в момент ввода линии в эксплуатацию. Алгоритмы машинного обучения, реализованные на бортовых микроконтроллерах, способны выявлять статистически значимые отклонения и формировать сигналы тревоги с указанием типа предполагаемого дефекта [4].

Экономическая целесообразность разработки определяется двумя факторами. Во-первых, массовое производство фотоэлектрических модулей и силовой электроники достигло уровня стоимости, при котором их использование в

распределенных сенсорных сетях становится коммерчески оправданным. Во-вторых, как показал опыт разработки специализированных сенсоров для дроновых систем, замена тяжелого и дорогого промышленного оборудования на облегченное решение собственной разработки позволяет снизить стоимость компонентов на два порядка. Аналогичный подход применим к проектированию высокочастотных измерительных модулей для FDT: отказ от универсальных векторных анализаторов цепей в пользу узкоспециализированных интегральных решений, оптимизированных под конкретный частотный диапазон и интерфейсы сопряжения, позволит достичь целевой стоимости устройства, приемлемой для массовой установки на линиях 6–35 кВ [5].

Таким образом, разработанная концепция автономной цифровой системы мониторинга, объединяющая солнечные мини-станции с методом частотной трансмиссомерии, обеспечивает энергонезависимую диагностику повреждений воздушных линий. Предложенное решение позволяет снизить эксплуатационные затраты, повысить оперативность обнаружения дефектов и создать масштабируемую интеллектуальную инфраструктуру контроля электросетевого хозяйства.

Список использованных источников

1. Анализ причин обрывов фазных проводов воздушных линий напряжением 6-10 кВ. Хлопова А.В. Безопасность жизнедеятельности. – 2018. – № 4 (208). – С. 38-43.
2. Вайнштейн Р.А., Коломиец Н.В., Шестакова В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 118 с.
3. Сирота И.М. Защита от однофазных замыканий в электрических системах: – Киев. Изд. АН УССР. – 1955. – 208 с.
4. Шабад М.А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ: – Москва: Энергопрогресс: Энергетик, 2007. – 63 с.
5. Шалин А.И. Замыкания на землю в сетях 6-35 кВ. Направленные защиты. Особенности применения // Новости электротехники. – 2005. – №6 (36). – С. 52-55.

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS DIGITAL SYSTEM FOR OVERHEAD LINE DAMAGE MONITORING BASED ON FREQUENCY RESPONSE ANALYSIS WITH POWER SUPPLY FROM SOLAR MINI-STATIONS

A.R. Khisamov, Z.I. Fakhrutdinov

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

The article is devoted to the conceptual development of an autonomous digital monitoring system for the technical condition of overhead power transmission lines, integrating two innovative approaches: non-volatile power based on solar mini-stations

and a method for detecting defects by analyzing the frequency characteristics of the transmitted signal.

Keywords: autonomous monitoring, overhead power transmission lines, frequency transmissometry, solar mini-stations, damage detection.

УДК 621.316

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

А.Р. Хисамов

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассмотрен вопрос разработки цифровой системы определения повреждений на воздушных линиях и по частотным характеристикам, который остается важной задачей в области электроэнергетики.

Ключевые слова: ЛЭП, цифровые системы, мониторинг, аварии, воздушные линии.

Разработка цифровых систем определения повреждений на воздушных линиях по частотным характеристикам остаётся актуальной задачей электроэнергетики. Воздушные линии подвержены воздействию множества факторов, вызывающих нарушения и аварии, что требует создания диагностических комплексов, способных оперативно выявлять дефекты, прогнозировать их развитие и сокращать время и затраты на ремонт.

Принцип действия данных систем основан на анализе сигнала, передаваемого по ЛЭП. В нормальном режиме сигнал имеет стабильный частотный спектр; при повреждении возникают дополнительные частоты и изменяются амплитуды существующих компонентов. Цифровая обработка этих параметров позволяет определить тип и место повреждения [1].

В настоящее время существует ряд готовых решений. Система «DiLin» предназначена для оперативного контроля состояния воздушных линий. Интеллектуальные сенсоры, устанавливаемые на проводах, фиксируют температурные, механические и электрические параметры. Данные передаются на локальные модули и обрабатываются программным обеспечением, анализирующим частотные характеристики для выявления обледенения, износа изоляции и других дефектов. Система работает автономно и обеспечивает непрерывный мониторинг с передачей данных по радиоканалам [2]. Другая разработка компании «Сервис Энерджи» предназначена для линий 6–220 кВ и формирует цифровую копию ЛЭП, отображающую в реальном времени все параметры и дефекты. Система фиксирует обледенение, провис провода, обрыв изоляции и иные

нарушения; передача данных осуществляется по сотовой связи. Это позволяет дистанционно диагностировать повреждения без выезда на место, существенно сокращая время реагирования и эксплуатационные расходы.

Но периодически требуется более точный способ для определения места повреждения. В таких случаях часто используют систему, которая основана на анализе осциллограмм, переходных процессов, регистрируемых цифровыми осциллографами аварийных событий. Пример такой разработки можно встретить в АО «Тюменьэнерго», он предназначен для линий 3-35 кВт. Эта система изучает вектор напряжения и токов, она находит конкретное местоположение поломки благодаря алгоритмам, которые сделаны и основаны на обработке частотных характеристик и временных интервалов [3]. Интеграция системы со SCADA-объекта обеспечивает оперативное информирование диспетчеров о повреждениях посредством SMS или e-mail, что существенно сокращает время восстановительных работ.

Алгоритм работы системы включает несколько этапов: интеллектуальные сенсоры фиксируют токи и напряжения; временные сигналы преобразуются в частотную область (например, посредством преобразования Фурье); изменение амплитуд и появление дополнительных частот свидетельствуют о наличии дефектов. Алгоритм анализирует эти изменения, определяет тип и место повреждения. Передача данных диспетчерам обеспечивает оперативное устранение аварий. Для повышения точности и снижения числа ошибок применяются методы машинного обучения.

На российском рынке представлен ряд конкурентоспособных решений в данной области. Стационарная система «СИГМА-М» основана на спектральном анализе переходных процессов и определяет расстояние до места повреждения с высокой точностью. Портативный комплекс «ЦИКЛОН-М» использует метод частотной сканирующей диагностики: подает зондирующий импульс и анализирует спектр отклика для поиска обрывов, повреждений изоляторов и замыканий. Система «ТОРНАДО» комбинирует анализ бегущих волн с частотными методами, что позволяет фильтровать помехи и учитывать неоднородности линии. Наиболее эффективным решением для постоянного автоматизированного мониторинга является «СИГМА-М», отличающаяся полной автоматизацией, интеграцией с РЗА и погрешностью локации в пределах 50–100 метров. «ЦИКЛОН-М» оптимален для экспедиционных обследований, тогда как «СИГМА-М» представляет собой базовое решение для построения централизованных систем диагностики сетей. Система определения повреждений высоковольтных линий, представленная на рисунке 1, использует локационный метод: зондирующий импульс подается в линию, отраженный сигнал с информацией о состоянии проходит обработку и анализ в компьютере. Результаты выводятся на автоматизированное рабочее место с указанием типа и места повреждения. Направленный ответитель разделяет передающий и приёмный тракты, увеличивая дальность обнаружения. Коммутатор подключает систему к линии по шести каналам для полного мониторинга различных типов повреждений. Аппаратура подключения

позволяет стационарно использовать систему для постоянного контроля и прогнозирования аварий, включая работу в разветвлённых сетях.

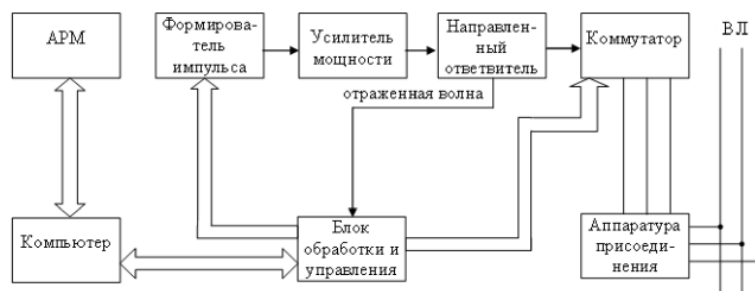


Рисунок 1 – Блок-схема системы определения места повреждения высоковольтных линий

Анализ научной литературы подтверждает, что частотный анализ обеспечивает наивысшую чувствительность к повреждениям, включая однофазные замыкания на землю. Применение искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет автоматизировать диагностику, минимизировать ложные срабатывания и сократить количество аварийных выездов. Цифровые системы мониторинга повышают надежность электроснабжения и продлевают срок службы воздушных линий электропередачи [4].

По мере внедрения цифровых средств диагностики растет уровень информатизации и использования методов передачи данных. Интеграция информационных систем делает цифровые комплексы наиболее эффективным инструментом для операторов сетей. Высокая точность определения места повреждения сокращает время ремонта и повышает качество обслуживания потребителей.

Современные цифровые системы, такие как «Сокол АИ», наряду с мониторингом технического состояния анализируют состояние опор и элементов конструкций. Сочетание указанных функций расширяет возможности диагностики, обеспечивает комплексное обслуживание воздушных линий и позволяет заблаговременно предупреждать аварийные ситуации. Использование искусственного интеллекта в системах мониторинга ускоряет поиск дефектов, автоматизирует процессы и прогнозирует их развитие, что существенно повышает эффективность управления электроэнергетическими объектами [5].

Таким образом, разработка цифровых систем определения повреждений на воздушных линиях по частотным характеристикам представляет собой синтез аппаратных средств – интеллектуальных сенсоров, программных алгоритмов анализа частотных и временных параметров сигналов – и современных технологий передачи информации. Данные системы позволяют своевременно обнаруживать проблему, точно локализовать повреждение и оперативно информировать диспетчерские службы. Это способствует повышению надежности электроснабжения и сокращению времени восстановительных работ. В условиях цифровой трансформации энергетики подобные комплексы становятся ключевым инструментом регулярного мониторинга и обслуживания линий электропередачи.

Список использованных источников

1. Система мониторинга и диагностики воздушных линий «DiLin», Terra-KIP, 2024.
2. Система дистанционной диагностики ВЛ 6–220 кВ, СервисЭнерджи, 2023. <https://eepir.ru/article/sistema-distancionnoj-diagnostiki-vl-6-220-nbsp-kv/> (дата обращения 01.10.2025).
3. Система определения места повреждения ВЛ 3–35 кВ, АО «Тюмень-энерго», 2022. <https://eepir.ru/article/sistema-opredeleniya-mesta-povreghdeniya-vozdushnyh-linii-elektroperedachi-6-10-kv/> (дата обращения 01.10.2025).
4. Программа определения места повреждения линий (ОМП), 2018. <https://www.energsoyuz.spb.ru/ru/content/programma-opredeleniya-mesta-povrezhdeniya-linij-omp> (дата обращения 01.10.2025).
5. Цифровая система мониторинга повреждений воздушных линий, Федотов А.И., 2021. <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-sistema-monitoringa-povrezhdeniy-na-liniyah-elektroperedachi> (дата обращения 01.10.2025).

DEVELOPMENT OF A DIGITAL SYSTEM FOR DETECTING DAMAGE ON OVERHEAD LINES BASED ON FREQUENCY CHARACTERISTICS

A.R. Khisamov

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

The article considers the issue of developing a digital system for determining damage on overhead lines and frequency characteristics, which remains an important task in the field of electric power industry.

Keywords: power lines, digital systems, monitoring, accidents, overhead lines.

УДК 621.57

КОМПЛЕКСНАЯ НАЛАДКА ОБОРУДОВАНИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ОБЪЕКТАХ

М.А. Хомутов¹

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

В статье приведен процесс комплексной наладки системы холодоснабжения после завершения строительства здания. Кроме этого, описаны меры

¹ Научный руководитель - Г.А. Галка

безопасности при организации пуско-наладочных работ и требования, значения комплексной наладки холодильного оборудования.

Ключевые слова: наладка, система, установка, здание, режим, инструктаж, наличие.

Комплексную наладку системы холодоснабжения следует выполнять после завершения регулирования холодильной установки, при работе потребителей холода в режиме максимального холодильного потребления. А также комплексную наладку следует выполнять после устранения недостатков, выявленных при регулировании системы и проводят ее при одновременной работе всех сопутствующих инженерных систем здания, а именно – электроснабжения, автоматизации, кондиционирования, водоснабжения и водоотведения [1].

Комплексная наладка средств автоматизации считается выполненной только после получения средствами автоматизации параметров и режимов, предусмотренных проектной и рабочей документацией. По результатам комплексной наладки холодильной установки, следует составлять акт «сдачи-приемки» системы в эксплуатацию [2].

Комплексная наладка холодильного оборудования включает в себя:

1) Опробование одновременной работы холодильного оборудования совместно с электротехническими устройствами и средствами автоматизации по утвержденным программам;

2) Обеспечение оптимального режима работы холодильного оборудования в соответствии с данными проектной и рабочей документацией [3].

По требованию технического заказчика, в программу комплексной наладки системы холодоснабжения, могут быть включены измерения уровней шума, вибрации и т. д.



Рисунок 1 – Результат комплексной наладки холодильного оборудования. Общий вид. [4]

Меры безопасности при организации пуско-наладочных работ.

Перед началом работы по пуско-наладке, необходимо:

1) Пройти вводный инструктаж по технике безопасности, пожарной безопасности у ответственного представителя эксплуатирующей организации и ознакомить персонал пуско-наладочной организации с правилами внутреннего распорядка на объекте и особенностями технологической схемы. А также - электрических схем функционально-технологических узлов и функционально-технологических зон;

2) Определить состояние смонтированного оборудования и назначить специалистов (включающей состав бригады) для выполнения задания, определенного рабочей программой пуско-наладочных работ и испытаний, с позиции обеспечения всех мероприятий, прямо или косвенно влияющих на безопасность выполнения работ;

3) Проверить наличие и соответствие данных по срокам и квалификационным требованиям удостоверения установленного образца каждого сотрудника, привлекаемого к выполнению задания по наряду-допуску или распоряжению на основании требований;

4) Провести инструктаж по безопасности на рабочем месте сотрудников по пуско-наладке, проверить наличие и состояние защитных средств;

5) Ознакомить членов бригады с рабочей документацией и технической документацией предприятий – производителей оборудования, указав, при этом, на специфические особенности электрической схемы и расположение электротехнического оборудования.

Руководитель пуско-наладочных работ на объекте отвечает за точное выполнение всех мер безопасности, связанных с выполнением работ. Ежедневно, перед началом работ и в течение рабочего дня он должен проверять расстановку плакатов, ограждений, заземлений.

В заключении, хочется сказать, что индивидуальные испытания и пуско-наладка систем холодоснабжения направлены на проверку работоспособности, безопасности и эффективности оборудования. Они позволяют выявить и устранить возможные недочеты до ввода системы в эксплуатацию, что обеспечивает надежную и бесперебойную работу в дальнейшем.

Организация пуско-наладочных работ требует тщательной подготовки, четкого плана и взаимодействия всех участников процесса от заказчика до исполнителя. Качественная организация и проведение работ обеспечивают надежную и безопасную работу оборудования, а также подготовку и передачу холодильной системы в эксплуатацию.

Кроме того, инженеры по комплексной наладке холодильного оборудования обязаны по выполнению работ, проверить результат соответствия работы холодильной системы, холодильных потребителей и устройств по параметрам, заданным изначально в проектной и рабочей документации. [5]

Список использованных источников

1. Котзаогланиан П. Пособие для ремонтника, 2008, 844 с.

2. Дьякова Ю.А. «Особенности показателей эффективности и качества инженерно-технического обслуживания складских и холодильных комплексов» // «Российский гуманитарный журнал», 2013, 278-284 с.

3. Трухачев В.И., Атанов И.В., Капустин И.В., Грицай Д.И. «Эксплуатация и обслуживания холодильного оборудования на предприятиях АПК» / уч. Пособие, 2025, 176 с.

4. Гальперин Д.М. «Монтаж и наладка холодильных установок. Справочник» - 1976, 480 с.

5. Онищенко Н.П. «Безопасные методы работы при монтаже, наладке, эксплуатации и ремонте аммиачных холодильных установок» // издательство: «Легкая и пищевая промышленность», Москва – 1984, 280 с.

COMPLEX SETUP OF REFRIGERATOR EQUIPMENT AT FACILITIES

M.A. Homutov¹

*Don State Technical University,
Rostov-On-Don, Russia*

The article describes the process of complex commissioning of the refrigeration system after the completion of the building construction. In addition, it describes the safety measures for organizing commissioning and requirements, as well as the importance of complex commissioning of refrigeration equipment.

Keywords: commissioning, system, installation, building, mode, briefing, availability.

УДК 656.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ В СКЛАДСКОМ КОМПЛЕКСЕ ОАО «РЖД»

Е.Ю. Царегородцева, Л.С. Еременко

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

Статья посвящена логистическим проблемам, с которыми сталкивается складской комплекс ОАО «РЖД», и проанализируем их влияние на общую эффективность компании.

В рамках работы будут рассматриваться несколько ключевых аспектов, касающихся логистики в ОАО «РЖД». Во-первых, будет проведен анализ текущего состояния логистических процессов, что позволит выявить основные

¹ Scientific supervisor - G.A. Galka

проблемы и недостатки, с которыми сталкивается компания. Во-вторых, представлено функционирование терминально-складских центров, которые являются важными узлами в цепочке поставок и требуют особого внимания в контексте оптимизации логистики.

Цель настоящей работы: исследование проблем в складском комплексе ОАО «РЖД» и пути их решения.

Ключевые слова: складской комплекс, ластика, управление, терминально-складские центры, железная дорога, бизнес, анализ.

Актуальность данной темы обусловлена тем, что эффективная логистика является залогом успешного функционирования не только самого ОАО «РЖД», но и всей транспортной отрасли в стране. В условиях растущей конкуренции и изменения потребительских предпочтений, компании необходимо адаптироваться к новым условиям, что требует глубокого анализа существующих логистических процессов. В частности, необходимо обратить внимание на функционирование терминально-складских центров, которые играют важную роль в организации грузоперевозок и обеспечении качественного сервиса для клиентов. [1].

