ЗАЯВЛЕНИЕ

на участие в конкурсе «Ректорские гранты для молодых кандидатов наук и аспирантов»
Номинация «Аспирант»

Я, Полежаев Максим Николаевич

прошу принять к рассмотрению проект:

Предиктивный анализ показателей критических событий в дорожной среде с помощью модели нейронной сети с трансформером

О себе сообщаю следующие персональные данные, необходимые для участия в Конкурсе:

Почтовый адрес с индексом:	г. Пенза, ул. Пушкина, д. 43, 440008
Контактный телефон:	+7-937-406-61-91
Адрес электронной почты:	max.polezhaev.01@mail.ru
Образование, наименование вуза и год окончания обучения	Высшее профессиональное: магистр, Пензенский государственный университет, 2025 год
Ученая степень	
Ученое звание	
Область научных интересов https://science.pnzgu.ru/norm_acts	код OECD: 1.02 Компьютерные и информационные науки код ГРНТИ: 20.15.05 Информационные службы, сети, системы в целом
Показатели	
Publons (ResearcherID)	
Author ID Scopus	
ORCID ID	*0009-0002-1068-7902*
Author ID РИНЦ	
Публикации, шт.: РИНЦ	*3*
ВАК	*1*
RSCI	
SCOPUS	
WOS	
Отраслевые/тематические базы данных публикаций	

С Положением о Конкурсе «Ректорские гранты для молодых кандидатов наук и аспирантов» Пензенского государственного университета ознакомлен. С условиями Конкурса и предоставления гранта согласен.

В случае признания победителем Конкурса даю согласие на информирование общественности о проекте.

Достоверность информации, предоставленной в составе заявки на участие в Конкурсе «Ректорские гранты молодых кандидатов наук и аспирантов» Пензенского государственного университета, подтверждаю.

«___» _____ 2026г.

Руководитель проекта _____Финогеев А.Г.
(подпись / фамилия и инициалы)

Информация о проекте

Название проекта	Предиктивный анализ показателей критических событий в дорожной среде с помощью модели нейронной сети с трансформером
Характер НИР	*Прикладной*
Ключевые слова и словосочетания (не менее 5)	Безопасность дорожного движения, рекуррентная нейронная сеть, трансформер, механизм внимания, временной ряд, прогнозирование временного ряда, показатели аварийности
Код/коды ГРНТИ	20.15.05 Информационные службы, сети, системы в целом
Код/коды OECD	1.02 Компьютерные и информационные науки

Направление из Стратегии НТР РФ	Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования.

Информация об участнике	**Руководитель проекта:**
	Ф.И.О. (указать полностью) руководителя проекта
	Полежаев Максим Николаевич
	Дата рождения
	07.07.2001
	Городской (с кодом) или мобильный телефоны
	+7-937-406-61-91
	Адрес электронной почты
	max.polezhaev.01@mail.ru
	Кафедра, факультет, институт, специальность
	САПР, ФВТ, ПИ, 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика
	Исполнители проекта: (при наличии) (Ф.И.О.)

Содержание проекта:

Аннотация (не менее 0,3 стр.)	Одним из способов повышения безопасности дорожного движения является проактивный мониторинг критических событий с целью выявления и анализа причин дорожно-транспортных происшествий. Ретроспективный анализ показателей аварийности и причин их возникновения может быть выполнен на базе исследования последовательностей данных, представленных в виде набора временных рядов. Целью анализа является обнаружение и подтверждение корреляций между сегментами временных рядов показателей аварий разных типов и показателей факторов, которые могут способствовать рискам возникновения критических событий. Результаты анализа позволяются выполнить прогноз появления аналогичных паттернов временных рядов и их сочетаний в краткосрочной и среднесрочной перспективе. В статье рассматриваются вопросы применения нейронных сетей глубокого обучения для предиктивного анализа временных рядов. В качестве механизма прогнозирования анализа предлагается использовать модель рекуррентной нейронной сети с трансформером. Механизм внимания трансформера позволяет эффективно прогнозировать длинные временные ряды показателей аварийности и факторов влияния. Временные ряды формируются по данным, которые извлекаются с фоторадарных комплексов фото и видеофиксации в дорожно-транспортной среде. В процессе исследований разработана модель рекуррентной нейронной сети с трансформером и методика ее синтеза и глубокого обучения. Обучение модели проводилось на примере больших данных о зафиксированных проездах транспортных средств и нарушениях ими скоростного режима на различных участках автомагистралей.

