

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему

«Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик
конических соединений при сборке с анаэробными материалами»

ВКР магистра
ПГУ 1.1-15.04.05.03.00.00 ПЗ

Квалификация: магистр

Направление: 15.04.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных
производств

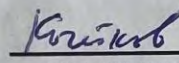
Профиль: Металлообрабатывающие станки

Автор: студент группы 24ММСм1


подпись и дата

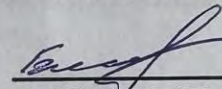
Демидов Д.Ю.
фамилия, инициалы

Руководитель:


подпись и дата

Кочетков Д.В.
фамилия, инициалы

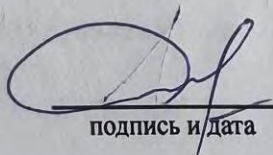
Нормоконтролер:


подпись и дата

Большаков Г.С.
фамилия, инициалы

Рецензент:

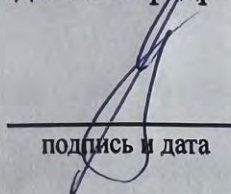
к.т.н., вед. конструктор
ООО КБ «ПУЛЬСАР-ТЕЛЕКОМ»


подпись и дата

Белашов М.В.
инициалы, фамилия

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры
от 11.06.2026 № 13)

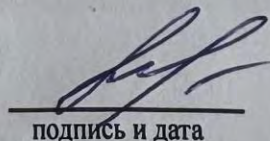
Заведующий кафедрой


подпись и дата

Зверовщиков А.Е.
фамилия, инициалы

Работа защищена с оценкой хорошо
(протокол ГЭК от 23.06.2026 № 4)

Секретарь ГЭК


подпись и дата

Истомина Ю.В.
фамилия, инициалы

Пенза 2026

УТВЕРЖДАЮ:
Зав.кафедрой, д.т.н., профессор

Зверовщиков А.Е.

«___» _____ 2026

ЗАДАНИЕ **на выпускную квалификационную работу магистра**

Студент гр.24ММСм1 факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта
Демидов Даниил Юрьевич, направление подготовки 15.04.05 – Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств.

1. **Руководитель ВКР:** доцент, к.т.н. Кочетков Д.В.
2. **Время представления и защиты ВКР:** с 04.06.2026 г. по 02.07.2026 г.
3. **Место практики:** ФГБОУ ВО Пензенский государственный университет, кафедра «Технологии и оборудования машиностроения», г. Пенза.
4. **Тема ВКР:** «Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик конических соединений при сборке с анаэробными материалами», тема утверждена приказом ПГУ №48/о от 26.01.2026.
5. **Исходные данные для выполнения ВКР**
 - 5.1. Тема предложена кафедрой «Технологии и оборудование машиностроения» Пензенского государственного университета.
 - 5.2. В работе необходимо исследовать эксплуатационные характеристики конических фрикционных соединений и определить влияние анаэробных материалов на характеристики соединений.
 - 5.3. Осуществить компьютерное моделирование функционирования конических соединений при действии осевой нагрузки и крутящего момента.
6. **Объем и содержание ВКР**
 - 6.1. **Текстовая часть**
 - 6.1.1. Анализ опыта применения, проектирования и методов обеспечения эксплуатационных характеристик конических соединений.
 - 6.1.2. Анализ производственных и литературных данных по применению анаэробных материалов при сборке соединений.
 - 6.1.3. Исследование эксплуатационных характеристик конических соединений методом конечных элементов при действии осевой нагрузки и крутящего момента.
 - 6.1.4. Анализ влияния анаэробных материалов на эксплуатационные характеристики конических соединений.
 - 6.1.5. Исследование факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики конических соединений.
 - 6.1.6. Рекомендации по применению анаэробных материалов при сборке конических соединений.
 - 6.1.7. Техника безопасности при работе с анаэробными материалами (герметиками).

Всего 70...100 страниц.

6.2. Иллюстративный материал к защите ВКР

- 6.2.1. Цель и задачи ВКР (1-2 слайда).
- 6.2.2. Анализ опыта применения, проектирования и методов обеспечения эксплуатационных характеристик конических соединений (3-5 слайдов, 1-2 листа А1).
- 6.2.3. Анализ производственных и литературных данных по применению анаэробных материалов при сборке соединений (1-2 слайда, 1-2 листа А1).
- 6.2.4. Исследование эксплуатационных характеристик конических соединений методом конечных элементов при действии осевой нагрузки и крутящего момента. Анализ влияния анаэробных материалов на эксплуатационные характеристики конических соединений (8-10 слайдов, 3-4 листа А1).
- 6.2.5. Исследование фрикционных характеристик конических соединений (1-2 слайда).
- 6.2.6. Техника безопасности при работе с анаэробными материалами (герметиками) (1-2 слайда).
- 6.2.7. Апробация работы (1 слайд).
- 6.2.8. Основные выводы и результаты работы (1-2 слайда).
- Всего 16...26 слайдов и 5-8 листов А1.

7. Дополнительные требования к содержанию разделов ВКР

- 7.1. Компьютерное моделирование деталей, соединяемых с натягом, выполнить с применением программного продукта SolidWorks. Исследование напряженно-деформированного состояния конических фрикционных соединений выполнить в программе SolidWorks Simulation.
- 7.2. В приложениях поместить материалы публикаций, презентацию и материалы графической части.

8. Календарный график представления и защиты ВКР

Наименование этапов работы	Объем работы в %	Срок выполнения	Подпись руководителя
1. Оформление текстовой части	60	08.06.2026	<i>Кочетков</i>
2. Оформление иллюстративного материала	20	10.06.2026	<i>Кочетков</i>
3. Подготовка ВКР к защите	20		
3.1 Окончательное оформление пояснительной записки и иллюстративного материала		12.06.2026	<i>Кочетков</i>
3.2 Направление ВКР на рецензирование		15.06.2026	<i>Кочетков</i>
3.3 Подготовка к защите ВКР		20.06.2026	<i>Кочетков</i>
4. Защита ВКР на заседании ГЭК		По графику защит	

Руководитель ВКР к.т.н., доцент *Кочетков* Д.В. Кочетков

Исполнитель: магистрант гр. 24ММСм1 *Демидов* Д.Ю. Демидов

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан ФПТЭТ д.т.н., профессор *Киреев* С.Ю. Киреев

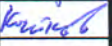
ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой
аттестации допустить

Реферат

Пояснительная записка ВКР содержит 67 страниц основного текста формата А4, 26 рисунков, 5 таблиц, 35 источников литературы и 4 приложения.