Также важным аспектом является тарифная система, которая оказывает значительное влияние на логистику и формирование цен на услуги. Мы проанализируем, как тарифы влияют на конкурентоспособность компании и какие изменения могут быть предложены для улучшения ситуации. Мультимодальные перевозки, как часть логистики, также займут важное место в нашем исследовании, поскольку они позволяют оптимизировать процессы доставки грузов и повысить их эффективность [2].

ОАО «РЖД» управляет обширной сетью складских комплексов, однако в последние годы компания сталкивается с несколькими логистическими проблемами, которые затрудняют ее деятельность. Одной из основных проблем является отсутствие эффективной интеграции между различными компонентами логистической системы, включая транспортные и складские процессы. Это приводит к задержкам, неэффективному использованию ресурсов и увеличению затрат [3, с. 39].

Складской комплекс играет ключевую роль в обеспечении логистической инфраструктуры железнодорожного транспорта. Проблемы функционирования складских комплексов влияют на эффективность всей системы перевозок и качество обслуживания клиентов [4].

Анализируя работу складского комплекса ОАО «РЖД», выявлены следует рассмотреть основные проблемы:

1. Недостаточная автоматизация процессов учета и контроля запасов.
2. Неэффективное распределение площадей складов между различными типами груза.
3. Низкий уровень технической оснащенности складов современным оборудованием.

4. Недостаточное количество квалифицированного персонала для оперативного ведения складских работ.

5. Отсутствие интегрированных информационных систем, обеспечивающих прозрачность всех этапов движения товара.

Помимо всего представленного следующей проблемой является недостаточная автоматизация складских операций, что сказывается на скорости обработки грузов. На текущий момент значительная часть процессов осуществляется вручную, и несмотря на наличие современных технологий, их внедрение происходит медленно. Это может привести к росту ошибок и замедлению производительности. Внедрение автоматизированных систем управления складом могло бы значительно сократить время обработки заказов и улучшить итоговые показатели [3].

Сложности с тарифной политикой также оказывают влияние на логистические процессы. Тарифы за услуги по перевозке и хранению грузов часто изменяются, что создает неопределенность для клиентов и затрудняет планирование затрат. Прозрачность тарифной структуры и единообразие цен могут быть путями решения этих вопросов, чтобы повысить уровень доверия со стороны клиентов [5].

Кроме того, на ситуацию с логистикой положительно может повлиять расширение мультимодальных перевозок, что обеспечит более гибкое и эффективное использование транспортных маршрутов. Для этого необходимо больше внимания уделить инфраструктуре и техническому оснащению складских комплексов, что, в свою очередь, потребует дополнительных инвестиционных вложений и стратегического планирования [4].

С 1 января 2026 года начнет функционировать новая тарифная система ОАО «Российские железные дороги», которая предполагает установление экономически обоснованных тарифов. Принципы данной системы нацелены на поддержку инфраструктурного развития и улучшение финансовых показателей компании [14]. Основным направлением изменений является индексация тарифов в 2025 году и пересмотр политик тарификации, что должно способствовать снижению нагрузки на парк вагонов, а также обеспечить логику логистического контроля [6].

Новая тарифная политика будет включать в себя тарифные барьеры и скидки для различных групп грузов. Это, в свою очередь, позволит более эффективно управлять потоками и снизить затраты на логистику. Важным аспектом остается стимулирование определенных категорий грузов, что может значительно повлиять на выбор перевозчиков и логистические схемы. Предусмотренные меры могли бы упростить взаимоотношения между грузоотправителями и перевозчиками на фоне роста рентабельности грузоперевозок.

Для пассажирских перевозок также предусмотрена индексация цен – на 11,6%. Изменения коснутся регулируемого сегмента, но также возможна корректировка тарифов для нерегулируемых направлений. Эти нововведения направлены на гибкость подходов к ценовой политике, что имеет значительное значение для привлечения клиентов [6]. Общее внимание к пересмотру тарифной

политики и логистическим мерам создает предпосылки для больше эффекта от наиболее оптимального распределения ресурсов.

Логистика теперь будет включать в себя четкие правила, направленные на контроль и оценку экономической целесообразности тарифов. Возникает необходимость в проработке структур, которые помогут исправить возможные несоответствия между тарифами и фактическими затратами. Важным остается вопрос взаимодействия с другими транспортными компаниями, поскольку тарифы могут оказывать влияние на мультидисциплинарные перевозки.

Следует отметить, что новая tariff strategy позволит не только оптимизировать процессы, связанные с грузоперевозками, но и обеспечить долгосрочный рост компании в условиях меняющегося рынка. Переработка подходов к ценовой политике непосредственно влияет на общий имидж РЖД, так как помогает завоевывать доверие клиентов и укреплять рыночные позиции. Важно, чтобы изменения способствовали устранению «узких мест» в логистической цепочке и аккумулировали ресурсы для дальнейшего роста компании [5].

Таблица 1 – Пути решения выявленных проблем в складском комплексе ОАО «РЖД»

Пути решения	Описание
Внедрение систем управления складом (WMS)	Автоматизация операций по приему, хранению и отгрузке грузов для повышения скорости и точности работы.
Обновление материально-технической базы	Замена устаревших складских терминалов, погрузочно-разгрузочной техники и транспортных средств на современные аналоги.
Использование систем ERP	Внедрение интегрированных систем учета и планирования запасов для оптимизации складских операций.
Создание единой платформы	Разработка и внедрение единой информационной системы для координации всех процессов и обмена данными.
Оптимизация маршрутов и процессов	Использование методов анализа данных и современных алгоритмов планирования для повышения эффективности транспортировки и обработки грузов.

Также для решения проблем в складском комплексе ОАО «РЖД» следует применить:

– внедрение автоматизированных систем управления складом (WMS) Автоматизация процессов позволит повысить точность и скорость работы, снизить издержки.

- обновление материально-технической базы. Инвестиции в современное оборудование и транспортные средства снизят время обработки грузов.
- использование современных систем учета и планирования запасов (ERP) Обеспечит оптимальное управление запасами и повысит эффективность складских операций.
- интеграция информационных систем. Создание единой информационной платформы повысит прозрачность и оперативность принятия решений.
- оптимизация логистических маршрутов [5].

В заключении исследования данного вопроса мы можем отметить, что проблемы, существующие в складском комплексе ОАО «РЖД», требуют комплексного подхода и внедрения современных технологий и методик управления. Реализация предложенных мер позволит повысить эффективность работы складского комплекса, снизить издержки и повысить конкурентоспособность компании на рынке транспортных услуг.

Список использованных источников

1. Доможирова, А.Д. Анализ неравномерности распределения задержанных поездов при возникновении отказов / А.Д. Доможирова, И.А. Чубарова // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2024. – № 11. – С. 204-205.
2. Царегородцева, Е.Ю. Применение цифровизации, как инновационное управление процессом предприятия / Е.Ю. Царегородцева, С.С. Громышова // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22–26 марта 2021 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. – С. 143-145
3. Царегородцева, Е.Ю. Инновационные технологии в транспортной системе / Е.Ю. Царегородцева, Н.В. Власова // Экономика железных дорог. – 2025. – № 4. – С. 39-46.
4. Чернышева Ю.Г., Суркова С.С. Проблемы реализации клиентоориентированного подхода в деятельности компании ОАО «РЖД» // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2021. №71. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-realizatsii-klientoorientirovannogo-podhoda-v-deyatelnosti-kompanii-oao-rzhd> (15.02.2025).
5. Стратегия и Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до... [Электронный ресурс] // dzen.ru - Режим доступа: https://dzen.ru/a/ym2p6qqdbsewaqc_ (15.02.2025).
6. Тарифы РЖД и ставки операторов [Электронный ресурс] // www.om-express.ru - Режим доступа: https://www.om-express.ru/tarify_rzd_2025, (15.03.2025).

RESEARCH INTO PROBLEMS IN THE WAREHOUSE COMPLEX OF JSC RUSSIAN RAILWAYS

E.Yu. Tsaregorodtseva, L.S. Eremenko

*Irkutsk State Transport University,
Irkutsk, Russia*

This article examines the logistics challenges facing the warehouse complex of JSC Russian Railways and analyzes their impact on the company's overall performance.

This paper will examine several key aspects of logistics at JSC Russian Railways. First, it will analyze the current state of logistics processes to identify the company's key challenges and shortcomings. Second, it will present the functioning of terminal and warehouse centers, which are important nodes in the supply chain and require special attention in the context of logistics optimization.

The purpose of this paper is to examine the challenges facing the warehouse complex of JSC Russian Railways and explore ways to address them.

Keywords: warehouse complex, lastika, management, terminal and warehouse centers, railway, business, analysis.

УДК 622

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ РЕГЕНЕРАЦИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Р.Э. Чеботарев

*Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, Россия*

Проведён анализ физико-химических, термических и других способов очистки. Показано, что рациональное использование технологий регенерации позволяет существенно снизить экологическую нагрузку и повысить ресурсную эффективность нефтепродуктов.

Ключевые слова: моторные масла, регенерация, переработка, очистка, экология.

В процессе эксплуатации моторные масла подвергаются интенсивному воздействию высоких температур, кислорода, продуктов сгорания топлива и механических примесей, что, в свою очередь, приводит к постепенному ухудшению их свойств, а в результате к накоплению продуктов окисления, сажи, металлических частиц и воды.

Как правило, замена масла производится не реже одного раза в год, а в ряде случаев – значительно чаще, в зависимости от условий эксплуатации

автомобиля. В результате как частные владельцы транспортных средств, так и крупные предприятия ежегодно накапливают значительные объёмы отработанных масел, требующих грамотной утилизации или переработки.

И таким образом, с учётом постоянного роста количества автомобилей данная проблема приобретает всё большую актуальность. Ведь попадание таких отходов в окружающую среду приводит к загрязнению почвы и водных ресурсов, а также оказывает негативное влияние на экосистемы.

Рассмотрим данную проблему подробнее.

Отработанные моторные масла представляют собой сложные многокомпонентные системы, в которых, помимо базового масла, присутствуют продукты термоокислительной деструкции, остатки присадок, механические примеси и вода. В процессе эксплуатации наблюдается увеличение вязкости, рост кислотного числа, снижение антиокислительной стабильности и образование осадков.

Такие отработанные моторные масла относятся к категории опасных отходов, поскольку представляют серьёзную угрозу для окружающей среды и здоровья человека: при попадании в почву, поверхностные или грунтовые воды такие вещества способны вызывать долговременное загрязнение, нарушать экосистемы и накапливаться в живых организмах. Особую опасность отработанные масла представляют по сравнению с исходным продуктом, так как в процессе эксплуатации в них накапливаются продукты окисления, остатки присадок, механические примеси, а также различные токсичные соединения, включая тяжёлые металлы. Дополнительной проблемой является их высокая химическая устойчивость и практически полная нерастворимость в воде, что значительно замедляет процессы естественного разложения.

В связи с этим и возникает необходимость разработки и применения эффективных методов обращения с отработанными маслами, где Среди существующих подходов можно выделить различные способы повторного использования, включая обезвоживание, термический крекинг и другие методы переработки. Однако наибольший интерес с экологической и экономической точек зрения представляет регенерация, то есть восстановление исходных свойств масла с целью его повторного применения.

Суть процесса регенерации заключается в глубокой очистке отработанного масла от накопившихся загрязнений и продуктов деградации. В ходе обработки удаляются механические примеси, вода, газы, кислоты, смолистые вещества и другие нежелательные компоненты, и одновременно происходит восстановление внешних и эксплуатационных характеристик продукта, включая цвет, запах и физико-химические свойства. В результате получается очищенное базовое масло, которое по своим параметрам может быть сопоставимо с продуктом, получаемым из первичной нефти. Полученное в процессе регенерации базовое масло представляет собой ценное вторичное сырьё. И после дополнительной обработки, включающей введение специальных присадок и компаундирование, оно может использоваться для производства различных видов смазочных материалов, включая моторные, трансмиссионные и гидравлические масла.

Таким образом, регенерация позволяет не только снизить нагрузку на окружающую среду, но и существенно сократить потребление первичных нефтяных ресурсов.

Современные технологии регенерации отработанных масел можно условно разделить на три основные группы: физико-механические, физико-химические и химические методы.

Первые физико-механические методы направлены преимущественно на удаление грубых загрязнений и включают такие процессы, как фильтрация, отстаивание и центрифугирование. Они отличаются простотой реализации, однако не обеспечивают полной очистки масла. Физико-химические же методы являются более эффективными и основаны на использовании различных процессов взаимодействия между компонентами системы. К ним относятся адсорбция, коагуляция и экстракция, позволяющие удалять растворённые загрязнения, продукты окисления и смолистые вещества. Данные методы обеспечивают более высокое качество очистки, но требуют более сложного оборудования и дополнительных затрат. В основе химических методов регенерации отработанных моторных масел лежит принцип преобразования содержащихся в них загрязняющих веществ в формы, которые могут быть сравнительно легко удалены из общей массы продукта. В процессе эксплуатации масла в нём накапливаются сложные по составу примеси, включая продукты окисления, смолистые соединения, остатки присадок и различные механические включения. Большая часть этих загрязнений находится в растворённом или коллоидном состоянии, что затрудняет их удаление простыми физическими методами. Именно поэтому химические способы очистки играют ключевую роль в глубокой регенерации масел. К таким методам относятся, например, кислотная очистка и гидрогенизация. Последний способ является одним из наиболее современных и эффективных, так как позволяет не только удалить вредные примеси, но и восстановить структуру углеводородов, улучшая тем самым свойства конечного продукта.

Одним из наиболее известных и исторически широко применяемых методов является очистка с использованием серной кислоты. Суть данного процесса заключается во взаимодействии кислоты с примесями, содержащимися в отработанном масле. В результате химических реакций происходит разрушение нежелательных соединений и образование продуктов, которые выпадают в осадок и могут быть удалены. Такой подход позволяет эффективно снижать содержание смолистых веществ, продуктов окисления и ряда других загрязнителей.

Практика показывает, что наибольшая эффективность регенерации достигается при сочетании различных методов очистки. Комбинированные технологии позволяют учитывать особенности исходного сырья, степень его загрязнения и требуемые характеристики конечного продукта. В зависимости от выбранной схемы переработки и качества исходного масла выход регенерированного базового продукта может составлять от 75 до 90 процентов. Такой уровень восстановления делает регенерацию не только экологически оправданной, но и экономически выгодной.

По итогу, регенерация моторных масел имеет важное экологическое и экономическое значение: с экологической точки зрения она способствует снижению загрязнения окружающей среды, уменьшению объёмов отходов и сокращению выбросов вредных веществ, а с экономической точки зрения регенерация позволяет существенно снизить затраты на производство масел и повысить эффективность использования нефтяных ресурсов.

Список использованных источников

1. Шашкин П.И., Брай И.В. Регенерация отработанных нефтяных масел. — Москва: Химия, 2006. — 304 с.

MAIN ASPECTS OF ENGINE OIL REGENERATION

R.E. Chebotarev

*Tyumen Industrial University,
Tyumen, Russia*

The analysis of physico-chemical, thermal and other purification methods is carried out. It is shown that the rational use of regeneration technologies can significantly reduce the environmental burden and increase the resource efficiency of petroleum products.

Keywords: engine oils, regeneration, recycling, purification, ecology.

УДК 331.45:629.113.066

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

М.М. Шамеева, Ю.А. Аверьянова

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

В статье рассматриваются специфические факторы опасности, возникающие при техническом обслуживании электромобилей и гибридных транспортных средств. Проведён анализ основных рисков, связанных с работой высоковольтных систем и литий-ионных аккумуляторных батарей. Систематизированы организационно-технические мероприятия по обеспечению безопасности труда обслуживающего персонала. Представлена сравнительная характеристика опасных факторов при обслуживании электрических и традиционных транспортных средств.

Ключевые слова: безопасность труда, электромобиль, гибридное транспортное средство, высоковольтная батарея, электробезопасность, техническое обслуживание, охрана труда.

Электрификация транспортного сектора является одним из ключевых направлений современной промышленной политики. По данным агентства «АВТОСТАТ», в Российской Федерации в 2024 году было реализовано около 18 тыс. новых электромобилей, что на 26 % превышает показатель предыдущего года, а продажи гибридных автомобилей выросли на 178 % [1]. В этих условиях задача обеспечения безопасности труда персонала, осуществляющего техническое обслуживание и ремонт электрифицированных транспортных средств, приобретает особую актуальность.

Принципиальное отличие электромобилей и гибридных транспортных средств от автомобилей с ДВС состоит в наличии высоковольтных тяговых батарей, рабочее напряжение которых составляет от 350 до 800 В, а у отдельных моделей грузовиков достигает 1200–1600 В [2]. Эти величины значительно превышают пороговые значения опасного напряжения (42 В переменного и 110 В постоянного тока), установленные нормативными документами. Следовательно, при обслуживании высоковольтных компонентов возникают факторы опасности, не характерные для традиционного автосервиса.

Целью исследования является систематизация факторов опасности и разработка рекомендаций по обеспечению безопасности труда. К основным факторам опасности относятся: поражение электрическим током, термический ожог от дуги при коротком замыкании, токсическое воздействие при разгерметизации литий-ионных ячеек, термический разгон батареи, значительная масса тяговых батарей (250–600 кг) и бесшумность электропривода [3].

Для наглядной демонстрации различий в структуре производственных рисков при обслуживании автомобилей с ДВС и электрифицированных транспортных средств составлена сравнительная характеристика опасных факторов (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика опасных и вредных производственных факторов при техническом обслуживании транспортных средств

Фактор опасности	Автомобиль с ДВС	Электромобиль / гибрид
Поражение электрическим током	Низкий риск (12–24 В)	Высокий риск (350–800 В)
Термический ожог от электрической дуги	Не характерен	Возможен при КЗ в высоковольтной цепи
Токсическое воздействие электролита	Серная кислота (свинцово-кислотный АКБ)	Фтористый водород, продукты деструкции Li-Ion ячеек

Фактор опасности	Автомобиль с ДВС	Электромобиль / гибрид
Пожароопасность	ГСМ, бензин, дизельное топливо	Термический разгон Li-Ion батареи (до 1000 °С)
Эргономические нагрузки при демонтаже	ДВС: 100–250 кг	Тяговая АКБ: 250–600 кг
Опасность при перемещении ТС	Шум ДВС сигнализирует о работе	Бесшумность электропривода
Требования к квалификации персонала	Стандартная квалификация автослесаря	Группа по электробезопасности не ниже III

Данные таблицы 1 демонстрируют, что техническое обслуживание электрифицированных транспортных средств сопряжено с качественно иным спектром производственных рисков. Наиболее значимым отличием является присутствие высоковольтных компонентов, работа с которыми требует соблюдения строгих регламентов электробезопасности.