Актуальность (не менее 0,5 стр.)	Современным трендом является развитие и использование технологий искусственного интеллекта для решения задач мониторинга и интеллектуального управления сложными пространственно-распределенными системами, включая модели нейронных сетей, методы интеллектуального и предиктивного анализа временных рядов, глубокого машинного обучения и систем принятия решений. Методы и технологии искусственного интеллекта обуславливает переход к проактивной концепции интеллектуального мониторинга и управления компонентами дорожно-транспортной инфраструктуры на основе обработки больших сенсорных данных. Концепция проактивного мониторинга и интеллектуального управления является основной моделью принятия решений практически во всех киберфизических системах, которые являются одним их основных компонент четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0». Модели глубоких нейронных сетей в данном проекте предполагается использовать для оценки рисков дорожно-транспортных происшествий, прогнозирования времени и мест возможных инцидентов на участках дорог для повышения безопасности движения, прогностического моделирования и оптимизации времени проезда и скорости движения обычных и беспилотных транспортных средств на маршрутах с множеством светофорных объектов, планирования и выбора оптимальных маршрутов для транспорта и т.д. Научная новизна заключается в синтезе, обучении и исследовании комплекса моделей глубоких нейронных сетей для прогнозирования рисков, моментов времени возможной активации инцидентов и метода определения локации инцидентов на участках дорог с учетом сочетания факторов влияния, а также в синтезе и исследовании метода управления

	компонентами дорожно-транспортной инфраструктуры на примере адаптивных светофоров для определения оптимальных маршрутов движения с целью минимизации пробок и задержек, реализации режима «зеленой волны» при проезде транспортных средств через последовательность светофорных объектов и т.п. Научная значимость результатов состоит в синтезе новой нейросетевой модели глубокого обучения и методики предиктивного анализа движения транспортных средств для прогностической оценки времени и скорости движения на участках маршрута с учетом различных факторов с целью корректировки прогнозируемого времени прибытия обычного и беспилотного транспорта в зависимости от текущих условий дорожного движения. Научная и практическая значимость результата состоит в использовании разработанных нейросетевых моделей, методов глубокого обучения, пространственно-временного анализа, интерактивной визуализации результатов прогнозирования и других технологий искусственного интеллекта для использования в компонентах модернизированной платформы проактивного мониторинга с программно-инструментальными средствами управления безопасностью дорожного движения и рекомендательным механизмом помощи участникам дорожного движения, встроенным в навигационные системы. Интеллектуальные механизмы системы проактивного мониторинга необходимы для синтеза и передачи сигналов интеллектуальным транспортным системам и беспилотным транспортным средствам, а также для оповещения водителей транспортных средств о выборе оптимальных маршрутов с исключением потенциально опасных участков или о принятии мер предосторожности при движении по ним в критические интервалы времени. Методы искусственного интеллекта, а именно нейросетевое моделирование, машинное обучение и интеллектуальный анализ в проекте применяются для предиктивного анализа спектра временных рядов показателей инцидентов, нарушений и факторов влияния для выявления корреляционных связей и скрытых закономерностей возникновения инцидентов в зависимости от сочетания негативных факторов влияния, прогнозирования времени и вероятных локаций активации инцидентов, а также прогностического моделирования и расчета циклов множества светофорных объектов в городской дорожной среде для интеллектуального управления транспортными потоками. Объект исследований представляет собой пространственно-распределенную инфраструктуру с интеллектуальными компонентами дорожной среды и интеллектуальными транспортными системами, которые включают камеры видеонаблюдения, комплексы фото и видеофиксации, интеллектуальные датчики и счетчики, умные погодные станции, интеллектуальные светофоры и т.п. Актуальность решения проблемы подтверждается тем, что анализ процессов в городской транспортной системе необходим для выявления скрытых закономерностей возникновения инцидентов в зависимости от сочетания причин и факторов влияния. Она обусловлена тем, что рост дорожного трафика и активное внедрение беспилотных транспортных средств в будущем снижает эффективность функционирования городской транспортной системы, а именно, увеличивает время задержек и остановок, вероятность образования заторов (пробок) особенно в часы пик, повышает расход топлива, увеличивает количество и риски дорожно-транспортных происшествий и нарушений правил дорожного движения. Результаты проектных исследований необходимы для решения задач

	интеллектуального управления транспортными и пешеходными потоками, интеллектуальными компонентами дорожной инфраструктуры, прогностического моделирования динамики критических событий, моментов времени их появления и определения их локаций на критических участках дорог для обеспечения безопасности дорожного движения. Актуальность проектных исследования подтверждается необходимостью внедрения цифровых и интеллектуальных технологий для мониторинга и управления в пространственно-распределенных системах и распределенной обработки больших данных и связана с текущим развитием и внедрением технологий искусственного интеллекта, особенно глубоких нейронных сетей в системы управления и поддержки принятия решений. Подтверждается ростом научно-исследовательской деятельности и публикационной активности в областях науки, связанных с разработкой и внедрением методов и технологий искусственного интеллекта. Универсальность разрабатываемых моделей, методов и технологий позволит применять их в различных территориально распределенных системах мониторинга и управления киберфизическими объектами и процессами.