КОНИЧЕСКИЕ ФРИКЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ВАЛ, ВТУЛКА, ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРОЧНОСТЬ, ЖЕСТКОСТЬ, ОСЕВАЯ НАГРУЗКА, КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ, АНАЭРОБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ, МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

В пояснительной записке приведены обоснование актуальности темы выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации), объект и предмет исследования, цель, задачи и методы исследования, научная новизна и практическая значимость работы, апробация результатов (конференции, публикации); представлен анализ опыта применения, проектирования и методов обеспечения эксплуатационных характеристик конических соединений; представлены результаты исследования эксплуатационных характеристик конических соединений методом конечных элементов, а именно общие сведения о компьютерном моделировании конструкций методом конечных элементов, результаты исследования напряженно-деформированного состояния деталей конических соединений при действии осевой нагрузки собранных с применением анаэробных материалов и без него, результаты исследования напряженно-деформированного состояния деталей конических соединений при действии крутящего момента собранных с применением анаэробных материалов и без него; результаты исследования факторов, влияющих на функциональные

					ПГУ 1.1-15.04.05.03.00.00 ПЗ								
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик конических соединений при сборке с анаэробными материалами Пояснительная записка				Лит.		Лист	Листов	
Разраб.		Демидов Д.Ю.							В	К	Р	3	132
Пров.		Кочетков Д.В.											
Н. контр.		Большаков Г.С.							Кафедра «ТОМ», группа 24ММСм1				
Утв.		Зверовщиков А.Е.											

характеристики конических соединений, а именно определено влияние точности изготовления сопрягаемых поверхностей на их начальное базовое расстояние, определено влияние погрешности углов наружного и внутреннего конуса на прочность конических соединений, даны рекомендации по применению анаэробных материалов при сборке конических соединений; рассмотрена технология нанесения анаэробных материалов и техника безопасности при работе с ними.

Графическая часть содержит:

1. Лист формата A1 – Опыт применения и обеспечения характеристик соединений с натягом в машиностроении (Теоретический чертеж);
2. Лист формата A1 – Конические соединения и его несущая способность (Теоретический чертеж);
3. Лист формата A1 – Анализ свойств анаэробных материалов (Теоретический чертеж);
4. Листы форматов A1 и A2 – Исследование НДС деталей конических соединений при действии осевой нагрузки (Теоретический чертеж);
5. Листы форматов A1 и A1 – Исследование НДС деталей конических соединений при действии крутящего момента (Теоретический чертеж).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для вузов / И.А. Иванов, С.В. Урушев, Д.П. Кононов [и др.]; под редакцией И.А. Иванова, С.В. Урушева. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 365 с. : ил. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 25548-82 (СТ СЭВ 1779-79) Основные нормы взаимозаменяемости. Конусы и конические соединения. Термины и определения.
3. ГОСТ 53440-2009 (ИСО 1119:1998) Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Нормальные конусности и углы конусов.
4. Кайнова В.Н., Зимина Е.В., Кутяйкин В.Г. Метрологическая экспертиза и нормоконтроль технической документации: Учебно-методическое пособие / Под общ. ред. В.Н. Кайновой. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 500 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
5. Линейцев В.Ю., Ильиных В.А. Имитационное моделирование деталей конического соединения на основе РК-3 профильных кривых / В.Ю. Линейцев, В.А. Ильиных // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – №2 (46). – С. 51–55.
6. Ильиных В.А. Расчет и выбор конструктивных параметров профильных соединений с равноосным контуром. Автореферат дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. М.: МВТУ, 1987. –16 с.
7. Ким И.П., Калина А.А. Неразъемные соединения и соединения с натягом: Учебно-методическое пособие к решению задач по дисциплине «Детали машин» для студентов инженерно-технических специальностей (учебное электронное издание). – Минск.: БНТУ, 2010. – 86 с.
8. Бельков, В.Н. Прикладная механика. Расчет соединений деталей машин : учеб. Пособие / В.Н. Бельков, Н.В. Захаренков, Н.В. Захарова, И.Ю.

Лесняк ; под общ. ред. Н.В. Захаренкова ; Минобрнауки России, Ом. гос. техн. ун-т. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2021. – 252 с. : ил.

9. Замятин В.К. Технология и оснащение сборочного производства машино- приборостроения: Справочник / В.К. Замятин. – М.: Машиностроение, 1995. – 607 с. : ил.

10. Палей, М.А. Допуски и посадки: Справочник. Ч. 1 / М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – Санкт-Петербург : Политехника, 2011. – 530 с.

11. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. – М.: Машиностроение, 1990. – 368 с.

12. Биргер И.А. и др. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.

13. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т.2. – 8-е изд., перераб. и доп.; Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.

14. Иванов М.Н. Детали машин: Учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений. – 5-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 1991. – 383 с.

15. Воячек И.И. Интеграционное проектирование неподвижных соединений: монография / И.И. Воячек. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – 208 с.

16. Воячек И.И., Евстифеева Е.А. Рациональное обеспечение качества соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами // Сборка в машиностроении, приборостроении», 2007. – №12. – С. 16–18.

17. Воячек И.И., Евстифеева Е.А. Повышение качества соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами // Сб. статей VI международной научно-технической конференции «Проблемы качества машин и их конкурентоспособности». – Брянск: Изд-во БГТУ, 2008. – С. 169–170.

18. Повышение несущей способности конических соединений с натягом путем оксидирования деталей / Г.А. Бобровников, Н.С. Беляев, А.А. Ильяшенко и др. // Вестник машиностроения, 1977. – №8. – С. 14–16.

19. Воячек И.И., Евстифеева Е.А. Кочетков Д.В., Сенькин В.В. Влияние анаэробных материалов на контактную жесткость деталей, соединяемых с натягом // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM : сборник статей III Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2009. – С. 14–16.

20. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Племянников Д.М. Обеспечение характеристик соединений с натягом путем локального упрочнения при сборке с анаэробными материалами // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM: сборник статей VII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2013. – С. 8–13.

21. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Митясов С.Г. Обеспечение эксплуатационных характеристик соединений с натягом путем избирательного упрочнения при сборке с анаэробными материалами / Современные проблемы машиностроения: сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции / под ред. А.Ю. Арляпова, А.Б. Кима; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 23–26.

22. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Митясов С.Г. Применение анаэробных материалов для избирательного упрочнения соединений с натягом, нагруженных крутящим моментом // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM : сборник статей VIII Международной научно-

практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. – С. 11–15.

23. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Митясов С.Г. Рациональное обеспечение характеристик соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM : сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. – С. 40–44.

24. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Митясов С.Г. Избирательное упрочнение соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 2 (34). – С. 192–204.

25. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Вантеев А.Н., Фадеев Н.А., Баранов И.В. Распределение нагрузки в резьбогладком соединении при сборке с анаэробными материалами // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM : сборник статей XI Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2017. – С. 3–8.

26. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Вантеев А.Н., Фадеев Н.А., Баранов И.В. Рациональное обеспечение качества резьбогладких соединений, собранных с применением анаэробных материалов // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM : сборник статей XI Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2017. – С. 22–27.

27. Воячек, И.И. Избирательное упрочнение соединений с натягом при сборке деталей путем запрессовки / И.И. Воячек, Д. В. Кочетков, С.Г. Митясов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.

Технические науки. – 2018. – № 3 (47). – С. 113–123. – DOI 10.21685/2072-3059-2018-3-11.

28. I.I. Voyachek et al., "Rational Provision of Functional Properties of Interference Fit Joints in Case of Assembly with Implementation of Anaerobic Materials" / Igor IvanovichVoyachek, Denis ViktorovichKochetkov, Daynier Rolando Delgado Sobrino, Sergry G. Mityasov, Vladimir ZinovievichZverovschikov, Roman Ružarovský, Jakub Horník // Novel Trends in Production Devices and Systems V, Materials Science Forum, Publishing house: Trans Tech Publications, Switzerland, Vol. 952, pp. 123-132, 2019, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.952.123, ISSN: 02555476.

29. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Митясов С.Г., Шинкарев В.С. Технологическое обеспечение циклической прочности соединений с натягом, нагруженных изгибающей силой // Техника и технология современных производств : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. – С. 14–19.

30. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Водянов А.В., Баранов И.В. Исследование неподвижного соединения деталей со спиралевидным профилем сопрягаемых поверхностей // Материалы и технологии XXI века : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. – С. 24–29.

31. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Водянов А.В., Шинкарев В.С. Исследование влияния анаэробных материалов на эксплуатационные характеристики фрикционных соединений // Прогрессивные технологии в современном машиностроении. Композиционные строительные материалы. Теория и практика : сборник статей XIV Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. – С. 3–7.

32. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Баранов И.В. Исследование свойств неподвижного спиралевидного фрикционно-профильного соединения //

Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM : сборник статей XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2021. – С. 110–115.

33. Патент на изобретение RU 2747172 Способ соединения деталей с натягом / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, С.Г. Митясов : Заявка № 2019108418 от 10.04.2020, опубликовано 28.04.2021, Бюл. № 13.

34. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Баранов И.В. Исследование свойств неподвижного спиралевидного фрикционно-профильного соединения // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM : сборник статей XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2021. – С. 110–115.

35. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК, 2007. – 784 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ
КОНИЧЕСКИХ ФРИКЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ**

Д.В. Кочетков, А.М. Пучков, Д.Ю. Демидов

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,

г. Пенза, Россия

В статье представлены результаты исследования эксплуатационных характеристик конических фрикционных соединений при передаче осевой нагрузки. Установлено, что для повышения прочности соединения необходимо упрочнять участок, прилегающий к большему диаметру, например путем применения анаэробных материалов.

Ключевые слова: коническое фрикционное соединение, сборка, анаэробный материал, прочность, напряжение, перемещение.

В настоящее время при сборке различных технологических машин широко применяются соединения деталей с натягом (СН), которые положительно себя зарекомендовали при передаче осевой нагрузки и крутящего момента. Однако все же СН имеют и недостатки, связанные с тем, что натяг в соединении цилиндрических деталей в стандартных посадках изменяется до 4 раз, это вызвано не только условиями контактирования и трения деталей, но и допускаемыми изменениями действительных размеров вала и втулки. Что в свою очередь оказывает влияние на прочность при эксплуатации. Еще одним существенным недостатком является сам процесс сборки СН путем запрессовки [1–5].

В конических фрикционных соединениях (КФС) величиной натяга, а соответственно и прочностью можно управлять за счет осевого положения соединяемых деталей. Кроме того применение КФС позволяет обеспечивать

самоцентрируемость, быструю разборку и сборку, а также герметичность. Однако недостаточное количество проведенных исследований ограничивает области применения КФС в современном машиностроении.

При длительной эксплуатации обеспечение прочностных и других характеристик КФС может быть дополнительно достигнуто за счет сборки соединения с анаэробными материалами (АМ) [1–7].

Исходные данные при моделировании КФС (см. рисунок 1) представлены в таблице 1. Исследования КФС проводились методом конечных элементов в САЕ-системе *SolidWorks Simulation* [1–7].

Таблица 1 – Исходные данные при моделировании КФС

Наибольший диаметр соединения	$D_{\max} = 29$ мм
Наименьший диаметр соединения	$D_{\min} = 27$ мм
Наружный диаметр втулки	$D_1 = 50$ мм
Длина соединения	$l = 20$ мм
Величина натяга в соединении	$N = 0,048$ мм
Материал вала и втулки	сталь 30Х
Коэффициент трения в зоне контакта деталей	$f = 0,1$
Осевая нагрузка (давление на торцах вала) со стороны $D_{\max}$	$F_1 = 20$ МПа
Осевая нагрузка (давление на торцах вала) со стороны $D_{\min}$	$F_2 = 23$ МПа

Величина разного давления F_1 и F_2 , при исследованиях, обусловлена необходимостью задания одинаковой осевой силы, которая назначалась 60% от максимальной расчетной осевой нагрузки на соединение).

На рисунке 1 представлена схема нагружения КФС осевой нагрузкой F .