Обеспечение безопасности труда предполагает реализацию комплекса организационно-технических мероприятий. К организационным мерам относятся: допуск к работе только персонала с группой по электробезопасности не ниже III; прохождение специализированного обучения по программам производителей; разработка инструкций по охране труда, учитывающих специфику высоковольтных систем; организация работ не менее чем двумя работниками. Технические мероприятия включают: обустройство рабочей зоны с диэлектрическим напольным покрытием; установку гидравлических платформ для демонтажа тяговых батарей; обеспечение персонала средствами индивидуальной защиты (диэлектрические перчатки класса 0 или 00, защитные очки, диэлектрическая обувь, лицевой щиток); размещение средств пожаротушения, пригодных для тушения литий-ионных батарей [4, 5]. Обязательным является наличие изолированного инструмента, рассчитанного на напряжение не менее 1000 В.

Ключевым элементом безопасности является процедура деактивации высоковольтной системы перед началом любых работ. Она включает: отключение зажигания и деактивацию системы доступа; снятие клеммы 12-вольтового аккумулятора; размыкание сервисного разъёма высоковольтной батареи; выдержку времени (не менее 5 минут) для разряда конденсаторов инвертора; проверку отсутствия напряжения с помощью мультиметра категории CAT III/CAT IV. Только после подтверждения полного обесточивания допускается проведение работ на высоковольтных компонентах [2].

Отдельного рассмотрения заслуживает пожарная безопасность. Термический разгон литий-ионных ячеек сопровождается выделением токсичных газов (фтористый водород, оксид углерода) и температурой свыше 1000 °С. Стандартные порошковые и углекислотные огнетушители малоэффективны; оптимальным средством является обильная подача воды, предотвращающая

распространение разгона на соседние модули [6]. Сервисные предприятия должны быть оборудованы противопожарными контейнерами для хранения повреждённых батарей.

Таким образом, обеспечение безопасности труда при техническом обслуживании электромобилей и гибридных транспортных средств представляет собой комплексную задачу. Рост парка электрифицированных транспортных средств в Российской Федерации обуславливает необходимость подготовки квалифицированного персонала, обладающего компетенциями в области электробезопасности, а также модернизации материально-технической базы сервисных предприятий. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка стандартизированных регламентов безопасности, адаптированных к условиям российского автосервиса.

Список использованных источников

1. В 2024 году в России было продано рекордное количество новых электромобилей // АВТОСТАТ. – 2025. – URL: <https://www.autostat.ru/news/59257/> (дата обращения: 20.02.2026).
2. Смирнов Ю.А. Силовая электроника электромобилей. Управление инверторной генерацией энергии : учебное пособие / Ю.А. Смирнов, В.А. Детистов. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 256 с. – ISBN 978-5-507-49738-6.
3. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей и электромобилей : учебник для вузов / В.Е. Ютт. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2019. – 480 с.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей : утв. приказом Минэнерго России от 12.08.2022 № 811.
5. Графкина М.В. Охрана труда: учебник / М.В. Графкина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2024. – 324 с.
6. IEC 60900:2018. Live working – Hand tools for use up to 1000 V a.c. and 1500 V d.c. – International Electrotechnical Commission, 2018.

ENSURING OCCUPATIONAL SAFETY DURING MAINTENANCE OF ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES

M.M. Shameeva, Yu.A. Averyanova

*Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russia*

The article examines specific hazard factors arising during the maintenance of electric and hybrid vehicles. An analysis of the main risks associated with high-voltage systems and lithium-ion battery packs is presented. Organizational and technical measures to ensure the occupational safety of maintenance personnel are systematized. A comparative characterization of hazardous factors in servicing electric and conventional vehicles is provided.

Keywords: occupational safety, electric vehicle, hybrid vehicle, high-voltage battery, electrical safety, vehicle maintenance, labor protection.

БОЕВАЯ ОДЕЖДА ПОЖАРНЫХ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Д.С. Шапошник, А.А. Гуляева

Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского, Пензенский казачий институт технологий – филиал, г. Пенза, Россия

В статье представлен комплексный анализ боевой одежды пожарных (БОП) как ключевого элемента системы обеспечения безопасности личного состава при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ. Целью исследования является систематизация сведений о классификации, технических характеристиках и методах испытаний современных средств индивидуальной защиты пожарных. Методологическая база включает анализ нормативно-правовой документации, сравнительный анализ технических параметров и обобщение результатов эксплуатационных испытаний. Установлено, что БОП классифицируется по трем уровням защиты, определяющим материальное исполнение и тактическое назначение: I уровень (термостойкие ткани, устойчивость к тепловому потоку $40 \text{ кВт/м}^2 - 5 \text{ с}$, масса до 5 кг) – для газодымозащитников; II уровень (парусина с пропитками, устойчивость к пламени 5 с , масса до $6,5 \text{ кг}$) – для рядового состава; III уровень (винилискожа) – для водительского и вспомогательного персонала. Выявлены ключевые конструктивные элементы многослойного пакета материалов: наружный слой, водонепроницаемый слой (предотвращающий эффект «парового ожога»), съемная теплоизоляционная подкладка. Определены нормативы физиологической переносимости: температура тела не выше $38,5^\circ\text{C}$, частота сердечных сокращений не более 170 мин^{-1} , влагопотери не более 800 г/ч . Систематизированы методы испытаний: визуальный контроль, испытания на тепловую устойчивость, испытания на статическую нагрузку. Представлены критерии выбраковки: сквозные прогары, нарушение целостности швов, деформация фурнитуры. Результаты исследования могут быть использованы в учебных курсах по пожарной безопасности, при разработке тактико-технических заданий на закупку СИЗ, а также в практической деятельности подразделений МЧС России.

Ключевые слова: боевая одежда пожарного, средства индивидуальной защиты, классификация БОП, тепловая защита, методы испытаний, охрана труда, техносферная безопасность.

В системе обеспечения безопасности личного состава подразделений пожарной охраны средства индивидуальной защиты (СИЗ) занимают ключевое положение, выступая основным барьером между человеком и агрессивным воздействием опасных факторов пожара (ОФП). Согласно Федеральному закону № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», к ОФП, требующим обязательного применения СИЗ, относятся высокая

температура окружающей среды, открытое пламя, интенсивное тепловое излучение, токсичные продукты горения, а также механические воздействия при обрушении конструкций.

Эффективность выполнения боевых задач напрямую зависит от способности экипировки нивелировать воздействие указанных факторов. Современная боевая одежда пожарного (БОП) представляет собой сложную междисциплинарную систему, где качество материалов и конструктивных решений коррелирует с сохранением жизни и эффективностью действий. Анализ систем «человек – СИЗ – окружающая среда» показывает, что ключевой проблемой проектирования является поиск баланса между защитными свойствами и эргономическими характеристиками, поскольку избыточная теплоизоляция ведет к увеличению массы и снижению паропроницаемости, провоцируя преждевременное утомление и риск теплового удара.

Целью настоящей работы является комплексный анализ классификации, технических характеристик и методов испытаний боевой одежды пожарных как основного элемента системы обеспечения безопасности личного состава. Задачи исследования: 1) представить классификацию БОП по уровням защиты; 2) систематизировать технические характеристики и конструктивные особенности; 3) проанализировать методы испытаний и критерии оценки качества; 4) определить перспективные направления развития защитной экипировки.

Объект исследования – боевая одежда пожарных, предмет – её классификация, технические параметры и методы контроля качества.

1. Нормативно-правовая база эксплуатации и испытаний БОП

Регулирование оборота и характеристик средств индивидуальной защиты в Российской Федерации строится на иерархической системе нормативных актов. Переход на требования Технического регламента Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) кардинально изменил ландшафт сертификации, введя унифицированные критерии качества и исключив использование морально устаревших материалов.

Основополагающими документами в области регулирования БОП являются:

- Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
- ТР ЕАЭС 043/2017 «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения»;
- ГОСТ Р 53264-2019 «Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний»;
- НПБ 157-99* «Боевая одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний»;
- Приказ МЧС России № 737 «Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения МЧС России»;
- Приказ Минтруда России № 881н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны».

Принятие ТР ЕАЭС 043/2017 обеспечило переход на высокотехнологичные арамидные ткани и полимерные покрытия с заданными теплофизическими свойствами, что гарантирует стабильность защитных характеристик в условиях интенсивных тепловых нагрузок.

2. Классификация боевой одежды пожарного по уровням защиты

Боевая одежда пожарного классифицируется по трем уровням защиты, определяющим ее материальное исполнение и тактическое назначение. Выбор конкретного уровня обусловлен должностным предназначением сотрудника и степенью термического риска в зоне работы.

Таблица 1 – Уровни защиты боевой одежды пожарного

Уровень защиты	Устойчивость к тепловому потоку	Устойчивость к открытому пламени, с	Материал верха	Масса комплекта, кг	Назначение
I уровень	5,0 кВт/м ² – 240 с; 40,0 кВт/м ² – 5 с	15	Термостойкие ткани (aramидные волокна)	≤ 5,0	Газодымозащитники, работа в непосредственном контакте с огнем
II уровень	5,0 кВт/м ² – 240 с	5	Парусина льняная с огнезащитными пропитками	≤ 6,5	Рядовой состав, вспомогательные задачи при тушении
III уровень	Воздействия невысокой интенсивности	5	Винилискожа-Т	≤ 6,5	Водительский состав, инженерно-инспекторский состав

Неверный выбор уровня защиты (например, работа в БОП III уровня в первой линии) ведет к критическому перегреву. БОП III уровня не обладает требуемой устойчивостью к конвективному теплу, что при возникновении вспышки (flashover) приведет к моментальному выходу СИЗ из строя. БОП I уровня является обязательной для газодымозащитников (ГДЗС), действующих в непригодной для дыхания среде.

3. Конструктивные особенности и технические характеристики

Современная БОП представляет собой сложный пакет материалов, состоящий из нескольких функциональных слоев:

1. Наружный слой – термостойкий материал, обеспечивающий огнестойкость и механическую прочность. Для I уровня используются арамидные волокна с термостойкими нитями для швов.

2. Водонепроницаемый слой – мембрана или ткань с полимерным покрытием, предотвращающая проникновение воды и поверхностно-активных веществ (ПАВ) внутрь пакета. Данный слой критически важен для предотвращения эффекта «парового ожога», когда влага, накопленная в утеплителе, под воздействием внешнего тепла превращается в пар и наносит тяжелые травмы коже.

3. Теплоизоляционный слой (съемный) – обеспечивает защиту от конвективного тепла. Для северных регионов предусмотрено исполнение с двумя съемными подкладками для работы при температурах до -60°C .

4. Подкладочный слой – внутренний гигиенический слой из натуральных или смесовых тканей.

На рисунке 1 представлена схема распределения тепловых потоков в многослойном пакете материалов, наглядно демонстрирующая физические процессы защиты: отражение лучистой энергии наружным слоем, теплопоглощение в теплоизоляционном слое и роль воздушных прослоек как дополнительного барьера.

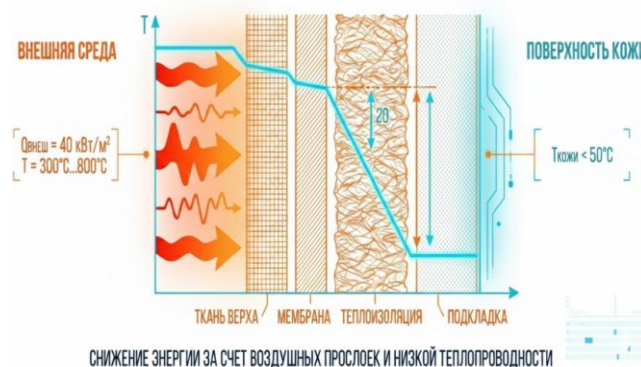


Рисунок 1 – Схема распределения тепловых потоков в многослойном пакете материалов боевой одежды пожарного

Примечание: показаны процессы отражения лучистой энергии, теплопоглощения и роль воздушных прослоек.

Фурнитура и функциональные элементы:

- Молнии-самосбросы – системы быстрого сброса для экстренной эвакуации;
- Люверсы – отверстия для стока воды из подкостюмного пространства;
- Накладки – усиления (наколенники, налокотники) с амортизирующими вставками;

– Сигнальные элементы – светоотражающие и люминесцентные полосы шириной не менее 50 мм, на спине обязательна надпись «ПОЖАРНАЯ ОХРАНА», читаемая в темноте.

Ключевые физико-механические требования:

- Разрывная нагрузка по основе для I уровня – не менее 1000 Н;
- Износостойкость накладок – не менее 300 000 циклов;
- Водоупорность – материал верха должен выдерживать статическое давление водного столба 1000 мм в течение 1 минуты.

Климатическая адаптация:

- Умеренное исполнение (тип У): от -40°C до +40°C;
- Северное исполнение (тип Х): до -50°C / -60°C.

Срок службы: гарантийный срок эксплуатации БОП составляет не менее 2 лет.

4. Физиологические аспекты и эргономические ограничения

Технический потенциал защитной одежды реализуется только при соблюдении физиологических пределов человеческого организма. Согласно ГОСТ Р 53264-2009, достижение критического состояния характеризуется:

- температурой тела выше 38,5°C;
- частотой сердечных сокращений более 170 мин⁻¹;
- влагопотерями свыше 800 г/ч.

Исследования влияния массы экипировки на выполнение боевых задач показывают, что разница в массе между «преодолеl препятствие» и «не преодолел» составляет всего 2–3 кг. Это подчеркивает жесткую необходимость минимизации веса при проектировании при сохранении защитных свойств.

Таблица 2 – Влияние массы экипировки на время выполнения упражнений

Масса СИЗ, кг	Удельная масса к телу, %	5-км марш-бросок, мин	Полоса препятствий, мин
1,0 (контроль)	~1,5%	32,62	1,89
3,3 – 6,3	5–8%	35,21	2,33
7,7 – 10,3	11–14%	38,26	2,44
11,2 – 15,0	18–31%	39,98	2,66

Конструкция БОП должна обеспечивать освобождение дыхательных путей за время не более 20 с – требование, критически важное при внезапном повреждении теплозащитного пакета.

5. Методы испытаний боевой одежды и снаряжения

Система испытаний является критическим элементом обеспечения безопасности личного состава. Целью испытаний является не только подтверждение соответствия заявленным характеристикам при закупке, но и своевременное выявление деградации защитных структур в процессе эксплуатации.

5.1 Классификация видов испытаний:

- Приемо-сдаточные – проверка каждой партии продукции;
- Периодические – контроль стабильности качества серийного производства;
- Типовые – при внесении изменений в конструкцию;
- Эксплуатационные – проверка снаряжения в подразделениях.

5.2 Визуальный контроль и признаки отбраковки

- При визуальном осмотре выявляются следующие признаки отбраковки:
- разрывы, надрывы или сквозные прогары материала верха;
- нарушение целостности ниточных швов;
- повреждение люверсов;
- деформация или неисправность фурнитуры;
- отслоение полимерного покрытия;
- повреждение световозвращающих накладок;
- отсутствие маркировки.

5.3 Испытания на тепловые воздействия

Основным критерием является сохранение целостности пакета материалов и ограничение температуры в подкостюмном пространстве.

Таблица 3 – Реакция материалов на тепловые воздействия

Тип одежды	Тепловой поток, кВт/м ²	Время выдержки, с	Устойчивость к открытому пламени, с
БОП I уровня	5,0 / 40,0	240 / 5	15
БОП II уровня	5,0	240	5
БОП III уровня	5,0	240	5

Для интегральной оценки теплозащиты применяется метод испытаний на стенде «Термоманекен», оснащенный датчиками теплового потока. На рисунке 2 представлена схема расположения этих датчиков, позволяющих фиксировать воздействия интенсивностью до 250 кВт/м² и моделировать динамику термических поражений кожи 2-й и 3-й степени.

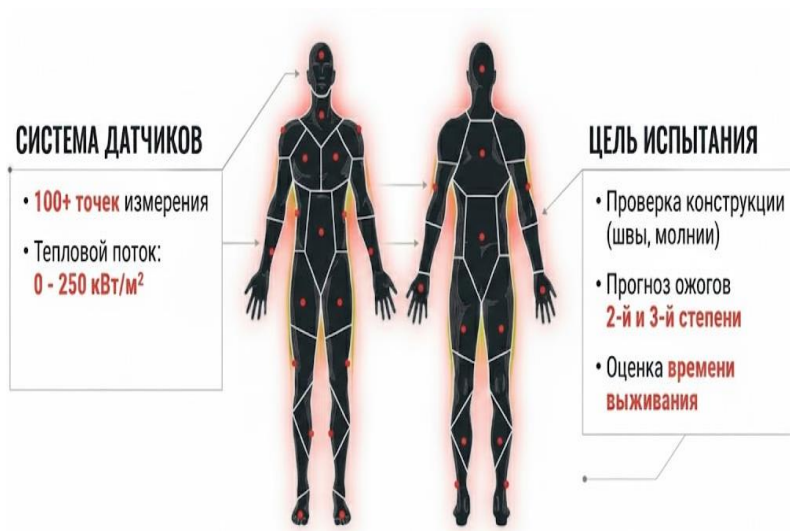


Рисунок 2 – Схема расположения датчиков теплового потока на термоманекене

Примечание: датчики фиксируют воздействия интенсивностью до 250 кВт/м², позволяя моделировать динамику термических поражений кожи.