Анализ современного состояния исследований в данной области	Предлагаемые в проекте модели и методы соответствует мировому уровню научных исследований, что подтверждается ростом числа научных публикаций по аналогичной тематике развития интеллектуальных систем мониторинга и управления типа «Умная энергетическая решетка» (Energy Smart Grid), «Умная дорога» (Smart Road), «Умный город» (Smart City) и т.д. Интеллектуальные системы разрабатываются на основе технологий распределенной обработки больших данных, нейронных сетей, интеллектуального анализа и машинного обучения, Интернет вещей и т.п. За последние годы появилось множество зарубежных публикаций, ведущихся в аналогичной области. Оценка рисков появления и развития критических событий в дорожно-транспортной среде является необходимым элементом управления безопасностью дорожного движения. Объективные и субъективные факторы влияния в особенности их опасные сочетания, которые приводят к возникновению ДТП, являются основной проблемой предотвращения аварий на участках дорог. В исследовании [Gatarić, Dragan & Ruskic, Nenad & Aleksić, Branko & Đurić, Tihomir & Pezo, Lato & Lončar, Biljana & Pezo, Milada. (2023). Predicting Road Traffic Accidents-Artificial Neural Network Approach. Algorithms. 16. 257. 10.3390/a16050257] представлены модели нейронных сетей для прогнозирования количества ДТП на дорогах, степени тяжести и размера материального ущерба в зависимости от объективных факторов, таких как длина участка дороги, вид рельефа, ширина проезжей части, объем трафика и скоростной режим на участке. Для прогнозирования аварий с учетом погодных условий, состояния ТС, дорожного покрытия и освещения также применяются методы машинного обучения, такие как деревья решений, случайный лес и логистическая регрессия [Vanitha, R. and M, Swedha, Prediction of Road Accidents using Machine Learning Algorithms (May 18, 2023). Middle East Journal of Applied Science & Technology (MEJAST), Volume 6, Issue 2, Pages 64-75, April-June 2023, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4460883]. В статье [Ayou, Meryem & Trardi, Youssef & Chakir, Loqman & Boumhidi, Jaouad. (2023). Data-driven traffic incident detection in urban roads based on machine learning algorithms. E3S Web of Conferences. 469. 10.1051/e3sconf/202346900102] в частности описываются алгоритмы машинного обучения для обнаружения

инцидентов с использованием машины опорных векторов (SVM), случайного леса (RF) и нейронной сети с долговременной краткосрочной памятью (LSTM). Помимо статистических моделей и методов машинного обучения в последнее время популярны модели нейронных сетей, которые показывают гибкость, высокую производительность, достаточную точность прогноза и возможность обобщения в процессе дорожно-транспортных исследований [Rusul, A., Hussein, D., Sohani, L., Saeed, A.B., 2019. Applications of artificial intelligence in transport: an overview. Sustainability 11 (1), 189, Pradhan, B., Sameen, M.I., 2020. Review of traffic accident predictions with neural networks. In: Laser Scanning Systems in Highway and Safety Assessment, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham, pp. 97–109]. Искусственные нейронные сети могут моделировать нелинейные функции для оценки параметров безопасности с возможностью оценки рисков аварий, выявления причин, определения времени и места инцидентов [Ahmed, A.A., Pradhan, B., 2019. Vehicular traffic noise prediction and propagation modelling using neural networks and geospatial information system. Environ. Monit. Assess. 191 (3), 190, Profillidis, V.A., Botzoris, G.N., 2019. Chapter 8 - artificial intelligence—neural network methods. In: Modeling of Transport Demand Analyzing, Calculating, and Forecasting Transport Demand, pp. 353–382]. . Задачи прогнозирования аспектов и параметров дорожного движения решаются путем выявления скрытых зависимостей и взаимосвязей в последовательностях входных данных и переменных, описывающих состояние ДТИ и окружающей среды. Авторы статьи [Mayura Yeole, Rakesh Kumar Jain, Radhika Menon, "Prediction of Road Accident Using Artificial Neural Network, International Journal of Engineering Trends and Technology, vol. 70, no. 3, pp. 151-161, 2022. Crossref, https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I2P217] приводят результаты сравнения качества прогнозирования с использованием нейронной сети с прогнозами, полученными статистическими методами на одном и том же наборе входных данных, описывающих погодные условия, загруженность дорог, параметры участков магистралей, временные характеристики инцидентов, состояние элементов инфраструктуры и т.д.

Проблема обнаружения ДТП обычно представляется как задача классификации дорожных событий и определения степени принадлежности критического события к аварии [Xie, T.; Shang, Q.; Yu, Y. Automated Traffic Incident Detection: Coping With Imbalanced and Small Datasets. IEEE Access 2022, 10, 35521–35540]. В работе [Dogru, N.; Subasi, A. Traffic Accident Detection Using Random Forest Classifier. In Proceedings of the 2018 15th Learning and Technology Conference (L&T), Jeddah, Saudi Arabia, 25–26 February 2018; pp. 40–45] для обнаружения ДТП используется модель случайного леса, которая способна объединять некоррелированные деревья решений для выбора качественного прогноза с лучшей производительностью, чем отдельное дерево решений. В статье [Зикратова Т. В., Зикратов И. А. Применение нейронной сети для обнаружения аварийно-опасных ситуаций на дорогах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. №2] рассмотрена задача прогнозирования вероятности возникновения ДТП в результате нарушений правил дорожного движения (ПДД) с использованием нейронной сети. Нейросетевая модель применяется для классификации ситуаций, которые возникают в результате нарушения ПДД, и определения опасных нарушений, которые могут привести к авариям. В работе [Ki, Y. Method for Automatic Detection