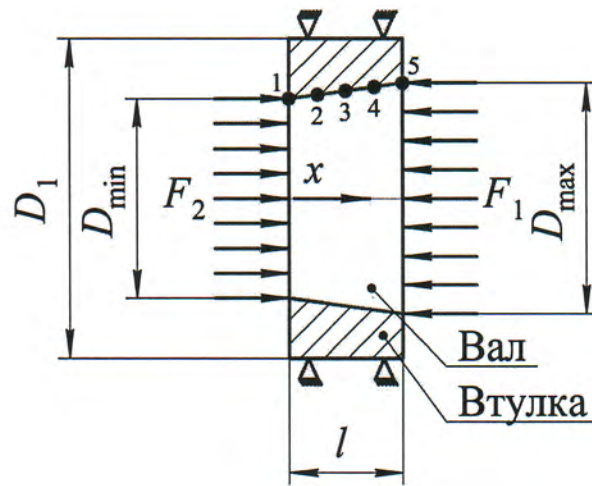


Рисунок 1 – Схема нагружения КФС осевой нагрузкой F

Построение трехмерных моделей деталей вала (рисунок 2, а) и втулки (рисунок 2, б), а также сборка КФС (рисунок 2, в) выполнялась в САД-системе *SolidWorks*.

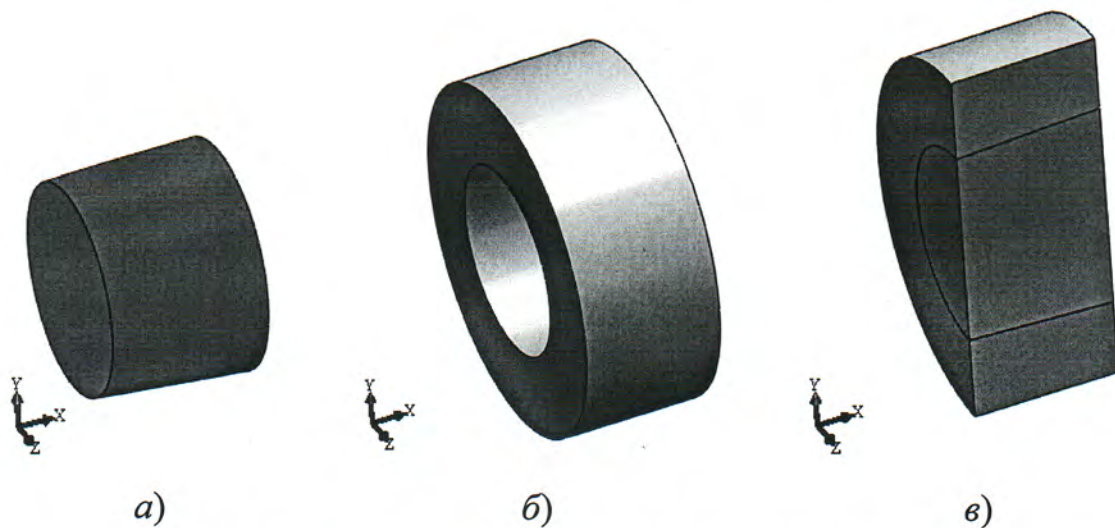


Рисунок 2 – Трехмерные модели деталей и сборка КФС

На рисунке 3 показана 3D-модель КФС и граничные условия: фиксация втулки по диаметру D_1 , осевая нагрузка приложена к валу со стороны меньшего диаметра $D_{\min}$. Также проводились исследования соединения при приложении осевой нагрузки к валу со стороны большего диаметра $D_{\max}$.

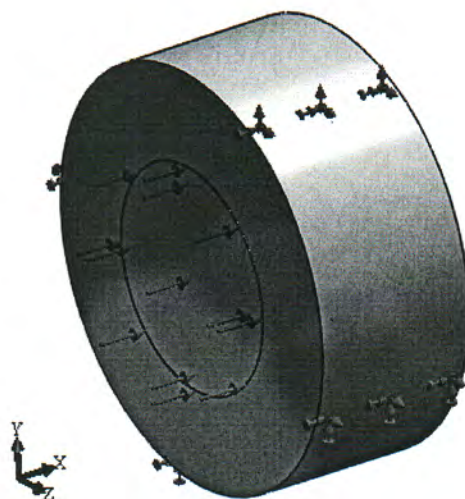
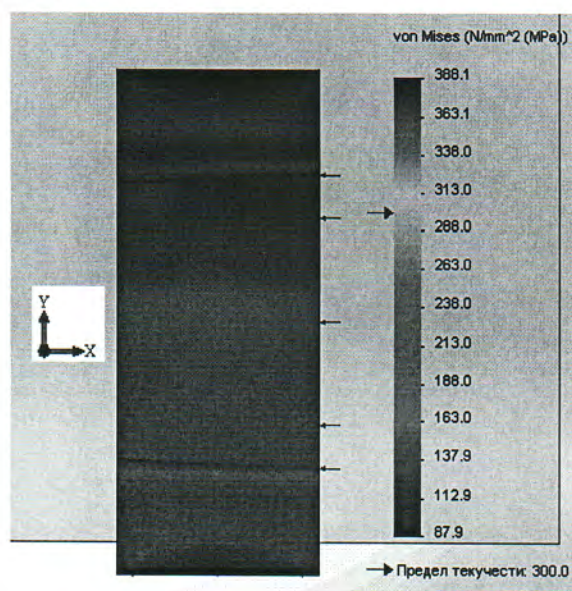
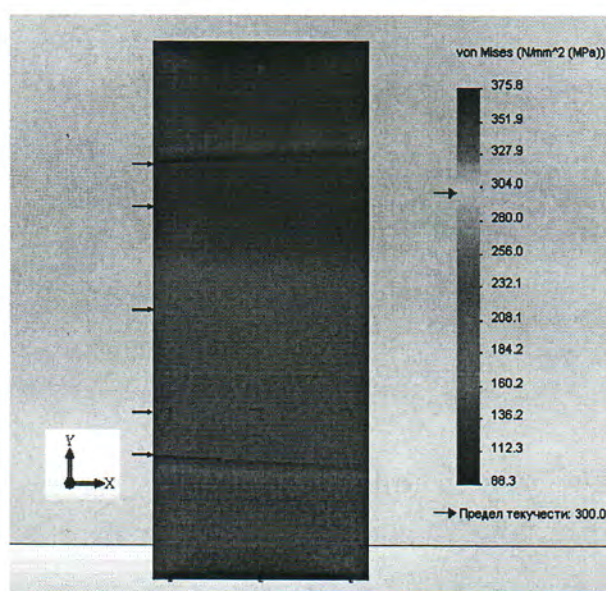


Рисунок 3 – Расчетная модель

Определялись суммарные напряжения по Мизесу по длине соединения (рисунок 4).