5.4. Испытания на статическую нагрузку

Таблица 4 – Нормативы испытаний снаряжения

Объект испытания	Статическая нагрузка	Время	Периодичность
Пояс пожарный спасательный	350 кг	5 мин	1 раз в год
Карабин пожарный	350 кг	5 мин	1 раз в год
Спасательная веревка	350 кг	5 мин	1 раз в 6 мес
Карабин-застежка БОП	400 Н	—	Входной контроль

Критерии годности:

- отсутствие остаточных деформаций и разрывов;
- свободное функционирование затвора карабина;
- остаточное удлинение веревки не более 5%.

6. Критерии оценки качества и документальное оформление

Оценка образца проводится по результатам инструментального контроля. Допустимым считается воздействие не выше II степени (ушибленные раны, очаговые кровоизлияния). III степень (переломы ребер, разрывы плевры) признается критической и ведет к браковке изделия.

Регламент проверок:

- Ежедневный осмотр – при заступлении на дежурство;
- Годовое техническое обслуживание – оценка состояния специалистами;
- Внеплановые испытания – после воздействия экстремальных факторов;
- Переосвидетельствование – раз в 5 лет для композитных материалов.

Результаты оформляются актом технического состояния, содержащим дату, состав комиссии, идентификацию изделия, описание дефектов и заключение («годен», «ремонт», «списание»).

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Боевая одежда пожарных классифицируется по трем уровням защиты, каждый из которых имеет строго определенное тактическое назначение. БОП I уровня (термостойкие ткани, масса до 5 кг, устойчивость к тепловому потоку 40 кВт/м² в течение 5 с) является обязательной для газодымозащитников.

2. Современная БОП представляет собой многослойный пакет материалов, включающий наружный термостойкий слой, водонепроницаемый слой (критически важный для предотвращения эффекта «парового ожога»), теплоизоляционную подкладку и гигиенический слой. Схема распределения тепловых потоков (рисунок 1) наглядно демонстрирует физические процессы, лежащие в основе защиты.

3. Система испытаний включает визуальный контроль, испытания на тепловую устойчивость (с использованием термоманекена, схема расположения датчиков которого представлена на рисунке 2), испытания на статическую нагрузку. Установлены критерии выбраковки: сквозные прогары, нарушение целостности швов, деформация фурнитуры.

4. Перспективы развития связаны с применением новых материалов, интеграцией систем мониторинга состояния пожарного и совершенствованием эргономических характеристик.

Соблюдение регламентов испытаний и контроль весовых характеристик экипировки являются основой минимизации санитарных потерь в подразделениях при выполнении боевых задач.

Список использованных источников

1. Российская Федерация. Законы. О требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон № 123-ФЗ : [принят Государственной Думой 4 июля 2008 года]. – Москва, 2008.

2. Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» : ТР ЕАЭС 043/2017 : [принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 г. № 40].

3. ГОСТ Р 53264-2019. Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 32 с.

4. НПБ 157-99*. Боевая одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний. – Москва : ГУГПС и ВНИИПО МВД России, 2000. – 29 с.

5. Приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737 «Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

6. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 11.12.2020 № 881н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны».

7. Пожарная и аварийно-спасательная техника: учебник: в 2 ч. Ч. 1 / М.Д. Безбородько, С.Г. Цариченко, В.В. Роевко [и др.] ; под ред. М.Д. Безбородько. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 353 с.

8. Терещев В.В. Пожарная техника. Книга 1. Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение / В.В. Терещев, Н.И. Ульянов, В.А. Грачев. – Москва: Центр Пропаганды, 2007. – 328 с.

FIREFIGHTERS' PROTECTIVE CLOTHING: CLASSIFICATION, TECHNICAL CHARACTERISTICS AND TESTING METHODS

D.S. Schaposchnik, A.A. Gulyaeva

*Moscow State University of Technology and Management
named after K. G. Razumovsky, Penza Cossack Institute of Technology – branch,
Penza, Russia*

The article presents a comprehensive analysis of firefighters' protective clothing (FPC) as a key element of the personnel safety system during fire extinguishing and emergency rescue operations. The aim of the study is to systematize information on the classification, technical characteristics and testing methods of modern personal protective equipment for firefighters. The methodological basis includes the analysis of regulatory documents, comparative analysis of technical parameters and generalization of operational test results. It is established that FPC is classified into three levels of protection that determine the material design and tactical purpose: Level I (heat-resistant fabrics, resistance to heat flux of $40 \text{ kW/m}^2 - 5 \text{ s}$, weight up to 5 kg) – for gas and smoke protectors; Level II (canvas with impregnations, flame resistance 5 s, weight up to 6.5 kg) – for rank-and-file personnel; Level III (vinyl leather) – for drivers and auxiliary personnel. The key structural elements of the multilayer material package are identified: outer layer, waterproof layer (preventing the "steam burn" effect), removable thermal insulation lining. The standards of physiological tolerance are determined: body temperature not higher than 38.5°C , heart rate not more than 170 min^{-1} , moisture loss not more than 800 g/h. Testing methods are systematized: visual inspection, thermal resistance tests (using a thermomannequin, the sensor layout of which is shown in Figure 1), static load tests. Rejection criteria are presented: through burns, violation of

seam integrity, deformation of fittings. The results of the study can be used in training courses on fire safety, in the development of technical specifications for the procurement of personal protective equipment, as well as in the practical activities of EMERCOM units.

Keywords: firefighters' protective clothing, personal protective equipment, FPC classification, thermal protection, testing methods, occupational safety, technosphere safety.

УДК 614.84:614.895

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

Д.С. Шапошник, Д.В. Фролов

*Московский государственный университет технологий и управления
имени К.Г. Разумовского, Пензенский казачий институт технологий – филиал,
г. Пенза, Россия*

В данной работе рассматриваются гидравлические свойства и эксплуатационная надежность напорных пожарных рукавов, составляющих неотъемлемую часть комплексов пожарных машин. Проведен всесторонний анализ, в ходе которого систематизированы технические требования, методики испытаний и критерии оценки состояния рукавов, находящихся на оснащении МЧС России, с учетом действующих нормативных документов (ТР ЕАЭС 043/2017, ГОСТ Р 51049-2008 и др.). Установлено распределение рукавов по категориям рабочего давления. Выявлена прямая корреляция между гидродинамическими потерями и материалом изготовления: наименьшие показатели отмечены у рукавов с латексным покрытием, а наибольшие – у льняных. Обобщены требования к прочности соединения слоев, износостойкости, а также устойчивости к воздействию внешних факторов. Четко определены условия, при которых рукава подлежат исключению из эксплуатации (обнаружение разрывов, расслоений, снижение уровня вакуума). Полученные результаты обладают высокой прикладной ценностью для организации эффективного технического обслуживания и оптимизации закупочной деятельности в сфере пожарно-спасательной техники.

Ключевые слова: пожарные рукава, гидравлические параметры, напорные рукава, испытания рукавов, эксплуатационная надежность, техническое обслуживание, пожарная техника.

Основной задачей настоящего исследования является систематизация информации, касающейся технических спецификаций, методов тестирования и критериев оценки состояния рукавного парка, используемого в подразделениях МЧС Российской Федерации.

В инфраструктуре обеспечения пожарно-спасательных подразделений напорные рукава играют критически важную роль в составе насосно-рукавных систем, непосредственно влияя на результативность доставки огнетушащих средств. Качество и техническое состояние рукавов оказывают прямое воздействие на тактические возможности подразделения: дальность подачи, интенсивность расхода воды, мобильность операторов стволов и уровень безопасности личного состава.

Актуальные нормативные требования к пожарным рукавам регламентированы Техническим регламентом Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) и соответствующими национальными стандартами. Тем не менее, анализ практического применения выявил, что подавляющее большинство отказов в рукавных линиях обусловлено не отклонениями от заводских параметров, а нарушениями регламентов технического обслуживания, недостаточным контролем скрытых дефектов и некорректным выбором типа рукава с учетом условий его эксплуатации.

Настоящая работа посвящена изучению гидравлических характеристик и надежности в эксплуатации напорных пожарных рукавов, а также систематизации требований к их техническому состоянию и методам контроля. Задачи исследования включают: 1) классификацию напорных рукавов по их гидравлическим параметрам; 2) анализ взаимосвязи гидравлических потерь с материалом и конструкцией; 3) систематизацию методик проведения испытаний и критериев отбраковки; 4) определение перспективных направлений для повышения эксплуатационной надежности.

Объектом исследования выступают напорные пожарные рукава, предметом – их гидравлические характеристики и надежность в процессе эксплуатации.

1. Нормативно-правовая база эксплуатации и испытаний напорных рукавов.

Техническое регулирование, касающееся производства и эксплуатации пожарных рукавов, осуществляется на основе иерархической системы нормативных актов. Основным документом в этой системе является Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017), который устанавливает единые обязательные стандарты для средств пожарной безопасности на территории ЕАЭС [2].

Иерархия нормативных документов [1, 2, 3, 8, 9]:

- Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1];
- Технический регламент Евразийского экономического союза № 043/2017 «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» [2];
- ГОСТ Р 51049-2008 «Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний» [3];

- ГОСТ Р 53279-2009 «Техника пожарная. Головки соединительные пожарные» [5];
- ГОСТ Р 53277-2009 «Техника пожарная. Оборудование по обслуживанию пожарных рукавов» [6];
- ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов» [7];
- Приказ Министерства внутренних дел России № 737 «Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения МЧС России» [8];
- Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 881н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны» [9].

Важно отметить, что с 8 апреля 2026 года вступают в силу изменения в перечне стандартов к ТР ЕАЭС 043/2017, что требует актуализации методик испытаний и контроля [2].

2. Классификация напорных пожарных рукавов по гидравлическим параметрам.

Напорные пожарные рукава классифицируются по-рабочему, испытательному и разрывному давлению в зависимости от назначения и диаметра [3].

Таблица 1 – Гидравлические параметры напорных рукавов согласно ГОСТ Р 51049-2008 [3]

Тип рукава	DN (мм)	Рабочее давление, МПа (не более)	Испытательное давление, МПа (не менее)	Разрывное давление, МПа (не менее)
Для пожарных кранов (ПК)	25–66	1,0	1,25	2,0
Для пожарной техники (ПТ)	38–77	1,6	2,0	3,5
Для пожарной техники (ПТ)	89	1,4	1,8	2,8
Для пожарной	150	1,2	1,5	2,4

Тип рукава	DN (мм)	Рабочее давление, МПа (не более)	Испытательное давление, МПа (не менее)	Разрывное давление, МПа (не менее)
техники (ПТ)				
Высокого давления	38–66	3,0	3,75	6,0

Снижение рабочего давления для двух диаметров рукавов – DN 89 и DN 150 – связано с распределением воздействующих сил. При увеличении диаметра растет общая площадь, на которую распространяется давление, что требует уменьшения нагрузок для обеспечения структурной целостности [10, с. 262].

По климатическим стандартам ГОСТ 15150, рукава классифицируются как «У» (температурный диапазон от -40°C до +45°C) и «УХЛ» (от -50°C до +45°C) [7].

3. Гидравлические характеристики и потери напора

Эффективность подачи ОТВ определяется гидравлическим сопротивлением рукавной линии. Потери напора (h_p) рассчитываются по формуле [10, с. 270]:

$$h_p = S \times L \times Q^2,$$

где S – коэффициент сопротивления,

L – количество рукавов,

Q – расход ОТВ (л/с).

Таблица 2 – Коэффициенты сопротивления напорных рукавов (S_p) для DN 51 [3, 10]

Тип рукава	Коэффициент сопротивления (S_p)	Относительные потери напора
Прорезиненный	0,014	100%
Латексированный	0,011	78%
С двухсторонним полимерным покрытием	0,012	86%
Льняной	0,018	128%

Латексированные рукава демонстрируют минимальные потери давления благодаря гладкости внутренней поверхности. Льняные рукава, напротив, характеризуются повышенным сопротивлением вследствие эффекта перколяции

(избыточного внутреннего увлажнения), что увеличивает гидравлические потери на 28% по сравнению с прорезиненными вариантами [10, с. 272].

Влияние диаметра на потери давления. Диаметр рукава существенно сказывается на величине потерь давления. Увеличение диаметра с 51 мм до 77 мм снижает сопротивление примерно в девять раз, что требует особого учета при проектировании магистральных линий [10, с. 275].

4. Конструктивные особенности и требования к надежности.

Современные напорные рукава представляют собой многокомпонентную структуру, включающую внутренний водонепроницаемый слой, армирующий каркас и внешний защитный покров [3, 4]. На рисунке 1 представлены конструктивные схемы различных типов напорных рукавов, соответствующих стандартам ГОСТ Р 51049-97.

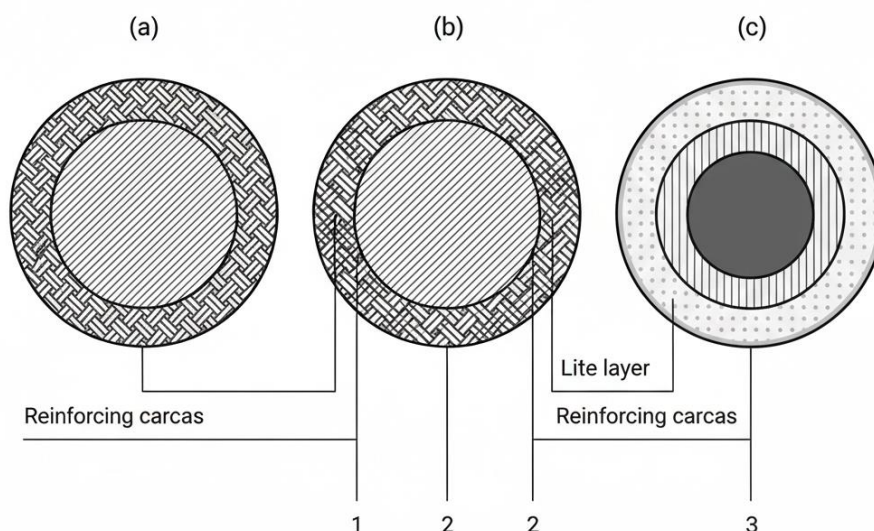


Рисунок 1 – Схемы конструкций напорных пожарных рукавов (согласно ГОСТ Р 51049-97)

Примечание: а – прорезиненный рукав; б – латексированный рукав; в – рукав с двухсторонним полимерным покрытием; 1 – армирующий каркас; 2 – внутренний гидроизоляционный слой; 3 – наружный защитный слой (только для типа в).

Требования к адгезии (прочности связи) [3]:

– Для рукавов с одним слоем покрытия – минимум 0,7 Н/см.

– Для рукавов с двумя слоями полимерного покрытия – минимум 1,0 Н/см.

Слабая адгезия вызывает отделение покрытия и образование пузырей, которые создают локальные гидравлические препятствия, приводя к турбулентности потока и непредсказуемым потерям давления [10, с. 267].

Характеристики износостойкости [3, 6]:

– Сопротивление абразивному износу: рукава с двухсторонним покрытием

– выдерживают не менее 500 циклов истирания.

– Для латексированных рукавов – 300 циклов.

– Для рукавов без покрытия – 150 циклов. Термостойкость: способность выдерживать воздействие объекта, нагретого до 450°C, в течение минимум 30 секунд (для специализированных моделей) [3].

– Для рукавов с одним слоем покрытия – минимум 0,7 Н/см.

– Для рукавов с двумя слоями полимерного покрытия – минимум 1,0 Н/см.

Слабая адгезия вызывает отделение покрытия и образование пузырей, которые создают локальные гидравлические препятствия, приводя к турбулентности потока и непредсказуемым потерям давления [10, с. 267].

Термическая стойкость: выдержка не менее 30 секунд при контакте с предметом, нагретым до 450°C (для специальных типов) [3].

5. Методы испытаний и критерии оценки технического состояния:

5.1. Классификация видов испытаний [8, 4]:

– приемо-сдаточные (входной контроль) – при поступлении новых рукавов;

– периодические – не реже одного раза в 6 месяцев;

– после ремонта – через 24 часа после окончания работ;

– внеплановые – после использования на пожаре при подозрении на повреждение.

5.2. Гидравлические испытания на герметичность.

Таблица 3 – Параметры испытательного давления [3, 4]

Тип рукава	При ТО и постановке на вооружение, МПа	После ремонта или хранения, МПа
РПК (для пожарных кранов)	По давлению сети	$1,25 \pm 0,1$
РПИМ-1,2 (в т.ч. DN 150)	$0,8 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,1$
РПИМ-1,6	$1,0 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,1$
РПИМ-3,0	$1,8 \pm 0,1$	$3,75 \pm 0,1$

Время выдержки – 10 минут [3].

Критически важным условием является полная деаэрация линии перед испытаниями, так как воздух сжимается в 20 000 раз сильнее воды, и наличие воздушной пробки при разрыве создает взрывной эффект [10, с. 280]. На рисунке 2 представлена схема гидравлического испытательного стенда.



Рисунок 2 – Схема гидравлического испытательного стенда для проверки напорных пожарных рукавов

Примечание: 1 – грузопоршневой манометр; 2 – винтовой пресс; 3 – испытуемый рукав; 4 – запорные вентили; 5 – заглушки; 6 – ёмкость с рабочей жидкостью.

5.3. Критерии браковки [2, 3, 4]:

Категория дефектов	Признаки
Целостность каркаса	Разрывы нитей основы или утка, прожоги, сквозные проколы
Гидроизоляционный слой	Отслоение покрытия, образование пузырей, износ более 90%
Механическая деформация	Необратимые заломы, потеря эластичности
Испытательные показатели	Разрыв или течь при давлении ниже испытательного
Соединительная арматура	Нарушение целостности мест навязки

6. Обеспечение безопасности при эксплуатации и испытаниях.

Согласно Приказу Минтруда № 881н, испытания рукавов проводятся в условиях повышенной опасности, так как разрушение синтетического каркаса под давлением 1,6–3,0 МПа эквивалентно взрывному воздействию [9].

Обязательные требования [9]:

- запрещается находиться напротив соединительных головок и заглушек;
- запрещено устранять течи на линии, находящейся под давлением;
- персонал обязан использовать средства индивидуальной защиты;

– стенд должен быть оборудован системой экстренного стравливания.