of Traffic Incidents Using Neural Networks and Traffic Data / Y. Ki, J. Kim, T. Kim, N. Heo, J. Choi, J. Jeong / IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 2018. – P. 184-188] представлен способ обнаружения ДТП в зависимости от изменения средней скорости транспортного потока и нарушений скоростного режима с использованием нейронной сети. В статье [Zhu, L., Guo, F., Krishnan, R., & Polak, J.W. (2018). A Deep Learning Approach for Traffic Incident Detection in Urban Networks. 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 1011-1016] предлагается использовать сверточную нейронную сеть (CNN) для автоматического обнаружения дорожных инцидентов в городе на основе данных о транспортном потоке. В ходе исследований модель CNN сравнивалась по эффективности с моделью многослойного персептрона (MLP) и показала результаты с более высокой частотой обнаружения и малым числом ложных срабатываний. Отметим, что точность обнаружения зависит от параметров трафика и пространственно-временных данных о дорожном движении [Ghahremannezhad, Hadi & Shi, Hang & Liu, Chengjun. (2022). Real-Time Accident Detection in Traffic Surveillance Using Deep Learning. 10.48550/arXiv.2208.06461].

В статье [Аламир Х. С., Заргарян Е. В., Заргарян Ю. А. Модель прогнозирования транспортного потока на основе нейронных сетей для предсказания трафика на дорогах // Известия ЮФУ. Технические науки. 2021. №6 (223)] рассматривается метод прогнозирования трафика с использованием различных моделей нейронных сетей, где наилучшие прогнозы получены с использованием модели многослойного персептрона. Результаты прогнозирования используются для снижения перегруженности дорожных магистралей в часы пик. Изменение параметров транспортных потоков во времени здесь представляется в виде временных рядов данных. Для прогноза временных рядов применяются нейронные сети для [Zhang, J. Prediction of urban expressway total traffic accident duration based on multiple linear regression and artificial neural network / J. Zhang, J. Wang, S. Fang // 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), 2019. – P. 503-510]. С временными рядами эффективно работают разновидности рекуррентных нейронных сетей, например, модели долговременной краткосрочной памяти (LSTM) [Дауб И.С. Обзор методов прогнозирования временных рядов с помощью искусственных нейронных сетей // StudNet. – 2020. – Т. 3. – № 10. – С. 247–257]. В частности, такие сети используются для прогностического моделирования временных показателей трафика [Polson, N.G. and Sokolov, V.O. (2017), “Deep learning for short-term traffic flow prediction”, Transportation Research Part C: emerging Technologies, Vol. 79, pp. 1-17].

В заключение отметим, что обзор научной литературы и существующих проектных исследований в данной области знаний показал, что существует ряд проблем, к которым относятся: недостаточность адекватных нейросетевых моделей для анализа больших сенсорных данных и глубинного анализа процессов в киберфизических системах, несовершенство технологий выявления скрытых закономерностей во временных рядах и журналах событий, учета влияния внешних факторов и случайных флуктуаций на поведение множества акторов в единой среде, сложность автоматизации принятия решений в управления множеством объектов в распределенных системах.

Цель и задачи проекта	Целью проекта является прогноз времени и числа ДТП на потенциально опасных участках с помощью нейросети. Для достижения поставленной цели в рамках проекта предполагается решение следующих задач: 1. Разработка модели рекуррентной нейронной сети с архитектурой трансформера. 2. Обучение модели на данных, аналогичных данным для прогноза, в форме временного ряда. 3. Прогнозирование временного ряда показателей с помощью заранее обученной модели и визуализация результатов прогноза.

Научная новизна	Научная новизна заключается в синтезе, обучении и исследовании комплекса моделей глубоких нейронных сетей для прогнозирования рисков, моментов времени возможной активации инцидентов и метода определения локации инцидентов на участках дорог с учетом сочетания факторов влияния. Научная новизна и значимость результата состоит в исследовании скрытых взаимосвязей критических событий и их причин с целью моделирования и прогностической оценки временных параметров и возможного местоположения аналогичных происшествий в дорожно-транспортной среде на основе расширенных наборов разнородных данных для обучения моделей. Также новизна состоит в разработке новых нейросетевых моделей, а также метода объяснения результатов модельного прогнозирования временных и количественных параметров событий и инцидентов в дорожной среде.
Предлагаемые подходы и методы, их обоснование для реализации цели и задач проекта	В качестве методологической основы исследования используются принципы системного анализа, технологии работы с большими данными, методы интеллектуального управления, технологии искусственного интеллекта, методы интеллектуального анализа (классификации, анализа временных рядов, кластеризации, многофакторного дисперсионного анализа, бенчмаркинга и др.), методы нейросетевого моделирования и прогнозирования, методы принятия решений и т.д. Объектом исследований является пространственно-распределенная дорожно-транспортная среда с сенсорными устройствами сбора данных и интеллектуальными компонентами для управления транспортными и пешеходными потоками. Предметом исследования являются нейросетевые модели для предиктивного анализа транспортных и пешеходных потоков, рисков происшествий и нарушений в дорожной среде, моментов времени реализации критических событий. Ранее для решения задачи прогнозирования была разработана модель рекуррентной нейронной сети с архитектурой трансформера. Основным ограничением модели является необходимость большой обучающей выборки, что определяет ее вычислительную сложность. Также недостатком является время обучения модели и число эпох, выделенных на обучение. Поэтому в ходе проектных исследований в рамках гранта предполагается доработать нейросетевую гибридную модель и выполнить ее экспериментальные исследования с целью определения ее оптимальной структуры и параметров для компенсации существующих ограничений. Новая модель будет представлять разновидность модели рекуррентной нейронной сети с трансформером, к которой добавлены несколько LSTM слоев и реализован механизм многоголового внимания в слоях трансформера. Предполагается разработать новую методику прогнозирования, которая будет включать последовательность этапов глубокого обучения и