а)



б)

Рисунок 4 – Суммарные напряжения по длине КФС

Установлено, что после сборки втулка более напряжена, чем вал. Напряжения на втулке увеличивались на 2,3%, когда прикладывалась осевая нагрузка $F_1 = 20$ МПа (рисунок 4, а), что можно объяснить увеличением распорного усилия из-за клиновидности поверхности. И уменьшались на 3%, когда прикладывалась осевая нагрузка $F_2 = 23$ МПа (рисунок 4, б). При этом

суммарные напряжения на валу практически не меняются.

Также при исследовании КФС определялись перемещения по оси x по длине соединения (рисунок 5).

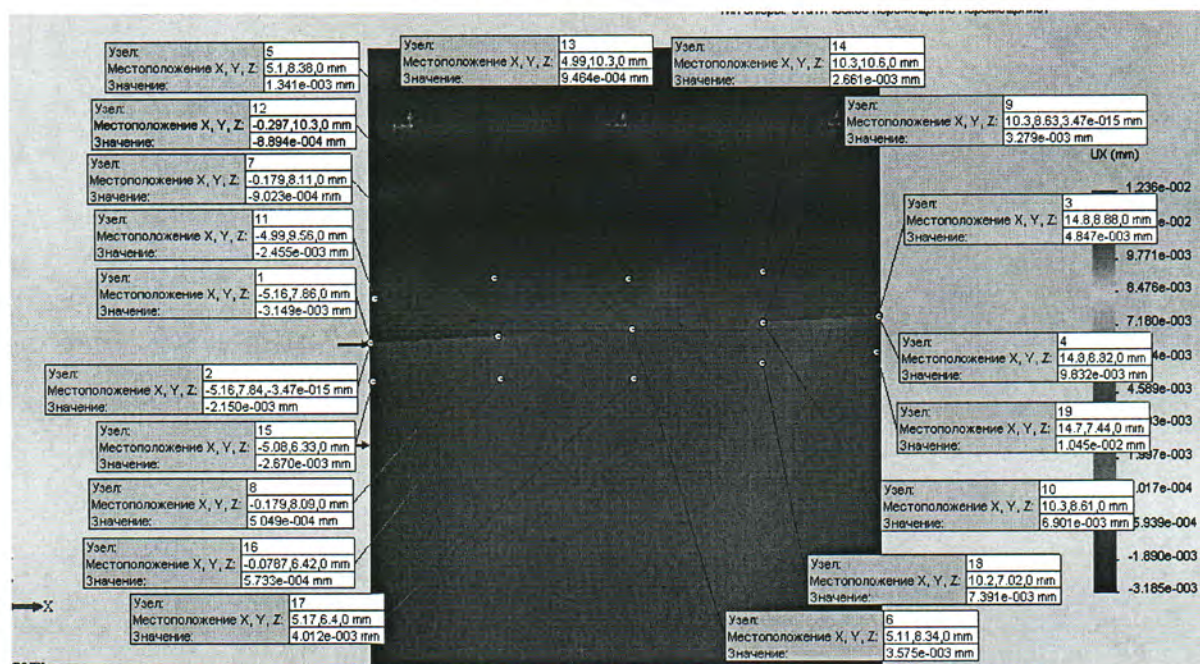


Рисунок 5 – Перемещения по оси x по длине КФС

Установлено, что при действии нагрузки F_1 или F_2 наиболее нагруженным участком КФС является участок со стороны большего диаметра $D_{\max}$ (точки 4 и 5 (рисунок 1 и 5)). Это связано с тем, что на участке со стороны меньшего диаметра $D_{\min}$ контактное давление выше.

Таким образом, для повышения прочности соединения необходимо упрочнять участок, прилегающий к большему диаметру, например с помощью АМ [1–7].

Список использованных источников

1. Воячек И.И. Новая методика проектирования соединений с натягом при применении упрочняющей технологии / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, А.Д. Тарханов, Ю.В. Истомина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2024. № 4. С. 118–129. DOI: 10.21685/2072-3059-2024-4-10, EDN: YLYJST.

2. Воячек И.И. Избирательное упрочнение соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, С.Г. Митясов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2015. № 2 (34). С. 192–204. EDN: UISFNF.

3. Воячек И.И. Избирательное упрочнение соединений с натягом при сборке деталей путем запрессовки / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, С.Г. Митясов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2018. № 3 (47). С. 113–123. DOI: 10.21685/2072-3059-2018-3-11, EDN: VBGEON.

4. Воячек И.И. Технологическое обеспечение циклической прочности соединений с натягом, нагруженных изгибающей силой / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, С.Г. Митясов, В.С. Шинкарев // Техника и технология современных производств: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. С. 14–19. EDN: ZTOMST.

5. Кочетков Д.В. Исследование прочности соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами / Д.В. Кочетков, И.И. Воячек, И. Шрим // Материалы и технологии XXI века: сборник статей XX Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2024. – С. 23–28. EDN: IBIJZD.

6. Воячек И.И. Особенности формирования контакта деталей при сборке спиралевидного фрикционно-профильного соединения / Воячек И.И., Кочетков Д.В., Грошев А.А. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4 (164). С. 32–41. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-32-41, EDN: CDMIPG.

7. Воячек И.И. Обеспечение функциональных свойств комбинированного резьбогладкого соединения при сборке с применением анаэробных материалов / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, О.А. Низов // Вестник Кузбасского

государственного технического университета. 2025. № 5 (171). С. 5–16. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-5-16, EDN: UDQUQI.

STUDY OF THE STRENGTH OF CONICAL FRICTION JOINTS UNDER AXIAL LOAD TRANSMISSION

D.V. Kochetkov, A.M. Puchkov, D.Yu. Demidov

Penza State University, Penza, Russia

This article presents the results of a study examining the performance characteristics of conical friction joints under axial load transmission. It was found that to increase joint strength, the area adjacent to the larger diameter must be reinforced, for example, by using anaerobic materials.

Keywords: conical friction joint, assembly, anaerobic material, strength, stress, displacement.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНИЧЕСКИХ ФРИКЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Д.В. Кочетков, Д.Ю. Демидов, А.М. Пучков

*ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,
г. Пенза, Россия*

В статье представлены результаты исследования эксплуатационных характеристик конических фрикционных соединений, собранных с применением анаэробных материалов и без них. Установлено, что прочность конических соединений при сборке с анаэробными материалами повышается.

Ключевые слова: коническое фрикционное соединение, сборка, анаэробный материал, крутящий момент, прочность, напряжение.