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Пожарные напорные рукава классифицируются согласно своим гидравлическим показателям на три основные группы. Для комплектации пожарных кранов предназначены рукава, рассчитанные на рабочее давление 1,0 МПа. Рукава, используемые в составе пожарной техники, обладают диапазоном рабочего давления от 1,2 до 1,6 МПа, вариация которого зависит от диаметра изделия. Отдельная категория представлена рукавами высокого давления, допускающими эксплуатацию при показателе 3,0 МПа. Указанные ключевые характеристики регламентированы нормативными документами, включая ГОСТ Р 51049-2008 и ТР ЕАЭС 043/2017.

2. Качество внутреннего покрытия рукавных линий напрямую влияет на уровень гидравлических потерь. Латексированные рукава отличаются минимальным коэффициентом сопротивления ($S_p = 0,011$ для DN 51), что обеспечивает существенное уменьшение потерь напора. Данное преимущество приводит к сокращению потерь на 22% в сравнении с прорезиненными и на 28% по сравнению с льняными аналогами [10].

3. Эксплуатационная надежность рукавов обеспечивается совокупностью связанных параметров. Во-первых, адгезия внутреннего слоя должна соответствовать установленным нормам, гарантируя прочность соединения слоев и предотвращая их расслоение. Во-вторых, износостойкость рукавов с двусторонним покрытием должна выдерживать определенное количество циклов истирания, обеспечивая долговечность изделий при механических воздействиях. В-третьих, климатическая устойчивость в исполнении УХЛ подразумевает сохранение функциональности при низких температурах до определенного уровня. Соблюдение этих требований является основой для надежной эксплуатации рукавов [3, 6, 7].

4. Процедура испытаний включает визуальный осмотр, гидравлические тесты под давлением, соответствующим типу рукавов, и вакуумные испытания для всасывающих линий. В целях безопасности перед испытаниями необходимо полное удаление воздуха из линий и неукоснительное соблюдение норм охраны труда, установленных Приказом № 881н [4, 9].

5. К причинам, по которым рукава подлежат выбраковке, относятся: повреждение нитей каркаса, отслоение внутреннего слоя, образование необратимых заломов, утрата эластичности, а также отрицательные результаты повторных испытаний после двукратного ремонта [2, 4].

Полученные результаты применимы при проведении технического обслуживания рукавного оборудования, составлении графиков испытаний и формировании потребностей в закупках для пожарно-спасательных служб.

Список использованных источников

1. Российская Федерация. Законы. О требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон № 123-ФЗ: [принят Государственной Думой 4 июля 2008 года] – Москва, 2008 – (актуальная редакция).

2. Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения»: ТР ЕАЭС 043/2017: [принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 г. № 40] – (с изменениями, вступающими в силу с 8 апреля 2026 г.).

3. ГОСТ Р 51049-2008. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний – Москва: Стандартинформ, 2008 – 23 с.

4. Методическое руководство по организации и порядку эксплуатации пожарных рукавов / утв. МЧС России 14.11.2007 – Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008 – 156 с.

5. ГОСТ Р 53279-2009. Техника пожарная. Головки соединительные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний – Москва: Стандартинформ, 2019 – 32 с.

6. ГОСТ Р 53277-2009. Техника пожарная. Оборудование по обслуживанию пожарных рукавов. Общие технические требования. Методы испытаний – Москва: Стандартинформ, 2009. – 16 с.

7. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов – Москва: Издательство стандартов, 1969 – 28 с.

8. Приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737 «Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий». – (в редакции, актуальной на 2026 год).

9. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 11.12.2020 № 881н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны» – (в редакции от 29.04.2025, срок действия до 1 сентября 2027 г.).

10. Пожарная и аварийно-спасательная техника: учебник: в 2 ч. Ч. 1 / М. Д. Безбородько, С. Г. Цариченко, В. В. Роевко [и др.] ; под ред. М. Д. Безбородько – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 353 с.

HYDRAULIC PARAMETERS AND OPERATIONAL RELIABILITY OF PRESSURE FIRE HOSE

D.S. Shaposhnik, D.V. Frolov

*Moscow State University of Technology and Management
named after K. G. Razumovsky, Penza Cossack Institute of Technology – branch,
Penza, Russia*

The article presents an analysis of the hydraulic parameters and operational reliability of high-pressure fire hoses as a key element of the pump-hose systems of fire trucks. The study focuses on the hydraulic parameters and operational reliability of high-pressure fire hoses. Technical requirements, test methods, and criteria for assessing the condition of the Russian Ministry of Emergency Situations' hose park have

been systematized based on an analysis of regulatory documents (TR EAEU 043/2017, GOST R 51049-2008, etc.). The classification of hoses based on their working pressure (from to) and the dependence of hydraulic losses on the material (the lowest for latex-coated hoses and the highest for linen hoses) has been established. The requirements for adhesion, wear resistance, and climate resistance, as well as the rejection criteria (tears, peeling, and vacuum drop), have been systematized. The results are useful for the maintenance and procurement of firefighting and rescue equipment. development of test schedules and justification of equipment purchases for fire and rescue units.

Keywords: fire hoses, hydraulic parameters, pressure hoses, hose testing, operational reliability, maintenance, fire equipment.

УДК 614.84:629.3

ИСТОРИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.С. Шапошник, А.А. Гуляева

*Московский государственный университет технологий и управления
имени К. Г. Разумовского, Пензенский казачий институт технологий – филиал,
г. Пенза, Россия*

В статье представлены результаты историко-технического анализа развития пожарных автомобилей в России. Целью исследования являлась систематизация этапов эволюции пожарной техники и выявление ключевых направлений её модернизации на современном этапе. Методологическая база включает ретроспективный, сравнительный и системный анализ. На основе изучения нормативных документов, технических описаний и научных публикаций автором выделено шесть исторических этапов, при этом впервые в периодизации учтён инновационный период 2018–2026 гг. как самостоятельный этап, характеризующийся качественным переходом к цифровым и роботизированным технологиям. Установлено, что современный парк пожарных автомобилей классифицируется по функциональному назначению, полной массе и проходимости, а маркировка осуществляется по отраслевой нормали ОН 025 270-66. Определены пять технологических трендов 2018–2026 гг.: модульность конструкций, применение композитных материалов, гибридизация силовых установок, цифровизация систем управления и внедрение роботизированных комплексов. Показано, что применение систем компрессионной пены NATISK позволяет повысить коэффициент полезного действия тушения с 10 до 80 % при сокращении расхода воды в 5–15 раз. На основе сравнительного анализа автор приходит к выводу, что наиболее перспективным направлением является не изолированное внедрение отдельных инноваций, а их интеграция в единые многофункциональные пожарно-спасательные комплексы. Результаты могут быть использованы в учебных курсах по

пожарной технике, а также при формировании технических заданий на разработку перспективных образцов.

Ключевые слова: пожарные автомобили, история пожарной техники, модульные конструкции, гибридные силовые установки, компрессионная пена, робототехника МЧС, техническое регулирование, авторская периодизация.

Современный этап развития техносферы характеризуется ростом масштабов и сложности техногенных пожаров. Ежегодно в Российской Федерации возникает более 400 тыс. пожаров, материальный ущерб от которых исчисляется десятками миллиардов рублей. В этих условиях пожарные автомобили (ПА) остаются основным средством доставки личного состава, огнетушащих веществ и оборудования к месту вызова. Парк пожарной техники МЧС России насчитывает более 20 тыс. единиц, при этом, по данным открытых источников, значительная часть машин эксплуатируется свыше 15 лет и требует обновления. Одновременно с этим производители предлагают принципиально новые образцы, оснащённые цифровыми системами, гибридными силовыми установками и роботизированными комплексами. Возникает противоречие: с одной стороны, необходимо сохранять и эксплуатировать технику предыдущих поколений, с другой – осваивать инновационные решения, не имеющие аналогов в отечественной практике.

Целью настоящей работы является ретроспективный анализ эволюции пожарной техники в России и систематизация современных технологических направлений её развития. Задачи исследования: 1) выделить исторические этапы развития ПА, предложив авторскую периодизацию; 2) представить современную классификацию и систему маркировки; 3) выявить ключевые инновации 2018–2026 гг.; 4) определить перспективные направления модернизации. Новизна исследования заключается в обосновании выделения инновационного этапа (2018–2026 гг.) как самостоятельного периода, а также в авторской систематизации технологических решений, ранее не представленных в комплексном виде.

Объект исследования – пожарная техника Российской Федерации, предмет – её тактико-технические характеристики, конструктивные решения и нормативная база.

1. Историческая периодизация развития пожарной техники: авторский подход

В существующей научной и учебной литературе периодизация развития пожарной техники, как правило, ограничивается либо общими хронологическими рамками, либо завершается 2000-ми годами. Анализ технической литературы, патентных источников и официальных сообщений предприятий-изготовителей позволил автору предложить шестиэтапную периодизацию, в которой период 2018–2026 гг. впервые выделен как самостоятельный инновационный этап (таблица 1).

Таблица 1 – Авторская периодизация развития пожарной техники в России

Исторический этап	Временные границы	Ключевые технические решения	Представители модельного ряда
I. Ручной	XV–XVIII вв.	Двухплунжерные насосы с воздушным колпаком для сглаживания пульсаций; транспортировка гужевым транспортом	Пожарная труба, рукава парусиновые, всасывающие линии (с 1724 г.)
II. Механический	XIX в.	Паровые машины мощностью 15–40 л.с. (рабочее давление до 15 атм); бензомоторные насосы с приводом от ДВС	Паровая труба, бензомоторная труба
III. Автомобильный	1920–1950-е гг.	Адаптация грузовых шасси; коловратные и центробежные насосы; формирование отечественной школы пожарного машиностроения	АМО-Ф-15 (1926), ЯГ-4, ЯГ-10, ПД-10
IV. Унификации и массового производства	1960–1990-е гг.	Стандартизация модельного ряда; серийный выпуск на шасси ЗИЛ, Урал, КамАЗ; специализация по видам пожаров	АЦ-40, АНР-40, АЛ-30, АА-60
V. Постсоветский	2000–2017 гг.	Использование импортных шасси (IVECO, Mercedes); появление первых модульных решений; импортозамещение	АЦ на IVECO, «Гефест» (арктическая версия)
VI. Инновационный (авторское выделение)	2018–2026 гг.	Модульность и мультилифт; гибридные силовые установки; цифровизация и 5G; компрессионная пена CAFS; боевая робототехника	АНРМ-130-1/150, КамАЗ Fire Rescue 2026, МТ-2, Ант-1000ПМ

Примечание: предложенная автором периодизация учитывает не только хронологический, но и качественный критерий – появление принципиально новых технологий, изменяющих тактику пожаротушения.

1926 год по праву считается отправной точкой отечественного пожарного автомобилестроения: именно тогда на шасси АМО-Ф-15 был смонтирован первый серийный образец автонасоса (рисунок 1). Данная машина комплектовалась двигателем мощностью 30 кВт, коловратным насосом с рабочим параметром 720–940 л/мин и боевым расчётом 8 человек. Спустя семь лет, в 1933 году, производство окончательно переориентировалось на отечественные шасси ГАЗ и ЗИС – этот рубеж автор рассматривает как завершение этапа становления. В условиях Великой Отечественной войны промышленность освоила выпуск упрощённой модификации ПД-10 с передней компоновкой насосного агрегата, что позволяло оперативно монтировать оборудование на различные типы шасси.



Рисунок 1 – Первый серийный советский пожарный автомобиль АМО-Ф-15 (1926 г.)

Послевоенные десятилетия ознаменовались созданием и тиражированием классических автоцистерн на шасси ЗИЛ-130, ЗИЛ-131, а впоследствии – КамАЗ. По оценке автора, именно этот машинный парк до настоящего времени составляет основу эксплуатационного фонда, что требует особого внимания к программам модернизации.

2. Современная классификация и система маркировки: анализ нормативной базы

Действующая классификация ПА базируется на трёх признаках: функциональном назначении, полной массе и проходимости. В отличие от зарубежных классификаторов, отечественная система сохраняет преемственность с советскими стандартами, что автор рассматривает как фактор, обеспечивающий унификацию эксплуатации.

По целевому назначению выделяются три группы:

– Основные ПА – доставка личного состава и подача огнетушащих веществ (автоцистерны АЦ, насосно-рукавные АНР, первой помощи АПП, аэродромные АА, порошковые АП, газовые АГТ, насосные станции ПНС);

– Специальные ПА – обеспечение вспомогательных операций (автолестницы АЛ, коленчатые подъёмники АПК, аварийно-спасательные АСА, связи и освещения АСО, дымоудаления АД, рукавные АР, штабные АШ);

– Вспомогательные ПА – материально-техническое снабжение (топливозаправщики, подвижные мастерские, транспортные средства).

Классификация по полной массе гармонизирована с европейскими подходами и включает три класса: L (легкий, 2,0–7,5 т), М (средний, 7,5–14,0 т), S (тяжелый, свыше 14 т). По проходимости выделяются категория 1 (4×2, усовершенствованные покрытия), категория 2 (4×4, 6×6, все типы дорог и пересечённая местность), категория 3 (вездеходы).

Система маркировки, регламентированная отраслевой нормалью ОН 025 270-66, сохраняет актуальность и в настоящее время. Индекс модели формируется по структуре: XXX-XX-XX/X (XXXX) мод. ХХА. Расшифровка элементов: XXX – тип ПА, XX – основной параметр (объём ёмкости для воды в м³), XX/X – производительность насосной установки при нормальном и высоком давлении (л/с), (XXXX) – индекс базового шасси, мод. ХХА – номер модификации и сокращённое наименование завода-изготовителя.

Пример авторской интерпретации: АЦ-3,0-40/4(4331) идентифицируется как автоцистерна вместимостью 3 м³, оснащённая комбинированным насосом производительностью 40 л/с (нормальное давление) и 4 л/с (высокое давление), смонтированная на шасси грузового автомобиля (индекс «3») полной массой 8–14 т (класс «4»).

3. Инновационные технологические решения 2018–2026 гг.: системный анализ

Проведённый автором анализ технической документации, патентных источников и отраслевых публикаций позволил выделить пять магистральных направлений модернизации, совокупно формирующих качественно новый облик пожарной техники.

3.1. Модульный принцип и быстросменные надстройки

Эволюция компоновочных схем демонстрирует устойчивый отказ от монолитных кузовных конструкций. Автомобиль насосно-рукавный модульный АНРМ-130-1/150, созданный на шасси КамАЗ-6520, реализует концепцию «мультилифт»: смена функционального модуля (насосного, рукавного, госпитального) осуществляется за время, не превышающее 100 секунд. Механизированная прокладка магистральной линии условным диаметром 150 мм обеспечивается на дистанцию до 1000 м с последующей автоматизированной уборкой. По мнению автора, данное решение кардинально сокращает время простоя дорожного стоящего шасси и повышает коэффициент его тактического использования.

3.2. Полимерные и композитные материалы: снижение массы и коррозии

В противовес традиционным металлоконструкциям современные производители ориентируются на:

– алюминиевые сплавы (каркасные системы модели АПС 3,0-50, допускающие бессварочное изменение конфигурации, клеевая фиксация обшивки);

- стеклопластик и полипропилен (ёмкости для огнетушащих веществ, цельнопластиковая надстройка АЦ 1,6-40 на шасси ГАЗон NEXT);
- износостойкие полимерные композиции для внутренней отделки кабин (УРАЛ NEXT).

Автор обращает внимание, что применение композитов позволяет не только снизить снаряжённую массу, но и практически исключить коррозионные поражения, что критически важно при работе с водой и пенообразователями.

3.3. Гибридизация силовых установок

Наряду с совершенствованием дизельных двигателей (турбодизель ЯМЗ-535 мощностью 238 л.с. для шасси «Урал») всё более отчётливо проявляется тренд на гибридизацию. Экспериментальный образец КамАЗ Fire Rescue 2026 демонстрирует возможность передвижения на электротяге в жилых кварталах, обеспечивая нулевые выбросы и акустическую маскировку. Аккумуляторные батареи обеспечивают энергоснабжение насосной установки, осветительных приборов и аварийно-спасательного инструмента без запуска основного двигателя. По расчётным оценкам производителя, это даёт экономию топлива до 30 % при работе на месте вызова.

3.4. Цифровизация, телеметрия и интеллектуальное управление

Современные ПА следует рассматривать как киберфизические системы, интегрирующие:

- микропроцессорные контроллеры с непрерывным мониторингом состояния всех агрегатов;
- дистанционные пульта управления двигателем, насосом и лафетным стволом (реализовано на шасси КАМАЗ Компас);
- защищённые каналы связи 5G для передачи в реальном масштабе времени метеорологических данных, навигационной информации и видеоизображений с беспилотных летательных аппаратов;
- телеметрические системы контроля расхода огнетушащих веществ, давления в рукавных линиях, уровня технических жидкостей;
- компьютерные стабилизаторы для высотной техники (автолестница АЛ-42), обеспечивающие автоматическое выравнивание при перепадах опорной поверхности до 800 мм и демпфирование колебаний от ветровых нагрузок.

3.5. Технологии подачи огнетушащих веществ и роботизированные платформы

Наиболее значимым, с точки зрения автора, направлением является внедрение компрессионной пены (CAFS). Система NATISK генерирует пену высокой кратности путём принудительного насыщения раствора сжатым воздухом. Физическая сущность процесса заключается в трансформации одной капли воды в 5–20 пузырьков идентичного размера, формирующих плотное изолирующее покрытие. Сопоставительный анализ, выполненный автором на основе данных завода-изготовителя, показывает: коэффициент полезного действия при тушении водой составляет около 10 %, тогда как для компрессионной пены этот показатель достигает 80 %. Практическими следствиями являются сокращение расхода

воды в 5–15 раз, уменьшение продолжительности тушения в 5–7 раз, увеличение дальности подачи по вертикали до 200 м.

Для ликвидации пожаров в замкнутых объёмах применяются установки гидроабразивной резки ГАРДТ, функционирующие при давлении 30 МПа и позволяющие вскрывать стальные и бетонные преграды толщиной до 250 мм с одновременной инжекцией мелкодисперсной воды в очаг горения.