экспериментального исследования модели для подбора ее структуры и параметров в процессе прогнозирования времени активации критических инцидентов в дорожно-транспортной среде. Результаты обучения и исследования вариантов модели необходимы для выбора и настройки ее оптимальной структуры с целью получения допустимой погрешности прогноза. Как показали ранее проведенные исследования в процессе работы над магистерской диссертацией на точность прогноза влияют такие параметры, как число эпох обучения, количество нейронов в выходных LSTM слоях, размер батча, использование техники ранней остановки, число голов в слоях внимания.

В данном проекте целью применения нашей модели нейронной сети является прогноз моментов времени, когда риски критических событий превысят допустимый уровень, а также определение места активации инцидента с учетом факторов влияния, сочетание и значения которых могут привести к авариям. Методика прогнозирования временных моментов вероятного наступления критических событий работает на основе данных о показателях факторов влияния.

Данные извлекаются из xml файлов, которые формируются в процессе сбора и консолидации информации о факторах. В проекте для анализа были выбраны показатели метеорологических факторов и эксплуатационного состояния дорожного покрытия. Временные ряды изменений этих показателей использовались для формирования обучающей и тестовой последовательностей данных. Результаты прогноза необходимы для оповещения и предупреждения участников дорожного движения, чтобы они смогли принять меры к безопасному управлению ТС на опасных участках и предотвратить возможные инциденты.

Для прогностической оценки рисков и определения моментов времени предлагается также разработать метод предиктивного анализа временных рядов показателей факторов влияния на базе модели нейронной сети глубокого обучения. Для повышения точности и производительности в исследовании предлагается использовать RNN модель с выходными LSTM слоями, дополненную модифицированным трансформером с механизмами многоголового внутреннего внимания (Multi-Head Attention). LSTM слои позволяют учитывать временные последовательности за счёт подмены многократных перемножений матриц на взвешенные суммы, что позволяет лучше обрабатывать и обобщать длинные последовательности данных. В предложенной модели будет реализовано три LSTM слоя, которые включают ячейки памяти для хранения информации и фильтры, которые позволяют использовать информацию из длинных последовательностей. Фильтры включают: а) входные фильтры, которые определяют, какие входные данные добавляются к состоянию ячейки, б) фильтры памяти, которые определяют, какая часть информации будет забыта, в) выходные фильтры, которые определяют, какая часть информации из ячейки используется для формирования выходного сигнала.

Так как RNN сеть с несколькими LSTM слоями не всегда может обработать слишком длинные временные ряды, то для повышения эффективности решено было добавить слой трансформера с механизмами многоголового внутреннего внимания. Механизм позволяет в процессе генерации выходных значений работать с любым элементом входных данных, так как устанавливает отношения между позициями элементов внутри последовательности и вычисляет соответствующее векторное представление. Интеграция трансформера с LSTM слоями позволит на этапе начальной обработки данных использовать модель трансформера, а