Применение конических фрикционных соединений (КФС) в современном машиностроении обусловлено рядом преимуществ, обеспечивается:

- самоцентрируемость;
- возможность регулирования зазора и натяга с помощью изменения осевого расположения деталей;
- быстрая разборка и сборка;
- герметичность и т.д.

Однако исследований эксплуатационных характеристик КФС проведено не достаточно, также практически отсутствуют исследования данного типа соединений при сборке с анаэробными материалами, которые, как известно [1–7] способствуют повышению прочности и жесткости различных соединений деталей машин.

Передача эксплуатационной нагрузки (осевое усилие, крутящий момент) у конических фрикционных неподвижных соединений деталей осуществляется за счет силы трения сопрягаемых поверхностей.

При длительной эксплуатации обеспечение прочностных и других характеристик КФС может быть достигнуто за счет сборки соединения с анаэробными материалами (АМ) [1–7].

Исследования проводились методом конечных элементов в САЕ-системе *SolidWorks Simulation*, наличие АМ в зоне контакта деталей учитывалось величиной коэффициента трения f [1–7].

Исходные данные при моделировании КФС (см. рисунок 1):

- $D_{\max} = 29$ мм; $D_{\min} = 27$ мм; $D_1 = 50$ мм; $l = 20$ мм;
- натяг в соединении – $N = 0,048$ мм;
- материал деталей сталь 30Х;
- крутящий момент $M_{\text{кр}} = 150$ Нм;
- коэффициент трения в зоне контакта деталей – $f = 0,1$ для соединений собранных без АМ и $f = 0,3$ с АМ.

На рисунке 1 представлена схема нагружения КФС крутящим моментом.

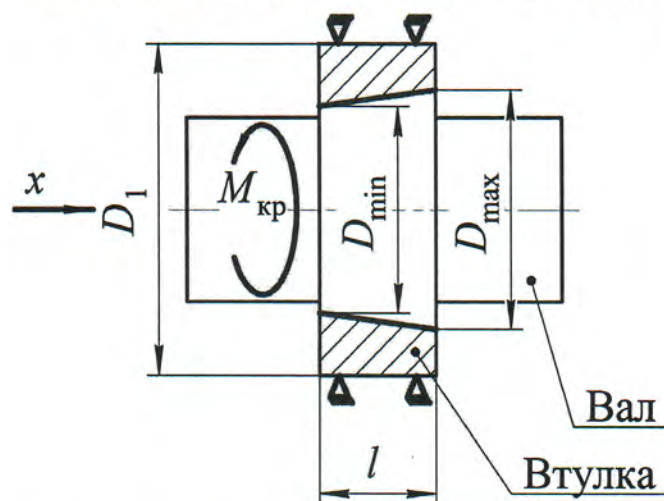


Рисунок 1 – Схема нагружения КФС крутящим моментом $M_{\text{кр}}$

Построение трехмерных моделей деталей вала (рисунок 2, а) и втулки (рисунок 2, б), а также сборка КФС (рисунок 2, в) выполнялась в САД-системе *SolidWorks*.

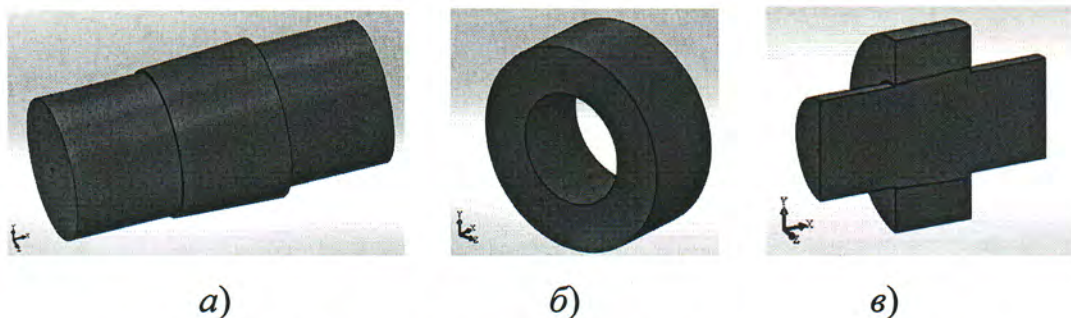


Рисунок 2 – Трехмерные модели деталей и соединения

На рисунке 3 показана 3D-модель КФС и граничные условия: фиксация втулки по диаметру D_1 , крутящий момент приложен к валу со стороны меньшего диаметра $D_{\min}$. Также проводились исследования соединения при приложении крутящего момента к валу со стороны большего диаметра $D_{\max}$.

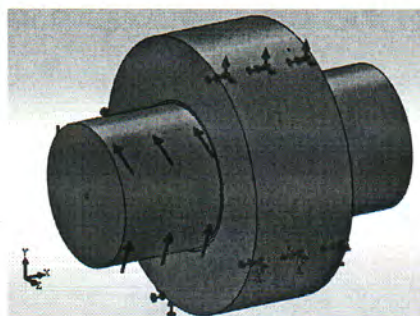
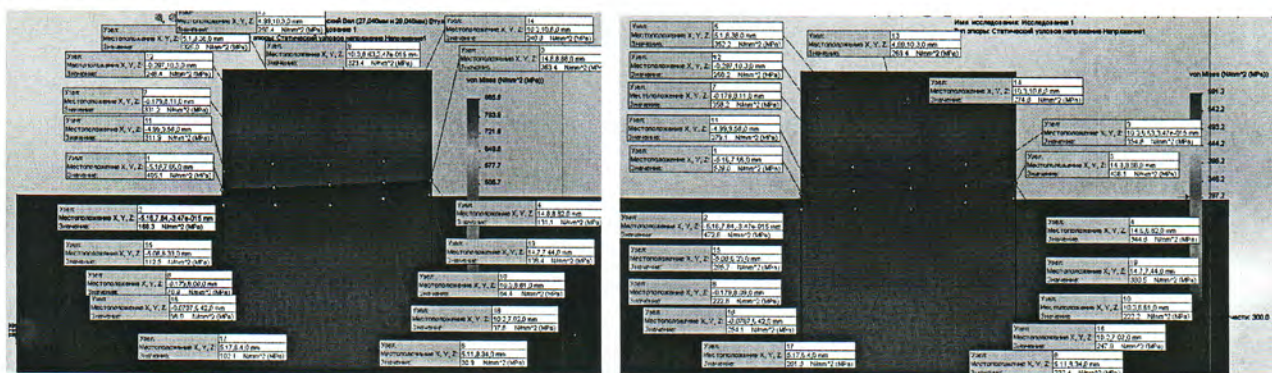


Рисунок 3 – Расчетная модель

Определялись суммарные напряжения по Мизесу по длине соединения (рисунок 4).