Особое внимание автор уделяет роботизированным средствам. Холдинг «Высокоточные комплексы» Госкорпорации Ростех в 2024 году презентовал дистанционно-управляемый комплекс Ант-1000ПМ, созданный на базе мини-погрузчика (рисунок 2). Оператор управляет роботом с удалением до 1000 м, дальность подачи огнетушащих веществ составляет 65 м [9, 10]. Гусеничные платформы МТ-2 и МТ-10, официально принятые на снабжение МЧС России, оснащаются лафетными стволами производительностью 60–70 л/с и предназначены для тушения крупных техногенных пожаров, а также для выполнения взрывоопасных работ по разминированию.



Рисунок 2 – Дистанционно-управляемый роботизированный комплекс Ант-1000ПМ с пожарным модулем (2024 г.)

3.6. Эргономика и системы жизнеобеспечения экипажа

Анализ эргономических решений показывает смещение акцентов в сторону сохранения здоровья личного состава:

- интеграция дыхательных аппаратов со сжатым воздухом в конструкции спинок сидений (экипировка осуществляется в движении);
- «интеллектуальные» модули мониторинга психофизиологического состояния (частота пульса, уровень кислорода в крови, степень утомления водителя);
- пневматическая подвеска кресел, климатические установки, сенсорные интерфейсы управления;
- телескопические мачты освещения на светодиодных элементах суммарной мощностью до 20 000 люмен с высотой подъёма 5,5 м.

4. Нормативно-правовое регулирование: структура и иерархия

Техническое регулирование в области пожарной техники базируется на двухуровневой системе.

Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» формирует фундаментальную базу, устанавливая классификацию материалов по показателям горючести, воспламеняемости, дымообразующей способности, токсичности, а также требования к степеням защиты электрооборудования (IP) и взрывозащиты (Ex).

Технический регламент ЕАЭС 043/2017 конкретизирует требования к номенклатуре пожарно-технического вооружения и обеспечивает его свободное обращение на рынке стран Евразийского экономического союза.

Ведомственные нормативные акты (Приказ МЧС России № 737, Приказ Минтруда России № 881н) регламентируют порядок эксплуатации, технического обслуживания и охраны труда. Подтверждение соответствия осуществляется в формах обязательной сертификации (схемы 2с, 3с, 4с, 6с, 7с) либо декларирования.

1. Автор отмечает, что существующая нормативная база в целом адекватна современному уровню развития техники, однако появление гибридных силовых установок и роботизированных комплексов требует актуализации методик испытаний и сертификации.

2. Проведённое исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

3. Автором предложена и обоснована шестиэтапная периодизация развития пожарной техники в России, в которой период 2018–2026 гг. впервые выделен как самостоятельный инновационный этап. Критерием выделения послужило появление технологий, качественно изменяющих тактику пожаротушения: модульных надстроек, гибридных силовых установок, компрессионной пены и боевой робототехники. Иллюстрацией столетней эволюции инженерной мысли служит сопоставление первого серийного автонасоса АМО-Ф-15 (1926) и современного роботизированного комплекса Ант-1000ПМ (2024).

4. Современная классификация пожарных автомобилей представляет собой завершённую систему, включающую три функциональные группы, три класса по массе и три категории проходимости. Унифицированная система маркировки сохраняет преемственность с отраслевой нормалью ОН 025 270-66 и позволяет однозначно идентифицировать тип, основные параметры и базовое шасси машины.

5. В результате систематизации технологических решений 2018–2026 гг. выделено пять трендов: модульность конструкций, применение композитов, гибридизация силовых установок, цифровизация систем управления, внедрение робототехнических комплексов. На основе сравнительного анализа автор приходит к выводу, что наибольший прирост эффективности (повышение КПД с 10 до 80 %) обеспечивает применение компрессионной пены.

6. Перспективы дальнейшего развития автор связывает не с изолированным совершенствованием отдельных узлов, а с интеграцией технологий в

единые многофункциональные пожарно-спасательные комплексы. Прогнозируется переход к полностью автономным беспилотным платформам, внедрение систем искусственного интеллекта для распознавания очагов пожара и оптимизации прокладки рукавных линий, создание единой цифровой среды управления силами и средствами МЧС.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования его результатов в образовательных курсах «Пожарная техника», «История пожарного дела», а также в проектных организациях при разработке тактико-технических заданий на создание перспективных образцов. Предложенная автором периодизация и систематизация инновационных решений могут служить основой для дальнейших научных исследований в области пожарного машиностроения.

Список использованных источников

1. Безбородько, М.Д. Пожарная и аварийно-спасательная техника: учебник: в 2 ч. Ч. 1 / М.Д. Безбородько, С.Г. Цариченко, В.В. Роечко [и др.]; под ред. М.Д. Безбородько. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2012. – 353 с. – EDN: YMXXZR.

2. Шкунов, С.А. Современная пожарная техника и перспективы ее развития: доклад / С.А. Шкунов. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2023. – 62 с. – EDN: ABSTE123.

3. Российская Федерация. Законы. О требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон № 123-ФЗ: [принят Государственной Думой 4 июля 2008 года: одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года]. – Москва, 2008. – EDN: QWE456RT.

4. Технический регламент Евразийского экономического союза. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения: ТР ЕАЭС 043/2017: [принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 г. № 40]. – EDN: FGH789IO.

5. Пожарные автомобили нового поколения // Системы безопасности (Secureck.Ru). – 2022. – URL: <https://secureck.ru/articles/pozarnye-avtomobili-povogo-pokolenia> (дата обращения: 10.03.2026). – EDN: KLM012N.

6. Главе МЧС России представили новую разработку в сфере пожарной техники: сообщ. пресс-службы МЧС России от 20.09.2025 // МЧС России: официальный сайт. – 2025. – URL: <https://mchs.gov.ru/novosti/2025> (дата обращения: 10.03.2026). – EDN: UVW345XY.

7. Кнутов, М. С. Пожарный аэродромный автомобиль современной пожарной охраны / М. С. Кнутов // Пожарная техника. – 2024. – 12 марта. – URL: <https://firetech.ru/aa-12-5-70-100> (дата обращения: 10.03.2026). – EDN: CDE678ZA.

8. Техника против огня: новые машины для пожарных // iGrader.ru : аналитический портал. – 2025. – 6 июня. – URL: <https://igrader.ru/tehnika-protiv-ognja> (дата обращения: 10.03.2026). – EDN: BVC890SD.

9. Холдинг «Высокоточные комплексы». Ант-1000ПМ – роботизированный комплекс для МЧС: технический бюллетень. – Москва, 2024. – 12 с. – EDN: RTY789UI.

10. Ростех представил новый роботизированный комплекс для пожарных // Госкорпорация Ростех: официальный сайт. – 2024. – 15 мая. – URL: <https://rostec.ru/news/ant-1000pm> (дата обращения: 10.03.2026). – EDN: OPQ456AS.

HISTORICAL EVOLUTION AND INNOVATIVE DIRECTIONS OF FIRE FIGHTING VEHICLES DEVELOPMENT IN THE RUSSIAN FEDERATION

D.S. Schaposchnik, A.A. Gulyaeva

*Moscow State University of Technology and Management
named after K.G. Razumovsky, Penza Cossack Institute of Technology – branch,
Penza, Russia*

The article presents the results of a historical and technical analysis of the development of fire fighting vehicles in Russia. The aim of the study is to systematize the stages of fire equipment evolution and identify key areas of its modernization at the present stage. The methodological basis includes retrospective, comparative and systematic analysis. Based on the study of regulatory documents, technical descriptions and scientific publications, the author identifies six historical stages, with the innovation period of 2018–2026 being distinguished as an independent stage for the first time, characterized by a qualitative transition to digital and robotic technologies. It is established that the modern fleet of fire fighting vehicles is classified by functional purpose, gross weight and cross-country ability, and marking is carried out according to the industry standard ON 025 270-66. Five technological trends of 2018–2026 are identified: modularity of structures, use of composite materials, hybridization of power plants, digitalization of control systems and introduction of robotic complexes. It is shown that the use of NATISK compressed air foam systems allows to increase the efficiency of extinguishing from 10 to 80 % while reducing water consumption by 5–15 times. Based on a comparative analysis, the author concludes that the most promising direction is not the isolated introduction of individual innovations, but their integration into unified multifunctional fire and rescue complexes. The results can be used in training courses on fire fighting equipment, as well as in the formation of technical specifications for the development of advanced models.

Keywords: fire fighting vehicles, history of fire equipment, modular designs, hybrid power plants, compressed air foam, robotics EMERCOM, technical regulation, author's periodization.

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ КОРОБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

С.Д. Шеховцов

*Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия*

Рассмотрены особенности напряжённо-деформированного состояния, возникающего при глубокой вытяжке коробчатых деталей из анизотропного листового металла. Проанализировано влияние кристаллографической анизотропии механических свойств листового материала на характер течения металла, распределение толщины стенки, формирование фестонов и предельную степень вытяжки. Показано двойственное влияние анизотропии на технологические возможности процесса.

Ключевые слова: глубокая вытяжка, коробчатые детали, листовая штамповка, механическая анизотропия, коэффициент нормальной анизотропии, плоскостная анизотропия.

Глубокая вытяжка остаётся одним из наиболее распространённых и технологически значимых процессов листовой штамповки, применяемых в автомобильной, авиационной, приборостроительной и других отраслях промышленности [1-5]. Среди всего многообразия деталей, получаемых этим методом, коробчатые изделия занимают особое место благодаря сложности напряжённо-деформированного состояния, возникающего в заготовке в ходе формообразования. В отличие от осесимметричных цилиндрических деталей, коробчатые изделия характеризуются наличием прямолинейных участков стенок и угловых зон, в которых условия деформирования существенно различаются. Это приводит к неравномерному течению металла, образованию фестонов, локальному утонению и другим дефектам, природа которых в значительной мере обусловлена анизотропией механических свойств листового материала.

Механическая анизотропия листовых металлов имеет кристаллографическую природу, так количественной мерой анизотропии пластических свойств листового металла служит коэффициент нормальной анизотропии, определяемый как отношение логарифмической деформации по ширине образца к деформации по толщине при одноосном растяжении.

Формообразование коробчатых деталей глубокой вытяжкой принципиально отличается от вытяжки осесимметричных изделий неоднородностью условий деформирования по периметру заготовки. Условно контур коробчатой детали можно разделить на два характерных типа зон: прямолинейные участки стенок и угловые области. В прямолинейных зонах процесс деформирования близок к свободному изгибу с подпором, при котором фланцевая часть заготовки практически не испытывает тангенциальных сжимающих напряжений, а основным

видом деформации является изгиб с вытяжкой. Радиальное течение материала здесь происходит относительно свободно, и сопротивление деформированию невелико.

В угловых зонах, напротив, картина напряжённо-деформированного состояния приближается к той, которая характерна для вытяжки цилиндрического стакана. Фланцевая часть заготовки в угловой области подвергается радиальному растяжению и тангенциальному сжатию, что приводит к утолщению кромки фланца и возможной потере устойчивости в виде образования гофров. Именно угловые зоны являются наиболее нагруженными участками, определяющими предельную степень вытяжки коробчатой детали. Сопротивление деформированию в углах значительно превышает сопротивление на прямолинейных участках, что обуславливает преимущественное втягивание материала через прямые стенки и отставание подтягивания металла в угловых зонах.

Наложение анизотропии механических свойств на и без того неоднородную картину деформирования при вытяжке коробчатых деталей приводит к ещё более сложному характеру формоизменения. Поскольку различные участки контура коробчатой детали ориентированы под разными углами к направлению прокатки исходного листа, каждый из них характеризуется своим значением коэффициента анизотропии, предела текучести, предела прочности и коэффициента деформационного упрочнения. Это означает, что сопротивление течению материала варьируется не только из-за геометрических особенностей формы детали, но и вследствие направленной зависимости механических характеристик.

Рассмотрим наиболее типичный случай вытяжки прямоугольной коробки из листовой заготовки, в которой стороны прямоугольника параллельны и перпендикулярны направлению прокатки. В этом случае две противоположные стенки коробки формируются из материала, ориентированного вдоль направления прокатки, а две другие из материала поперечного направления. Если механические свойства материала различаются в этих направлениях (что практически всегда имеет место), то сопротивление течению металла через противоположные пары стенок будет различным. Стенка, сформированная из материала с более высоким пределом текучести, будет втягиваться в матрицу менее интенсивно, что приведёт к асимметрии высоты стенок готовой детали.

Угловые зоны коробчатой детали ориентированы под промежуточными углами к направлению прокатки. Для квадратной коробки, стороны которой параллельны направлению прокатки, угловые зоны оказываются ориентированными под углом сорок пять градусов. Значение коэффициента анизотропии и предела текучести в этом направлении, как правило, отличается от значений как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Влияние анизотропии проявляется также в изменении характера распределения толщины стенки по периметру и высоте вытянутой детали. В направлениях с высоким значением коэффициента анизотропии материал преимущественно деформируется в плоскости листа, сохраняя толщину стенки близкой к исходной. В направлениях с низким значением параметра происходит более интенсивное утонение стенки, что снижает несущую способность этого участка и может стать причиной преждевременного разрушения. Таким образом, анизотропия не только влияет на геометрическую точность формы детали, но и

непосредственно определяет её прочностные характеристики и предельные технологические возможности процесса.

Также стоит отметить, что анизотропия механических свойств влияет на предельную степень вытяжки двояко. С одной стороны, высокое среднее значение коэффициента нормальной анизотропии повышает сопротивление утонению и увеличивает предельную глубину вытяжки. С другой стороны, выраженная плоскостная анизотропия приводит к неравномерному распределению деформаций и концентрации напряжений в отдельных зонах, что может снижать предельные возможности процесса. Важную роль играет также анизотропия деформационного упрочнения, характеризуемая показателем степенного закона упрочнения в различных направлениях. Таким образом, для достижения максимальных технологических возможностей процесса необходимо учитывать не только уровень коэффициента анизотропии, но и его распределение по направлениям, а также анизотропию параметров упрочнения.

Список использованных источников

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. 4-е изд. – Москва: Машиностроение, 1977. 423 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. 520 с.
3. Папенова, К.В. Основы технологии машиностроения / К.В. Папенова. – Москва: КноРус, 2013. 288 с.
4. Вобликов, Г.А. Социально-экономические аспекты внедрения инновационных технологических процессов обработки металлов давлением в производство / Г.А. Вобликов, С.С. Яковлев // Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций: Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 30–31 октября 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 106-109.
5. Галкин, Ю.С. Исследование операции отбортовки и оценка силовых характеристик с помощью компьютерного моделирования / Ю.С. Галкин, С.С. Яковлев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 10. – С. 380-384.

THE EFFECT OF ANISOTROPY OF MECHANICAL PROPERTIES ON SHAPE CHANGE DURING DEEP DRAWING OF BOX PARTS

S.D. Shekhovtsov

*Tula State University,
Tula, Russia*

The features of the stress-strain state that occurs during deep drawing of box parts from anisotropic sheet metal are considered. The influence of the crystallographic anisotropy of the mechanical properties of the sheet material on the character of the metal flow, the wall thickness distribution, the formation of festoons and the maximum

degree of extraction is analyzed. The dual effect of anisotropy on the technological capabilities of the process is shown.

Keywords: deep drawing, box-shaped parts, sheet stamping, mechanical anisotropy, coefficient of normal anisotropy, planar anisotropy.

УДК 621.983

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ

С.Д. Шеховцов

*Тульский государственный университет,
г. Тула, Россия*

В данной статье рассматривается новое техническое решение в области обработки металлов давлением, нацеленное на усовершенствование процесса импульсной штамповки. Описываемое изобретение предлагает оригинальное решение этой проблемы за счет интеграции в конструкцию ступенчатой герметичной камеры с жидкостной средой. Благодаря использованию принципов гидравлического усиления, новое устройство многократно увеличивает рабочий ход пуансона без усложнения электродинамического механизма. Это открывает перспективы для выполнения как простых разделительных, так и сложных формоизменяющих операций на одном оборудовании.

Ключевые слова: импульсная штамповка, обработка металлов давлением, магнитно-импульсная установка, рабочий ход, гидравлическое усиление, формоизменяющие операции, деформация заготовки.

Обработка металлов давлением с использованием электродинамического воздействия давно зарекомендовала себя как высокоэффективный метод на современных производствах [1-3]. Применение устройств импульсной установки позволяет реализовывать плоскую штамповку листовых материалов, а также обжим и раздачу цилиндрических оболочек. Однако эволюция производственных требований диктует необходимость создания более универсальных и производительных станков. [4-5] Одной из главных проблем существующих установок является ограниченность технологических возможностей, вызванная малым рабочим ходом пуансона.

Для понимания сути проблемы целесообразно рассмотреть предшествующие аналоги. Известные конструкции, в которых исполнительный динамический механизм выполнен в виде пакетов электроизолированных металлических пластин, работают по принципу электромагнитного отталкивания. При подаче мощного токового импульса встречные магнитные поля резко раздвигают пакеты пластин, толкая пуансон. Несмотря на колоссальную силу удара, дистанция такого перемещения крайне мала. Этого вполне достаточно для разделительных операций, например, для вырубки контура или пробивки отверстий в стальном

листе. Однако, если стоит задача произвести глубокую вытяжку детали или сформировать сложный пространственный профиль, стандартного хода пластин попросту не хватает. Попытки усложнить конструкцию с помощью систем тяг и дополнительных промежуточных плит приводили к громоздкости механизмов и снижению надежности всей системы.

Новое техническое решение предлагает элегантный и высокоэффективный выход из сложившейся ситуации за счет внедрения закона Паскаля и принципа гидравлической передачи в классическую схему сухого магнитного пресса. Ключевым нововведением является установка специального корпуса из магнитомягкого металла, внутри которого сформирована ступенчатая герметичная камера, заполненная жидкой средой. В этой камере взаимодействуют два новых подвижных элемента: толкатель, принимающий удар от электродинамического механизма, и пуансонодержатель, непосредственно деформирующий металл.