	на финальной стадии LSTM слои. Использование техники многоголового внимания в слоях внутреннего внимания кодировщика и декодера трансформера применяется для повышения быстродействия вычислений за счет параллельной обработки входных векторов данных в головах. Подготовку и исследование параметров временных рядов предполагается реализовать на языке Python в программной среде статистических вычислений R. Для обучения, тестирования и прогнозирования модель нейронной сети будет синтезирована с использованием фреймворка глубокого обучения TensorFlow, библиотек Keras – (высокоуровневый интерфейс для создания и обучения нейронных сетей), Tokenizer и pad_sequences для обработки входных данных, а также библиотеки Gensimc TensorFlow. Для обучения необходимо будет сформировать обучающий и тестовый наборы данных. В проекте наборы данных будут сформированы по результатам сбора показателей аварийности и факторов влияния в дорожной среде. Данные получены с фоторадарных комплексов фото и видеофиксации дорожных инцидентов и нарушений ПДД. Информация относится к большим данным, так как в процессе сбора фиксируется огромное число проездов ТС, нарушений ПДД, дорожных инцидентов и изменений других факторов влияния на множестве участков дорог. Например, только за июнь на 6 участках дорог Пензенской области зафиксировано 40843 ТС с 6856 нарушениями скоростного режима, 367 ДТП, включая 56 аварий с травмами. Модель и методика предиктивного анализа будет разработана для оценки и прогнозирования показателей аварийности и показателей факторов таких, как нарушения ПДД, погодные условия, состояние участков дорог и параметры транспортных потоков. Перед применением модели для реального прогнозирования в процессе работы над проектом будут проведены экспериментальные исследования после ее обучения и тестирования для оценки влияния вариантов ее структуры и параметров на временные затраты, точность и эффективность. Результатом является синтез оптимальной структуры модели и настройка параметров обучения для получения допустимой погрешности и времени прогноза. Научная новизна исследований состоит в том, что модель нейронной сети применяется не столько для прогноза риска аварий, показателей аварийности или степени тяжести, как это показано в большинстве аналогичных работ, а в основном для определения интервалов времени до момента предполагаемого наступления критических событий. Такие моменты фиксируются, когда значения показателей факторов влияния в прогнозируемой части временных рядов в совокупности или по отдельности приводят к резкому росту показателей аварийности или вероятности ДТП на конкретном участке дороги. Определение интервалов времени, предшествующих наступлению вероятного критического события, позволит создать ранние информационные оповещения водителей с целью предупреждения инцидентов за счет повышения их внимательности и осторожности. Участки дорог, на которых в процессе прогнозирования выявляются риски негативного изменения показателей факторов, обозначаются цветом как возможные места концентрации ДТП, что также используется для предупреждения участников дорожного движения.

Имеющийся у заявителя научный задел	1. Метод анализа и выбора совокупности наиболее существенных показателей факторов влияния, которые в прогнозируемые моменты времени могут привести к максимальному риску инцидентов для

по проекту	определения прогнозных моментов времени с превышением допустимого уровня рисков возникновения критических событий различных видов на участках дорог с цветовой визуализацией уровня рисков в данные моменты. Метод включает две методики, реализованные в виде алгоритмического и программного обеспечения для реализации проактивного подхода к мониторингу и анализу причин дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на объектах распределенной дорожной инфраструктуры, а именно: А) Методика определения моментов времени, когда на выбранных участках дорог уровень критичности возможных инцидентов превысит допустимый. Методика заключается в определении моментов времени и участков дорог, на которых уровень критичности инцидентов (вероятности рисков ДТП) превышает допустимый. Такие участки дорог определяются как вероятные места концентрации ДТП, а временные интервалы с повышенным уровнем критичности, как моменты вероятной активации критических событий. Для определения участков и моментов времени выполняется статистический и сравнительный анализ временных рядов показателей аварийности для различных типов ДТП на участках дорог с множеством временных рядов нарушений ПДД и других показателей факторов влияния, имеющих сильные корреляционные связи с рядами инцидентов. Б) Методика анализа и выбора совокупности наиболее существенных показателей факторов влияния, которые в прогнозируемые моменты времени могут привести к максимальному риску инцидентов для визуализации их на карте в прогнозируемые интервалы времени инцидентов. Основной проблемой применения метода определения прогнозных моментов времени с превышением допустимого уровня рисков возникновения критических событий на участках дорог решения является сложность решения задачи прогнозирования, так как для каждого участка дорог необходимо сформировать и проанализировать множество временных рядов для оценки показателей аварийности с учетом нарушений ПДД и других факторов влияния. На показатели аварийности часто оказывают влияние не отдельные факторы, а их сочетания. Поэтому сложность существенно возрастает, так как в процессе обучения и валидации модели необходимо синтезировать модель, способную обобщать длинные временные ряды на разных уровнях абстракции и выявлять скрытые зависимости показателей аварийности и сочетаний критических значений показателей факторов влияния. Таким образом обучение, тестирование и прогнозное моделирование следует проводить одновременно на всем спектре временных рядов При этом ряд факторов, например погодные условия, могут влиять на все участки дорог в выбранной зоне, и результаты их прогноза можно использовать для всех участков. Однако, есть факторы, которые влияют на показатели ДТП только в конкретных местах, например, параметры участка (уклоны, кривизна, повороты, состояние покрытия дороги и т.п.), что требует оценки влияния для каждого участки отдельно. Следует также учитывать корреляционную связь между нарушениями ПДД и факторами влияния, когда водители нарушают правила из-за влияния субъективных или объективных факторов. Например, параметры участка дороги, связанные с его прямолинейностью, отсутствием поворотов и уклонов, хорошая видимость и отличные погодные условия часто способствуют нарушению скоростного режима, снижению внимания водителей, что приводит вместо повышения безопасности к росту рисков ДТП. Поэтому задачей исследований является выявление скрытых связей между показателями

аварийности, нарушениями и факторами влияния. На основе анализа прогнозируемых изменений показателей и факторов, необходимо определить временные интервалы до момента, когда риски дорожных инцидентов превысят допустимые значения.