а) без АМ, $M_{кр} = 0$

б) с АМ, $M_{кр} = 150 \text{ Нм}$

Рисунок 4 – Суммарные напряжения по длине КФС

Таким образом, в работе исследовались следующие варианты сборки КФС:

- 1) сборка КФС без АМ ($f = 0,1$), $M_{кр} = 0$;
- 2) сборка КФС с АМ ($f = 0,3$), $M_{кр} = 0$;
- 3) сборка КФС без АМ ($f = 0,1$) с $M_{кр} = 150\text{Нм}$ (крутящий момент приложен к валу со стороны меньшего диаметра $D_{\min}$);
- 4) сборка КФС с АМ ($f = 0,3$) с $M_{кр} = 150\text{Нм}$ (крутящий момент приложен к валу со стороны меньшего диаметра $D_{\min}$);
- 5) сборка КФС без АМ ($f = 0,1$) с $M_{кр} = 150\text{Нм}$ (крутящий момент приложен к валу со стороны большего диаметра $D_{\max}$);
- 6) сборка КФС с АМ ($f = 0,3$) с $M_{кр} = 150\text{Нм}$ (крутящий момент приложен к валу со стороны большего диаметра $D_{\max}$).

Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы:

1. Установлено, что после сборки втулка более напряжена, чем вал; изменение $f = 0,1 \dots 0,3$ приводит к незначительному перераспределению напряжений: на втулке наблюдается увеличение на 5,1%, на валу – уменьшение на 15,7% (варианты сборки 1 и 2);

2. Установлено, что при приложении крутящего момента $M_{кр}$ напряжения существенно возрастают: на валу увеличиваются до 2,61...3,11 раза при $f = 0,1$ и до 2,86...3,19 раза при $f = 0,3$; на втулке возрастают до 1,08...1,31 раза при $f = 0,1$ и до 1,07...1,31 раза при $f = 0,3$ (варианты сборок 3...6);

3. Наибольшие суммарные напряжения возникают со стороны меньшего диаметра $D_{\min}$ (варианты сборок 3 и 4), это необходимо учитывать при проектировании КФС.

Таким образом, применение АМ при сборке КФС позволяет повысить прочность и жесткость соединений при длительной эксплуатации.

Список использованных источников



1. Воячек И.И. Новая методика проектирования соединений с натягом при применении упрочняющей технологии / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, А.Д. Тарханов, Ю.В. Истомина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2024. № 4. С. 118–129. DOI: 10.21685/2072-3059-2024-4-10, EDN: YLYJST.

2. Воячек И.И. Особенности формирования контакта деталей при сборке спиралевидного фрикционно-профильного соединения / Воячек И.И., Кочетков Д.В., Грошев А.А. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4 (164). С. 32–41. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-32-41, EDN: CDMIPG.

3. Воячек И.И. Избирательное упрочнение соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, С.Г. Митясов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2015. № 2 (34). С. 192–204. EDN: UISFNF.

4. Воячек И.И. Избирательное упрочнение соединений с натягом при сборке деталей путем запрессовки / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, С.Г. Митясов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2018. № 3 (47). С. 113–123. DOI: 10.21685/2072-3059-2018-3-11, EDN: VBGEON.

5. Воячек И.И. Обеспечение функциональных свойств комбинированного резьбогладкого соединения при сборке с применением анаэробных материалов / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, О.А. Низов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 5 (171). С. 5–16. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-5-16, EDN: UDQUQI.

6. Воячек И.И. Технологическое обеспечение циклической прочности соединений с натягом, нагруженных изгибающей силой / И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, С.Г. Митясов, В.С. Шинкарев // Техника и технология современных производств: сборник статей Всероссийской научно-практической

конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. С. 14–19. EDN: ZTOMCT.

7. Кочетков Д.В. Исследование прочности соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами / Д.В. Кочетков, И.И. Воячек, И. Шрим // Материалы и технологии XXI века: сборник статей XX Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2024. – С. 23–28. EDN: IBIJZD.

STUDY OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF CONICAL FRICTION JOINTS ASSEMBLED USING ANAEROBIC MATERIALS

D.V. Kochetkov, D.Yu. Demidov, A.M. Puchkov

Penza State University, Penza, Russia

This article presents the results of a study examining the performance characteristics of conical friction joints assembled with and without anaerobic materials. It was found that the strength of the conical joints increases when assembled with anaerobic materials.

Keywords: conical friction joint, assembly, anaerobic material, torque, strength, stress.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – ПРЕЗЕНТАЦИЯ



Министерство науки и образования РФ
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
Кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»

Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик конических соединений при сборке с анаэробными материалами

Автор: магистрант группы 24ММСм1 Демидов Д.Ю.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Кочетков Д.В.

Пенза, 2026 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ В – ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Намяз: $N=B-A$

Конусность может быть определена по формуле:

$$C = \frac{D - d}{L} = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

Угол уклона может быть определен по формуле:

$$y = \frac{D - d}{2L} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 0,5C$$
$$F_{oc} = p_a \pi d_{cp} l f_{oc}$$

Сила трения рассчитывается по формуле:

где p_a - номинальное давление на посадочной поверхности

Осевая сила реакции рассчитывается по формуле: $P_{\kappa} = p_a \pi d_{\text{ср}} l \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$

$$\frac{P''}{P'} = \frac{f_{oc} - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{f_{oc} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

Отношение сил сдвига находится по формуле:

И должно быть по возможности близко к 1

$$M_{\text{кр}} = \frac{\pi d_{\text{cp}}^2 l p_a f}{2}$$

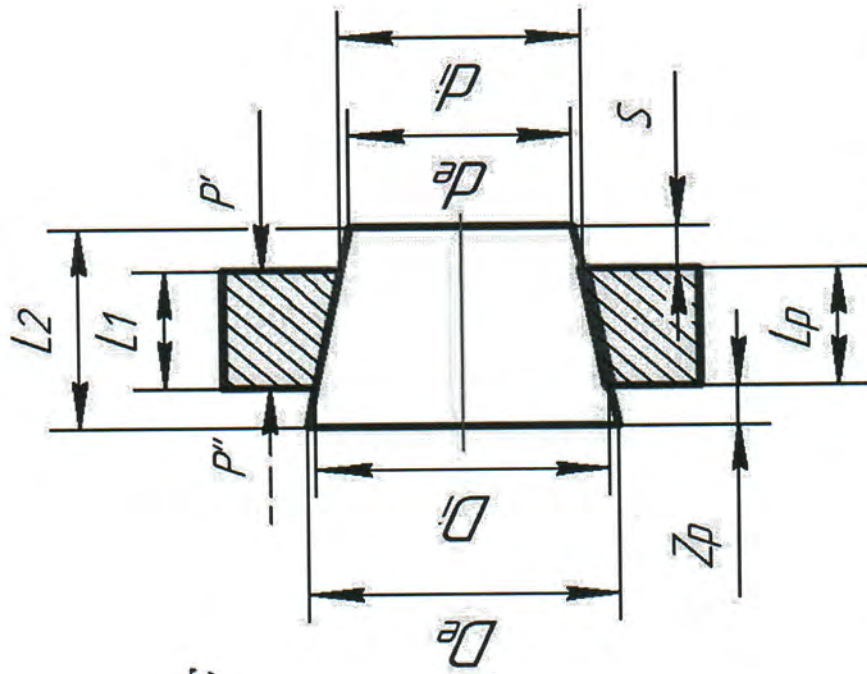
Крутящий момент находится по формуле:

Осевая сила необходимая для создания

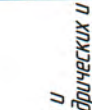
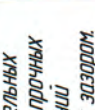
контактного давления обеспечивающего

передачу крутящего момента:

$$P_{oc} = P' = p_a \pi d_{cp} l \left(f_{oc} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) = \frac{2 M_{kp}}{d_{cp} f_{kp}} \left(f_{oc} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) = \frac{M_{kp} C}{d_{cp} f_{kp}} \left(\frac{f_{oc}}{\alpha} + 1 \right)$$



Области применения АМ при сборке
неподвижных соединений

Области применения	Эскиз соединения
Полупрессовые соединения; повышение их прочности и герметичности.	
Повышение прочности и герметичности цилиндрических и конических соединений с натягом, исключение дополнительных креплений, получение прочных неразъемных соединений при сборке деталей с зазором.	
Повышение эксплуатационных характеристик шпоночных шлицевых соединений.	
Повышение прочности и герметичности фланцевых соединений.	
Ремонт соединений.	

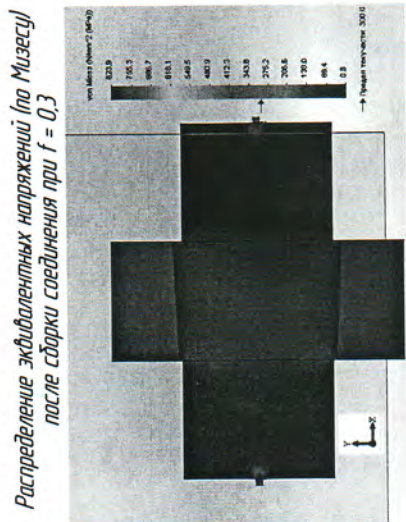
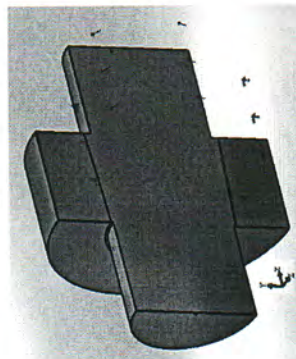
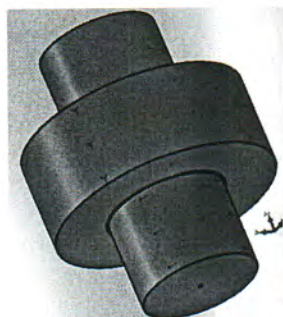


Очиститель (слева),
анаэробные материалы фирмы PERMABOND (в центре),
активатор (справа)

[illegible]

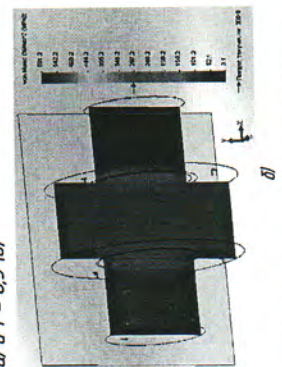
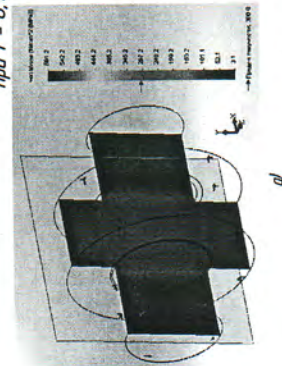
Значения эквивалентных напряжений (по Мизесу) в фиксированных точках после сборки соединения при $f = 0.1$ (a) и $f = 0.3$ (применение AM) (б)

Модели КФС с приложением крутящего момента со стороны меньшего Om_{in} (α) и большего Om_{ax} (δ)



Распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) после сборки соединения при $f = 0.1$

Распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) после сборки соединения при $f = 0,3$



Распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) при приложении крутящего момента со стороны меньшего диаметра $D_{\min}$ при $f = 0.1$ (a) и $f = 0.3$ (б)

[illegible]

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Ведомость ВКР

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u> <u>текстовая</u>		
A4					ПГУ 1.1-15.04.05.03.00.00 ПЗ	Пояснительная записка	132	
						<u>Документация</u> <u>графическая</u>		
A1					ПГУ 1.1-15.04.05.03.01.00 ТЧ	Опыт применения и обеспечения характеристик с натягом в машиностроении	1	
A1					ПГУ 1.1-15.04.05.03.02.00 ТЧ	Конические соединения и его несущая способность	1	
A1					ПГУ 1.1-15.04.05.03.03.00 ТЧ	Анализ свойств аналогичных материалов	1	
*					ПГУ 1.1-15.04.05.03.04.00 ТЧ	Исследование НДС деталей конических соединений при действии осевой нагрузки	2	*(A1, A2)
					ПГУ 1.1-15.04.05.03.00.00			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик конических соединений при сборке с аналогичными материалами Ведомость ВКР			
Разраб.	Демидов Д.Ю.							
Пров.	Кочетков Д.В.							
Н.контр.	Большаков Г.С.							
Утв.	Зверовицкий А.Е.				Лит. Лист Листов В К Р 1 2 Кафедра "ТОМ", группа 24ММСм1			