Инновационность заключается в разнице геометрических размеров этих элементов. Ступень камеры, где располагается толкатель, имеет значительно большую площадь поперечного сечения, чем ступень, в которой движется пуансонодержатель. Это работает по принципу, схожему с медицинским шприцем: если вы нажимаете на широкий поршень с небольшим смещением, жидкость выталкивается через узкое отверстие с высокой скоростью и на гораздо большее расстояние. В описываемом устройстве жидкость выступает жестким и надежным передаточным звеном, не подверженным механическому износу.

Рабочий цикл устройства начинается с укладки металлической заготовки или цилиндрической оболочки на рабочую матрицу. После этого происходит разряд генератора импульсных токов. Электрический импульс проходит через исполнительный механизм, состоящий из четного набора пакетов проводящих пластин. Возникающая мощная электромеханическая сила мгновенно отталкивает пластины друг от друга. Пакеты, увеличивая просвет между собой, совершают ударное воздействие на широкий толкатель.

Толкатель, перемещаясь в широкой части гидравлической камеры, оказывает колоссальное давление на жидкую среду. Не имея возможности сжаться, жидкость устремляется в узкую часть камеры. В этой узкой полости напор перетекающей жидкости мощно воздействует на пуансонодержатель с закрепленным на нем пуансоном. Благодаря разнице площадей сечений, пуансон приобретает значительно большую скорость и преодолевает гораздо большее расстояние, чем толкатель. Достигнув заготовки, пуансон формует ее в соответствии с заданными параметрами матрицы, осуществляя, например, глубокую вытяжку стального стакана или раздачу трубы.

Завершение цикла происходит автоматически благодаря системе возвратных пружин. Разгрузка давления приводит к тому, что пружины возвращают пуансонодержатель и толкатель в исходное положение, а жидкая среда перетекает обратно в широкую полость. Удобство эксплуатации также обеспечивается тем, что торцевая поверхность пуансона на обратном пути упирается в промежуточную плиту, которая служит надежным ограничителем хода.

Предложенная архитектура устройства решает главную технологическую задачу - она кардинально расширяет возможности станка при сохранении геометрической и механической простоты. Мастеру на производстве теперь не нужно иметь два разных станка для пробивки и вытяжки металла. Меняя соотношение площадей поперечных сечений в камере и устанавливая на резьбовом соединении пуансоны различных форм, можно в широчайших пределах регулировать скорость и глубину рабочей деформации инструмента. Это открывает дорогу к созданию универсальных, компактных и высокопроизводительных импульсных прессов нового поколения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта ректора ТулГУ для обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам магистратуры, № НИЧ-8987/МиППФ/25/01/ГРМ_М.

Список использованных источников

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. 4-е изд. – Москва: Машиностроение, 1977. – 423 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. 520 с.
3. Папенова, К.В. Основы технологии машиностроения / К.В. Папенова. – Москва: КноРус, 2013. – 288 с.
4. Вобликов, Г.А. Социально-экономические аспекты внедрения инновационных технологических процессов обработки металлов давлением в производство / Г.А. Вобликов, С.С. Яковлев // Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций: Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 106-109.
5. Галкин, Ю.С. Исследование операции отбортовки и оценка силовых характеристик с помощью компьютерного моделирования / Ю.С. Галкин, С.С. Яковлев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 10. – С. 380-384.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR PULSE STAMPING

S.D. Shekhovtsov

*Tula State University,
Tula, Russia*

This article discusses a new technical solution in the field of metalworking by pressure, aimed at improving the process of pulse stamping. The described invention offers an original solution to this problem by integrating a stepped sealed chamber with a liquid medium into the design. By using the principles of hydraulic reinforcement, the new device greatly increases the stroke of the punch without complicating the

electrodynamic mechanism. This opens up prospects for performing both simple separation and complex shape-changing operations on the same equipment.

Keywords: pulse stamping, metal pressure treatment, magnetic pulse installation, working stroke, hydraulic reinforcement, shape-changing operations, deformation of the workpiece.

УДК 621.01

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА С НЕЗАМКНУТОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПЬЮ

В.А. Шорин, И.Е. Новиков

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье рассмотрено исследование пространственного исполнительного механизма промышленного робота с незамкнутой кинематической цепью. Для него выделено две основные задачи кинематики. В первой задаче заданы параметры, определяющие относительное положение звеньев; требуется определить их кинематические характеристики абсолютного движения. Во второй – задано движение захватывающего звена; требуется найти характеристики абсолютного движения всех звеньев.

Ключевые слова: пространственный исполнительный механизм с незамкнутой кинематической цепью, анализ пространственного механизма.

При кинематическом исследовании пространственного исполнительного механизма с незамкнутой кинематической цепью (например, исполнительный механизм автооператоров-роботов) можно выделить две основные задачи кинематики [1]. В первой задаче считаются заданными законы изменения переменных параметров, определяющих относительное положение звеньев, и требуется определить кинематические характеристики абсолютного движения звеньев. Во второй – заданным считается движение захватывающего звена, а требуется найти характеристики абсолютного движения всех звеньев. Вторая задача является более общей и более сложной, чем первая. При ее рассмотрении приходится решать вопрос об определении положений звеньев пространственного механизма.

Синтез исполнительных механизмов с незамкнутой кинематической цепью по заданным конечным положениям объекта. Необходимость обеспечения в современных станках и автоматических линиях сложных пространственных движений приводит к задаче синтеза исполнительных механизмов автооператоров по заданным пространственным перемещениям объекта.

Пусть задано n конечных положений объекта, под которым будем понимать точку, прямую, плоскость или сочетание этих геометрических образов. Положение реальных объектов и твердых тел всегда можно определить, задавая

положение этих образов. Допустим, задана также кинематическая схема исполнительного механизма. Ввиду того что в данном случае проектируется специализированное устройство, кинематическая схема выбирается наиболее простая, т.е. с меньшим числом степеней подвижности, чем число степеней подвижности объекта.

В данном случае задачей синтеза является определение постоянных параметров кинематической схемы пространственного механизма с незамкнутой кинематической цепью. Рассмотрим пример решения задачи синтеза исполнительного механизма.

Синтез исполнительного механизма с двумя степенями свободы по заданным положениям точки в пространстве. Пусть движение точки в пространстве задано n конечными положениями. Требуется решить задачу синтеза механизма с незамкнутой кинематической цепью, способного доставлять точку в заданные положения. Применим для этой цели механизм с одной поступательной и одной вращательной кинематическими парами (рис.1).

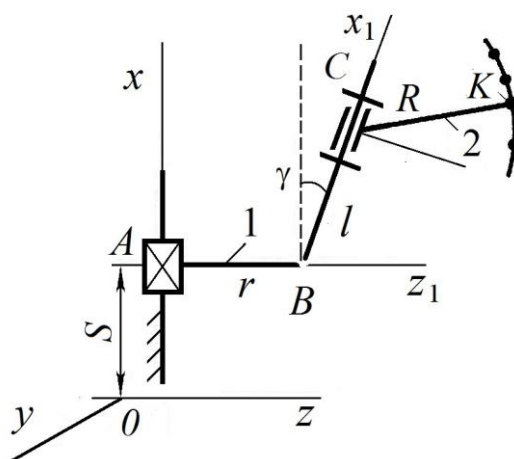


Рис.1

Данный механизм имеет две степени свободы, а движение точки в пространстве определяется тремя независимыми координатами. Следовательно, при произвольных параметрах механизм не обеспечит заданного перемещения точки. Запишем условие связи, наложенное на движение точки звена 2:

$$y_1^2 + z_1^2 = R^2; \quad x_1 = l. \quad (1)$$

В неподвижной системе координат это условие можно записать, заменив координаты x_1, y_1, z_1 через координаты x, y, z , получим

$$(x - S) \cos \gamma + y \sin \gamma = l; \\ [-(x - S) \sin \gamma + y \cos \gamma]^2 + (z - r)^2 = R^2, \quad (2)$$

где γ, r, R – постоянные параметры механизма; S – переменный параметр.

Исключая переменный параметр S , получим уравнение, связывающее постоянные параметры механизма и координаты точки

Условие постоянства расстояния между плоскостью и центром пары В имеет вид $R = (A_{x_B} + B_{y_B} + C_{z_B} + D) / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$. В нормальном уравнении плоскости $A^2 + B^2 + C^2 = 1$. При этом условии связи можно взять в виде

$$R = A_{x_B} + B_{y_B} + C_{z_B}. \quad (5)$$

Входящие в это уравнение координаты т.В определяются следующим образом:

$$x_B = \cos\delta(r \cdot \cos\alpha + b \cdot \sin\gamma \cdot \sin\alpha + h) + \sin\delta[\cos\omega(r \cdot \sin\alpha - b \cdot \sin\gamma \cdot \cos\alpha) - \sin\omega(b \cdot \cos\gamma + d)];$$

$$y_B = \sin\delta(r \cdot \cos\alpha + b \cdot \sin\gamma + h) + \cos\delta[\cos\omega(r \cdot \sin\alpha - b \cdot \sin\gamma \cdot \cos\alpha) - \sin\omega(b \cdot \cos\gamma + d)];$$

$$z_B = \sin\omega(r \cdot \sin\alpha - b \cdot \sin\gamma \cdot \cos\alpha) + \cos\omega(b \cdot \cos\gamma + d) + c.$$

Положение точки В определяется как постоянными параметрами механизма, так и переменными параметрами α , углом поворота звена 1. Поэтому для исключения или определения этого переменного параметра необходимо использовать еще одно условие связи. За такое условие примем условие постоянства угла между осью пары В и воспроизводящей плоскостью

$$l_1 A + m_1 B + n_1 C = \cos\theta. \quad (6)$$

Входящие в это выражение направляющие косинусы оси пары В l_1, m_1, n_1 также зависят от постоянных и переменного параметра α . При вычислении полного числа параметров в общем случае для n заданных положений можно составить $2n$ нелинейных уравнений вида (5) и (6). Из этих уравнений можно определить n значений угла α в заданных положениях и n постоянных параметров механизма. При вычислении неполного числа параметров механизма задача существенно упрощается. Если задаться угловыми параметрами, входящими в уравнение (6) и принять $\delta=0$, $\omega=\pi/2$, то значение угла можно определить из уравнения:

$$a_0 \sin\alpha + b_0 \cos\alpha + C = 0,$$

$$\text{где } a_0 = A_i \sin\gamma; \quad b_0 = -C_i \sin\gamma; \quad c_0 = -B_i \cos\gamma; \quad i = 1, 2, \dots, 6.$$

При известных значениях переменного параметра α в n заданных положениях первое уравнение синтеза (5) может быть представлено в виде:

$$P_1 f_{1i} + P_2 f_{2i} + P_3 f_{3i} + P_4 f_{4i} + P_5 f_{5i} + P_6 f_{6i} = F_i,$$

$$\text{где } P_1 = R; \quad P_2 = r; \quad P_3 = b; \quad P_4 = h; \quad P_5 = d; \quad P_6 = c;$$

$$f_{1i} = 1; \quad f_{2i} = A_1 \cos\alpha_i + C_i \sin\alpha_i;$$

$$f_{3i} = A_1 \sin\gamma \sin\alpha_i - C_i \sin\gamma \cos\alpha_i - B_i \cos\gamma;$$

$$f_{4i} = A_i; \quad f_{5i} = -B_i; \quad f_{6i} = C_i; \quad F_i = -D_i; \quad i = 1, 2, \dots, 6.$$

Для шести заданных положений плоскости можно вычислить шесть постоянных параметров механизма, решив систему шести линейных уравнений.

Список использованных источников

1. Фролов К.В. Механика промышленных роботов: учебное пособие для вузов, в 3 кн. Кн.1 / К. В. Фролов, Е. И. Воробьев. – Москва: Высшая школа, 1988. – 303 с.

KINEMATIC ANALYSIS OF A SPATIAL MECHANISM WITH AN OPEN KINEMATIC CHAIN

V.A. Shorin, I.E. Novikov

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article considers the study of the spatial actuator of an industrial robot with an open kinematic circuit. There are two main tasks of kinematics for him. In the first task, parameters are set that determine the relative position of the links; it is necessary to determine their kinematic characteristics of absolute motion. In the second– the movement of the capturing link is set; it is required to find the characteristics of the absolute movement of all links.

Keywords: spatial actuator with an open kinematic chain, spatial mechanism analysis.

УДК 621.01

О КУРСЕ «ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН» ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В.А. Шорин, В.М. Сергеев

*Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

В статье рассмотрены понятия «машина», «механизм». Дано определение науки «Теория механизмов и машин» (ТММ). Освящены проблемы, которыми занимается ТММ. Показано значение курса ТММ для инженерного образования. Рассмотрена последовательность изложения разделов, составляющих содержание программы курса теории механизмов и машин.

Ключевые слова: машина, механизм, структура, кинематика, динамика, анализ, синтез.

Машина и механизм (определение терминов). Прежде чем определять содержание курса, надо условиться, что следует понимать под терминами

«машина» и «механизм», так как от содержания этих терминов зависит перечень проблем теории механизмов и машин (ТММ).

По мере развития машин определение термина «машина» изменялось. Для современных машин можно дать следующее определение: *машина* – это устройство, совершающее механическое движение для преобразования энергии, материалов или информации с целью замены или облегчения умственного или физического труда человека. По функциональному назначению машины условно можно разделить на: энергетические, транспортные, технологические, контрольно-управляющие, логические (ЭВМ).

Определение термина «механизм» также изменялось по мере того, как появлялись новые механизмы. Современное определение этого термина: *Механизм* – это система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других тел. Если в преобразовании движения кроме твердых тел участвуют жидкие или газообразные тела, то механизм называется соответственно гидравлическим или пневматическим.

Основной признак механизма – преобразование движения тел. Отсюда следует, что механизм применяется в тех случаях, когда нельзя получить непосредственно требуемое движение тел и возникает необходимость в преобразовании движения. В состав каждой отдельной машины входит один или несколько механизмов. Машины могут быть и без механизмов (например, электродвигатели, в них преобразование электрической энергии в механическую происходит без промежуточного преобразования механического движения).

Теория механизмов и машин – наука об общих методах исследования свойств механизмов и машин и их построения. Наиболее развита к настоящему времени та ее часть, которая называется теорией механизмов. В теории механизмов изучаются такие методы исследования свойств механизмов и их построения, которые являются общими для всех (или для определенных групп) механизмов. Например, один и тот же механизм для преобразования вращательного движения в прямолинейно-поступательное может применяться в компрессоре, в швейной машине и в упаковочном автомате. Во всех указанных случаях требуется одно и то же преобразование движения и потому свойства этих механизмов и методы их исследования и проектирования оказываются общими. Эти общие методы и составляют содержание теории механизмов.

Другую часть дисциплины ТММ составляет теория машин. В ней, как и в теории механизмов, рассматриваются такие методы исследования и проектирования схем машин, которые являются общими для машин различных областей техники. Обе части неразрывно связаны между собой, так как механизмы составляют основу почти любой машины.

Основные проблемы теории механизмов машин. Задачи ТММ очень разнообразны, но важнейшие из них можно сгруппировать по трем разделам (проблемам): анализ механизмов, синтез механизмов и теория машин-автоматов. К задачам анализа механизмов относят задачи исследования кинематических и динамических свойств механизма. К задачам синтеза относят задачи построения механизмов по заданным кинематическим и динамическим свойствам.

Разделение теории механизмов на анализ и синтез носит условный характер, так как анализ может рассматриваться как составная часть синтеза. Однако методически это разделение удобно возможностью объединения задач анализа и синтеза в однородные группы по признаку общности методов.

Содержание отдельных задач, входящих в указанные проблемы, изменялось и продолжает изменяться с появлением новых механизмов или новых условий их применения. Например, сравнительно недавно еще считалось, что ТММ изучает только механизмы с абсолютно твердыми звеньями, образующими замкнутую кинематическую цепь. С появлением механизмов, в которых для преобразования движения используются жидкости и газы, появилась необходимость решать задачи анализа и синтеза с учетом свойств течения жидкостей и газов. С появлением манипуляторов, т.е. механизмов, воспроизводящих движения рук человека, появилась необходимость изучать кинематику и динамику незамкнутых кинематических цепей. Непрерывный рост нагруженности и быстроходности механизмов, а также повышение требований к качеству выполнения рабочего процесса привели к необходимости учета упругих свойств звеньев, переменности их масс и моментов инерции, зазоров в подвижных соединениях и т.п.

Методы решения задач анализа и синтеза механизмов долгое время основывались, главным образом, на графических построениях. С появлением компьютерных технологий наибольшее внимание уделяется теперь созданию аналитических алгоритмов и моделей для решения.

Новые условия применения известных механизмов потребовали выполнения новых качественных характеристик механизмов. Например, применение пространственных рычажных механизмов в устройствах космической техники, в манипуляторах и некоторых машинах-автоматах привели к значительному развитию методов синтеза этих механизмов по заданным характеристикам движения шатуна, совершающего сложное пространственное движение.

Другим примером механизмов, имеющих большое значение для создания современных машин, можно считать самонастраивающиеся механизмы. В них законы движения рабочих органов автоматически изменяются при изменении выполняемого рабочего процесса, причем требуемое изменение закона движения происходит за счет изменения одного или нескольких параметров кинематической схемы механизма (длин звеньев, линейных и угловых координат кинематических пар присоединяемой группы). Синтез этих механизмов сводится к синтезу механизмов с двумя и более степенями свободы.

Из проблем, составляющих основное содержание общей теории машин-автоматов, в первую очередь надо указать на проблему построения схемы системы управления, определяющей последовательность работы рабочих органов, а также механизмов загрузки и выгрузки. Одним из наиболее распространенных способов построения этой схемы является применение логического синтеза релейных систем, т.е. систем, составленных из комбинаций последовательно и параллельно включенных реле (контактов, кнопок). Общим свойством всех реле (электромагнитных, пневматических или пружинных) является то, что звено,

входящее в его состав, может всегда занимать только одно из двух возможных положений «включено» и «выключено». Логическим этот синтез называется потому, что он основан на использовании двоичных функций, подчиняющихся правилам алгебры и логики.