На данном этапе разработана и реализована методика попарного бенчмаркинга (сравнительного анализа) прогнозных фрагментов выбранных временных рядов существенных показателей с прогнозными фрагментами показателей аварийности на участках дороги. Результатом является отбор набора показателей факторов влияния для привязки к конкретным участкам дороги, которые по прогнозируемым показателям аварий разных типов являются возможными местами концентрации ДТП.

Результатом работы методики являются кластеры прогнозных фрагментов временных рядов показателей факторов влияния схожих с прогнозными фрагментами временных рядов показателей аварийности разных типов для каждого участка дорог, что позволяет для разных типов возможных аварий на конкретном участке визуализировать прогнозируемые факторы влияния, которые могут способствовать появлению ДТП данного типа. Данные результаты записываются в файл и в дальнейшем являются входными данными для привязки к местам возможных ДТП и отображению при выборе соответствующей метки на карте или опасного участка дороги в прогнозируемые моменты активации инцидентов, полученных в ходе решения второй задачи.

2. Метод и средства интерактивной визуализации архивных и прогнозных показателей критических событий и показателей факторов влияния на карте, которые включают:

А). Способ представления показателей инцидентов и факторов влияния в ретроспективные и прогнозные интервалы времени в виде изменений цветовой маркировки участков дорог в зависимости от степени рисков инцидентов.

Результатом предиктивного анализа спектра временных рядов показателей аварий и факторов влияния является определение прогнозных моментов времени, когда уровень риска появления инцидентов превысит допустимый уровень. Это позволяет выполнить цветовую маркировку участков дорог, которые ранее в ходе статистического и топографического анализа были отмечены как места концентрации ДТП, согласно степени их опасности в зависимости от вероятности риска ДТП в моменты времени до активации дорожного инцидента. Для представления показателей инцидентов и факторов влияния в ретроспективные и прогнозные интервалы времени в графическом виде применяется разработанный ранее метод представления фрагментов временных рядов в виде тепловых карт в привязке к местам концентрации аварий или к конкретным участкам дорог и пространственным зонам. Графический способ позволяет визуализировать временные ряды (часовые, дневные, суточные, месячные и т.д.) показателей критических событий путем представления интервальных значений временных рядов в виде изменений цвета.

Программные средства интегрированной платформы позволяют добавлять различные метки и описания на карту, показывающие не только показатели ДТП, но и дающие представление о факторах возможного влияния в виде неработающих объектов ДТИ, дефектов дорожного покрытия, загруженности дорог, погодных условий, изменений режимов движения и т.п.

Б) Способ визуализации опасных участков дорог или зон на карте с возможными критическими значениями показателей в прогнозные моменты времени.

Способ визуализации опасных участков дорог или зон на карте с возможными критическими значениями показателей в прогнозные моменты времени включает модели, алгоритмы и программные средств автоматического детектирования объектов дорожно-транспортной инфраструктуры (ДТИ), которые могут стать причинами аварий в выявленных местах концентрации ДТП, дефектов дорожного покрытия, а также других показателей факторов влияния для добавления их меток с описаниями на интерактивную карту. В качестве факторов влияния в проекте рассматривались: нарушения ПДД (на примере превышения скоростного режима), отсутствие или неправильное светофорное регулирование, отсутствие или неправильная установка дорожных знаков (на примере запрещающих знаков), отсутствие или повреждения дорожной разметки, нарушения эксплуатационного состояния дорожного покрытия, показатели сложных метеорологических условия движения. Для решения двух задач разработан способ автоматического детектирования, добавления на карту и визуализации объектов ДТИ и дефектов дорожного покрытия. Методы анализа и прогнозирования показателей метеорологических факторов и нарушений ПДД с визуализацией на карте были разработаны ранее на предыдущих этапах проектных исследований.

Также в ходе проектных исследований доработан метод и разработаны новые средства обнаружения, добавления и визуализации на карте дефектов дорожного покрытия.

В) Методика оповещения участников дорожного движения и выработки мер предупреждения водителей об опасности инцидентов заданных типов на участках дорог с недопустимыми уровнями рисков в критичные моменты прогнозного времени. На заключительном этапе исследований все разработанные в ходе проектных исследований модели, методы и методики реализуются в виде алгоритмического и программного обеспечения, которое включено в состав интеграционной платформы интеллектуальной транспортной системы (ИТС). Данная ИТС реализует проактивный подход к мониторингу и предиктивному анализу критических событий различных видов в пространственно-распределенных системах на примере дорожно-транспортной инфраструктуры посредством статистического, сравнительного и предиктивного анализа временных рядов показателей ДТП и множества факторов влияния, с целью определения возможных мест концентрации аварий, прогнозирования вероятностных рисков инцидентов и моментов времени, когда данные риски превысят допустимый уровень для предупреждения участников дорожного.