Из приведенного перечня современных проблем теории механизмов и машин видно, что с появлением новых механизмов и машин или с изменением условий их применения непрерывно возникают новые проблемы этой теории. Очевидно, что программа курса ТММ должна в какой-то мере учитывать изменения, происшедшие за последние годы в содержании науки о механизмах и машинах.

Значение теории механизмов и машин для инженерного образования. Все специальности, по которым производится подготовка инженеров механических специальностей, можно подразделить на две группы: конструкторские и эксплуатационно-технологические.

Для инженеров-конструкторов общие методы синтеза механизмов, излагаемые в курсе ТММ, дают возможность не только находить параметры механизмов по заданным кинематическим и динамическим свойствам, но и определять их оптимальные сочетания с учетом многих дополнительных условий.

Несколько иное значение имеет курс ТММ для технологических и эксплуатационных специальностей. Специалисты этого профиля сравнительно редко участвуют непосредственно в проектировании машин. Тем не менее, они должны хорошо знать основные виды механизмов и их кинематические и динамические свойства. Эти знания необходимы для ясного понимания принципов работы отдельных механизмов и их взаимодействия в машине. В процессе эксплуатации любой машины всегда возможно возникновение неполадок и отказов в работе из-за неисправностей, связанных с нарушением режима движения частей машины. Устранить эти неисправности, а в некоторых случаях дать задание на проектирование нового механизма, может только инженер, хорошо знающий кинематические и динамические свойства различных механизмов.

Не менее важно знать также любому инженеру-механику основные принципы построения машин-автоматов. Отсюда следует, что ТММ является основной для последующего изучения специальных видов машин и потому входит в общетехнический цикл дисциплин, формирующих знания инженеров по конструированию, изготовлению и эксплуатации машин.

Последовательность изложения разделов, составляющих содержание программы курса теории механизмов и машин. Одни и те же задачи, составляющие содержание учебного курса, могут излагаться в программе и в учебниках в различной последовательности. Например, в действующей в настоящее время программе принята следующая последовательность: структура механизмов, кинематика механизмов, динамика механизмов. В учебнике И.И. Артоболевского принята другая последовательность: структура механизмов, анализ механизмов, синтез механизмов [1]. Оба варианта изложения имеют свои преимущества и недостатки. Основной недостаток первого варианта состоит в том, что кинематическое исследование отрывается от динамического. Между тем оно

составляет лишь часть общего исследования механизмов. Недостаток второго варианта состоит в отрыве задач анализа от задач синтеза некоторых групп механизмов. Этот недостаток может быть смягчен таким изложением раздела анализа механизмов, при котором главное внимание обращается на установление видов механизмов и определение их кинематических и динамических характеристик. Тогда раздел синтеза механизмов может быть построен в основном по признаку общности методов. Сначала могут быть изложены методы кинематического анализа: точные, приближенные, оптимизационные, затем – методы динамического синтеза. Второй вариант удобен также тем, что в нем последовательно осуществляется переход от более простых задач теории механизмов к более сложным, причем легко выделяется та часть курса (виды механизмов и их свойства), которая относится к эксплуатационным специальностям, и часть курса, представляющая интерес главным образом для конструкторов (синтез механизмов).

Список использованных источников

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: учеб. для втузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Наука. – 1988. – 640 с.

ABOUT THE COURSE "THEORY OF MECHANISMS AND MACHINES" FOR MECHANICAL SPECIALTIES

V.A. Shorin, V.M. Sergeev

*Penza State University,
Penza, Russia*

The article discusses the concepts of "machine" and "mechanism." It provides a definition of the science of "Theory of Mechanisms and Machines" (TMM). The article highlights the problems addressed by TMM. It also demonstrates the importance of the TMM course for engineering education. The article discusses the sequence of presenting the sections that make up the content of the course on Theory of Mechanisms and Machines.

Keywords: machine, mechanism, structure, kinematics, dynamics, analysis, synthesis.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПРОКАТКЕ МАТЕРИАЛОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ. АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА Е.В. Астахов, Н.Н. Татарников, А.Д. Чернышев	3
ОСНОВЫ И ТЕОРИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ К.С. Бальцер	8
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕРТОЛЕТНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ К.С. Бальцер	10
СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АВИАЦИОННОМ ТРАНСПОРТЕ К.С. Бальцер	13
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНАСТКИ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ ПРИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В.А. Бармин	16
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОПРЯЖЕНИЙ КОНСТРУКЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ С ПОМОЩЬЮ НАУКОЕМКИХ ТРИБОТЕХНОЛОГИЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ В.А. Бармин	20
ПРЕИМУЩЕСТВА ЗАДЕЙСТVOВАНИЯ CAD/CAE В ОБЛАСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ В.А. Бармин	24
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОССИИ И БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В.В. Беляев, Т.Н. Егорушкина, О.А. Серегина	29
ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ О.О. Бердников, Н.Ю. Капалин, Д.С. Реченко.....	35
АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ СПЕЦИФИКАЦИЙ И ПАСПОРТОВ ОБОРУДОВАНИЯ В MS WORD С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАКРОСОВ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ Н.С. Богаткин	43
СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ МАЛЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Д.И. Болдырев, С.В. Новикова	47
МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА КАК МЕТОД КАЛИБРОВКИ И СОЕДИНЕНИЯ ТРУБНЫХ ДЕТАЛЕЙ Д.Т. Бунтури	51
ФЕСТОНООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ВЫТЯЖКЕ КОРОБЧАТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ Д.Т. Бунтури	54

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОН УСПОКОЕННОГО ДВИЖЕНИЯ В ИСТОРИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ ИРКУТСКА	
И.А. Бянкина, А.П. Лопушанский, Т.Р. Кузнецов, А.Ю. Михайлов	57
ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТРАНСФОРМАТОРА НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	
Б.А. Валеев, В.С. Басенко	60
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	
А.И. Ващенко	64
ПЕРЕНОСНЫЕ УСТРОЙСТВА ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ОСМОТРА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ	
А.Н. Владимиров, А.Н. Шмойлов	67
ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСИММЕТРИЧНОЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ РОДСТЕРА	
А.А. Войнов, В.В. Мокшанцев	70
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДКАЧКИ ШИН: ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ НА АВТОМОБИЛЯХ LADA С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ПРИВОДА	
А.А. Войнов, Я.А. Миронов, Р.А. Улитин	76
АВТОМОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ ПРИЦЕПА: КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ	
А.А. Волков, Д.С. Шишлов, Д.В. Беляков, А.А. Бутенко, Е.Е. Кузнецов.....	83
КАСКАДНЫЕ СУБКРИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТРАНСКРИТИЧЕСКИЕ БУСТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ПРИНЦИП ИХ РАБОТЫ, ПРИМЕНЕНИЕ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ В УСТАНОВКАХ	
А.С. Галка	88
РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	
А.Р. Гатиятуллин, А.Н. Шмойлов	92
ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБРАБОТКИ ВИДЕОДАННЫХ В БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ	
А.Т. Гафиятуллин, Г.Р. Сибаева	95
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА	
Е.В. Герасимов	100
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ	
Е.В. Герасимов	105
ИННОВАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ С ПОМОЩЬЮ ИНДУСТРИИ 4.0	
Ю.И. Гришина	110
МЕНЕДЖМЕНТ ИННОВАЦИОННЫХ РИСКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ	
Ю.И. Гришина	115
УСКОРЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЧЕРЕЗ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ УНИВЕРСИТЕТА	
Ю.И. Гришина	118

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	
Б.А. Давлетбаев, В.К. Козлов	124
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТОК ТУРБИН	
А.В. Давыденков, О.Н. Назарова.....	127
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО БОРТОВОГО УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПИТАНИЕМ	
Д.А. Данилов, А.Н. Шмойлов.....	132
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
Г.В. Дмитриев, С.В. Новикова.....	135
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ШАРОВЫХ КРАНОВ	
Е.В. Дмитриева, Е.П. Сёмин, П.А. Гурин, Н.А. Миронычев.....	139
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОАККУМУЛЯТОРОВ	
А.И. Дураков, А.А. Войнов.....	146
ПРИМЕНЕНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ	
Д.Ю. Загоскин, Е.А. Сидорин, О.Н. Назарова	150
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ВОДОРОДНЫМ НАКОПЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ	
А.И. Зайнидинов, В.Д. Сандаков.....	153
ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛА ПРИ ВЕРШИНЕ ЗЕРНА ПРОФИЛЬНОГО АЛМАЗНОГО КРУГА НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ	
А.Е. Зверовщиков, Ю.Н. Кошелева, А.А. Кривокубов, А.А. Петрякова	157
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	
В.Д. Здоровцев	161
УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА РАННИХ ЭТАПАХ ИХ РАЗРАБОТКИ	
В.Д. Здоровцев	164
ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТА С ЭКСТРЕННЫМИ СЛУЖБАМИ РЕАГИРОВАНИЯ	
В.Д. Здоровцев	167
ВЛИЯНИЕ ПОГЛАЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗМЕНЁННОГО СЛОЯ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКЕ МЕТАЛЛОВ	
Н.Ю. Капалин, О.О. Бердников, Д.С. Реченко.....	170
ХРАНЕНИЕ И УЧЁТ ШТАМПОВ И ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	
И.В. Касьянова	174
ИННОВАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В ВОЗДУШНЫЙ КАНАЛ ГОРЕЛКИ И В ТОПКУ КОТЛА ИЛИ ПЕЧИ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА	
В.Д. Катин, А.А. Журавлев	177

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО СОЗДАНИЮ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРА-ЦИКЛОНА ДЛЯ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ	
В.Д. Катин, А.А. Журавлев	181
ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОХРАННОСТИ ГРУЗОВ В ДВИЖУЩЕМСЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ	
А.Ю. Киямова, В.С. Банникова	185
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОЙ БАЛКИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ НАГРУЗКЕ (ИЗГИБ И ПРОДОЛЬНОЕ СЖАТИЕ)	
К.А. Коренко, Д.М. Симбирцев	189
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ	
Н.Е. Курносов, М.А. Тимашев, М.Д. Штеклин	195
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОКРАСОЧНЫХ РАБОТ	
Н.Е. Курносов, М.Д. Штеклин, М.А. Тимашев	198
ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	
А.В. Кучер, Н.Ю. Алексеев, А.М. Ребров, Е.В. Лоскутова, Е.Е. Кузнецов	207
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	
А.И. Лукманов, Г.Р. Сибаева	210
АНАЛИЗ КАЧЕСТВА КРОНШТЕЙНОВ	
Е.Г. Майкова, Э.А. Анисимов	217
ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ОТБОРА ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С МНОЖЕСТВОМ КРИТЕРИЕВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	
А.А. Малафеевский	221
ПЕРСПЕКТИВЫ СМЕНЫ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ НА ИННОВАЦИОННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ	
А.А. Малафеевский	228
ПУТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СТРУКТУР ЧЕРЕЗ ГЕНЕРАТИВНЫЙ ДИЗАЙН	
А.А. Малафеевский	234
ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ	
А.А. Матвеева	238
СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА	
А.А. Матвеева	241
ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОКРАШИВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ДЕПО	
А.М. Махкамов, А.Н. Шмойлов	244
ДВУХЗВЕННЫЙ ГУСЕНИЧНЫЙ ВЕЗДЕХОД	
Д.М. Мирошкин В.С. Суменков	247
БЕСПИЛОТНОЕ ТАКСИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ	
Р.Г. Мугаттарова	252
МАЛОТОННАЖНЫЕ АВТОМОБИЛИ НА БАЗЕ ЛЕГКОВЫХ МАШИН	
Б.Р. Назаров, С.В. Суменков	255

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ	
Ю.Ю. Накашидзе, А.К. Федоренко, Р.М. Накашидзе	260
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ В НЕПОДВИДНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ	
Ю.Ю. Накашидзе	263
АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ	
И.М. Николаев	267
ИВАН ЗУБКОВ – ВЫДАЮЩИЙСЯ СТРОИТЕЛЬ И ИНЖЕНЕР В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ПЕРЕПРАВЫ ПО ЛЬДУ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА)	
Я.И. Олейникова, Е.С. Устинова, А.А. Смирнов, В.А. Федорова.....	269
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ	
А.Д. Панкратова	275
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ	
В.В. Салмин, О.В. Журавлев	278
РАСЧЕТ И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИВОДА БЕСПИЛОТНЫХ ПЛАТФОРМ	
В.В. Салмин, А.В. Король	282
РАСЧЕТ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ ЭЛЕКТРОТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАССА 0,9 ТОННЫ	
В.В. Салмин, С.Ж. Кунишов.....	287
ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ (AL, CR, Y, SI) НА СТРУКТУРУ И КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ НИТРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ	
А.И. Санаев.....	292
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И КОРРОЗИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОКРЫТИЙ	
А.И. Санаев.....	297
НАЗЕМНЫЕ БЕСПИЛОТНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА, СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ	
Д.П. Сигаков.....	301
ОНЛАЙН-ДИАГНОСТИКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 500 КВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
Р.А. Ситдилов, Д.К. Зарипов.....	307
РАЗРАБОТКА ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО БЛОКА ДЛЯ ПЕРЕНОСНОГО ПРИТИРОЧНО-ДОВОДОЧНОГО СТАНКА	
В.А. Скрыбин, С.А. Гусев	310
К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК	
С.А. Смирнов.....	316
УЛУЧШЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ АВТОМОБИЛЯ LADA VESTA ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ ПОЛНОПРИВОДНОЙ ТРАНСМИССИИ	
К.Д. Советов, К.В. Лебединский	319

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИТ-ПРОЕКТА ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В УГЛЕДОБЫВАЮЩЕМ РЕГИОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ	
А.Ю. Соколова, А.А. Куприянова, С.А. Новоселов	323
РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСУЩЕГО КАРКАСА ДВУХЭТАЖНОГО АВТОБУСА СРЕДНЕГО КЛАССА	
С.В. Суменков, Н.О. Краюшкин.....	327
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСМИССИИ	
С.В. Суменков, Д.В. Рыгалов.....	334
ОПТИМИЗАЦИЯ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ КРЫЛА К ФЮЗЕЛЯЖУ САМОЛЕТА AIRBUS 320	
А.Е. Татауров, К.А. Удальцов, Г.Л. Татаров.....	339
РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО ШЛЕЙФА С НЕЗАВИСИМОЙ УСТАНОВКОЙ ПРУЖИННОЙ БОРОНЫ И ПЛАНЧАТОГО КАТКА	
М.А. Терёхин, Ю.В. Полывяный, А.В. Яшин	344
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ	
Э.Е. Тихомиров	350
ПРИМЕНЕНИЕ ГИС В ИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	
Э.Е. Тихомиров	352
АКТУАЛЬНОСТЬ ИННОВАЦИЙ В АВТОМАТИЗАЦИИ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА	
А.А. Третьяков, Е.А. Нагорный, А.А. Виннер	355
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	
А.А. Третьяков, В.А. Демьянов, Е.А. Нагорный	359
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ И ИХ РЕШЕНИЙ В РАЗВИТИИ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ	
А.А. Третьяков, Е.А. Нагорный, А.А. Виннер	364
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	
А.А. Третьяков, И.С. Гусев, А.А. Виннер	368
ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	
К.З. Тугушев	372
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ	
К.З. Тугушев	376
ОБЗОРНЫЙ АНАЛИЗ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН МАЛОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ	
Б.Х. Умаров, С.В. Суменков	379
ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 КВ	
В.О. Ушаков	383

ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕТЯХ С АКТИВНО-АДАПТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ (РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ) ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ	
В.О. Ушаков	386
ТРАНСФОРМАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ	
М.К. Фальков.....	390
НОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВА ROTOTEC LT 29240, АРМИРОВАННЫЕ ЧАСТИЦАМИ TiNi	
Р.С. Федорцов, П.А. Быков, И.Е. Калашников, Л.И. Кобелева, Р.С. Михеев.....	392
НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ АНАЛИЗА ПРОЛИВАЕМОСТИ ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПЛАСТИКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ В ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФОРМЫ	
Е.С. Федутинов, Н.Н. Татарников, А.Д. Чернышев	397
НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В РАБОТЕ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ	
А.Э. Хайруллина	402
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ	
А.Э. Хайруллина	405
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ	
И.С. Хасаншин, Л.В. Фетисов	408
РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОВРЕЖДЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК С ПИТАНИЕМ ОТ СОЛНЕЧНЫХ МИНИ-СТАНЦИЙ	
А.Р. Хисамов, З.И. Фахрутдинов.....	412
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ	
А.Р. Хисамов	416
КОМПЛЕКСНАЯ НАЛАДКА ОБОРУДОВАНИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ОБЪЕКТАХ	
М.А. Хомутов	419
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ В СКЛАДСКОМ КОМПЛЕКСЕ ОАО «РЖД»	
Е.Ю. Царегородцева, Л.С. Еременко	422
ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ РЕГЕНЕРАЦИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ	
Р.Э. Чеботарев	427
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	
М.М. Шамеева, Ю.А. Аверьянова.....	430
БОЕВАЯ ОДЕЖДА ПОЖАРНЫХ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ	
Д.С. Шапошник, А.А. Гуляева	434

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ	
Д.С. Шапошник, Д.В. Фролов	443
ИСТОРИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
Д.С. Шапошник, А.А. Гуляева	452
ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ КОРОБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ	
С.Д. Шеховцов	462
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ ШТАМПОВКИ	
С.Д. Шеховцов	465
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА С НЕЗАМКНУТОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПЬЮ	
В.А. Шорин, И.Е. Новиков.....	468
О КУРСЕ «ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН» ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ	
В.А. Шорин, В.М. Сергеев.....	472

Научное издание

ИННОВАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ТРАНСПОРТЕ

Статьи публикуются в авторской редакции

Ответственный за выпуск – начальник
Межотраслевого научно-информационного центра
Е.А. Галиуллина
Компьютерная верстка **Масловой Т.В.**

Дата подписания к публикации 07.04.2026

Учетно-издательские листы 27,05

Межотраслевой научно-информационный центр Пензенского государственного аграрного университета. 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30,

<https://mnisc.pgau.ru>; mnisc@pgau.ru;

телефоны редакции: тел.-факс. (841-2) 62-90-60, +7 967 442-60-42

ISBN 978-5-00196-423-0



9 785001 964230 >