Предлагаемый в проекте метод прогнозирования временных рядов для определения моментов времени и места локализации возможных инцидентов на дорожных участках с помощью модели реккурентной нейронной сети с трансформером и мультиголовым механизмом внимания будет реализован в виде алгоритмического и программного обеспечения для разрабатываемой интеллеатуальной платформы проактивного мониторинга. Данная платформа решает множество задач, в том числе:

а) Сбор и консолидация больших данных о показателях аварийности на участках дорог, причинах и возможных факторах влияния на риски совершения ДТП в местах их концентрации, включая нарушения ПДД, погодные условия, функциональность объектов ДТИ, эксплуатационное состояние участков дорог и т.д.

б) Статистический и пространственный анализ причин и факторов влияния на показатели аварийности сс детектированием мест концентрации ДТП, кластерный анализ участков дорог с оценкой их

	степени опасности на основе предиктивного анализа рисков возникновения критических событий различных типов для визуализации на карте. в) статистический и сравнительный анализ динамики изменения показателей аварийности и факторов влияния, представляемой в виде временных рядов, кластеризация схожих паттернов ретроспективных и прогнозных фрагментов временных рядов показателей аварийности и факторов влияния, с целью выявления корреляционных связей и скрытых закономерностей для определения существенных факторов влияния на показатели ДТП. г) прогнозирование временных рядов показателей аварийности и факторов с целью анализа и оценки вероятностных рисков ДТП на конкретных участках дорог и определения интервалов времени наиболее вероятных для аварий с учетом влияния совокупности факторов, комплекс значений которых в прогнозируемые моменты времени может привести к максимальной степени риска инцидентов. д) формирование интерактивной карты местности с добавленными в автоматическом режиме метками элементов ДТИ, проблемных участков дорожного покрытия, метками ДТП разных типов, показателей факторов влияния с привязкой к ним изображений и описания объектов, событий и инцидентов, а также визуализация изменений степени риска аварий посредством цветовой маркировки опасных участков дорог или зон на карте для оповещения участников дорожного движения и выработки мер предупреждения водителей об опасности инцидентов в прогнозируемые моменты времени на маршруте их следования.
Ожидаемые результаты	1. Модель рекуррентной нейронной сети с архитектурой трансформера, объединяющая ключевые элементы обеих архитектур, такие как слои LSTM и слои внимания. 2. Модель рекуррентной нейронной сети с архитектурой трансформера, обученная на данных в формате временного ряда, способная производить прогноз с большей точностью и производительностью, чем традиционные методы прогнозирования. 3. Программное приложение, пригодное для запуска заготовленных заранее обученных моделей и/или обучения новых на временных рядах. Приложение также должно визуализировать результаты прогноза. Приложение предполагается интегрировать в систему проактивного мониторинга дорожных событий.
Возможность практического использования ожидаемых результатов проекта в экономике и социальной сфере	Проектные исследования проводяться в рамках двух национальных проектов по обеспечению технологического лидерства РФ, а именно национального проекта «Промышленное обеспечение транспортной мобильности» и национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства». Результатами исследований являются нейросетевая модель, алгоритмы и программные средства для управления безопасностью дорожного движения, которые относятся к конкурентоспособной высокотехнологичной продукции, создаваемой с использованием критических транспортных технологий для различных сфер применения, в том числе для управления беспилотными и автономными транспортными средствами на основе сквозных технологий искусственного интеллекта, применяемых в социальной сфере и сфере общественной безопасности. Результаты проекта будут использованы для предиктивного анализ показателей критических событий в дорожной среде. Это включает в себя применение для интеллектуального и предиктивного мониторинга показателей на дорогах, анализа случаев ДТП на отдельных участках,

	выявление трендов, а также выявление неявных закономерностей в ходе прогнозирования. Предиктивная оценка рисков критических состояний на дорогах позволит повысить безопасность участников дорожного движения. Новые технологии интеллектуального управления транспортными потоками на основе использования моделей нейронных сетей глубокого обучения необходимы для обеспечения безопасности в городских агломерациях и на автомагистралях с участием обычных и автономных беспилотных транспортных средств. Результаты проектных исследований представляют собой создание и развитие новых систем мониторинга и управления с применением современных нейросетевых технологий искусственного интеллекта, которые относятся к высокотехнологичной продукции и новым технологическим инновациям.

Значения целевых индикаторов

№	Наименование	Значение, не менее	
		Номинация	
		Аспирант	Молодой кандидат наук
1	Число публикаций по результатам исследований:		
	1.1 в изданиях, индексируемых в РИНЦ	*2*	
	1.2 в российских научных журналах, включенных в перечень ВАК	*1*	
	1.3 в изданиях RSCI /Scopus /Web of Science	*1*	
	1.4 в изданиях, включенных в отраслевые/тематические базы данных (указать)		
2	Количество мероприятий по демонстрации и популяризации результатов проекта (участие в научных конкурсах, на выставках с экспонатами, в научных конференциях с докладами)	*1*	
3	Число заявок на объекты интеллектуальной собственности, поданные по результатам выполнения проекта	*1*	
4	Количество поданных заявок для участия в конкурсах на проведение научных исследований	*1*	

«____» _____ 202 г.

Руководитель проекта _____ ___(Финогеев А.Г.)

(подпись)