



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический  
университет» (БГТУ)

Учебно-научный институт транспорта  
(наименование факультета/института)  
Трубопроводные транспортные системы  
(наименование кафедры, ответственной за реализацию дисциплины)

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор  
по учебной работе и цифровизации  
\_\_\_\_\_ В.А. Шкаберин  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**Трение и износ в машинах**

(наименование дисциплины)

**2.5.3 Трение и износ в машинах**

(код и наименование научной специальности)

**Технические науки**

(наименование отрасли наук)

**высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации**

(уровень образования)

**Очная**

(форма обучения)

**2022**

(год набора)

## Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине

**Трение и износ в машинах***(наименование дисциплины)***2.5.3 Трение и износ в машинах***(код и наименование научной специальности)*

Разработал:

Доцент кафедры «ТТС»,

к.т.н., доцент

*(должность, ученая степень, ученое звание)**(подпись)*

М.А. Измеров

*(И.О. Фамилия)*

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

**Трубопроводные транспортные системы***(наименование кафедры, ответственной за реализацию дисциплины)*

«30» марта 2022 г., протокол № 3

Заведующий кафедрой

д.т.н., доцент

*(ученая степень, ученое звание)**(подпись)*

М.Г. Шалыгин

*(И.О. Фамилия)*

© Измеров М.А., 2022

© ФГБОУ ВО «Брянский государственный  
технический университет», 2022

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Программа кандидатского экзамена предназначена для сдачи аспирантами кандидатского экзамена по специальной дисциплине «Трение и износ в машинах» по программе аспирантуры по научной специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

### 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОВЕДЕНИЯ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Цель кандидатского экзамена – установить глубину профессиональных знаний аспиранта, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

Основными задачами является оценка следующих знаний:

- основных трибологических закономерностей для решения конкретных конструкторских, технологических и эксплуатационных задач;
- принципов выбора материалов с необходимыми физико-механическими свойствами, степени точности, качества поверхности и условий эксплуатации деталей в подвижных соединениях;
- новейших методик расчета деталей машин и определения их оптимальных размеров, обеспечивающих прочность, долговечность и надежность в эксплуатации.

### 2. МЕСТО КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине «Трение и износ в машинах» является промежуточной аттестацией дисциплины «Трение и износ в машинах», относится к образовательному компоненту программы аспирантуры и реализуется на 4 курсе в 1 семестре.

### 3. ОБЪЕМ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Общая трудоемкость кандидатского экзамена по специальной дисциплине составляет 1 зачетная единица (36 академических часа).

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

#### 4.1. Структура программы кандидатского экзамена

Структура кандидатского экзамена представлена в виде тематического плана в таблице 2.

Таблица 2 – Тематический план кандидатского экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
1	Основы теории трения	<p><u>Основы теории трения</u></p> <p>Понятие о качестве поверхности. Топографические параметры. <u>Инженерия поверхности деталей машин.</u></p> <p>Связь показателей трения и износа с параметрами качества поверхности ее физико-механическими свойствами.</p> <p><u>Методы описания поверхности.</u></p> <p>Статистические методы, фрактальные свойства шероховатой</p>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
		поверхности.
2	Поверхность твердых тел и контактное взаимодействие.	<u>Явления на поверхности.</u> Адсорбция, адгезия, эффект Ребиндера. <u>Моделирование контактного взаимодействия.</u> Модель Гринвуда-Вильямсона. Модель Маджумдара. Контактная жесткость шероховатых поверхностей.
3	Трение.	<u>Общие положения теории трения.</u> Исторический аспект: Леонардо да Винчи, Амонтон, Кулон и их представления о трении. Трение без смазочного материала. Трение покоя, скольжения, предварительное смещение. Трение качения. <u>Моделирование трения.</u> Зависимости силы трения от скорости скольжения. Прерывистое движение элементов трибосистемы. Колебания систем с трением.
4	Смазка	<u>Смазка.</u> Основные понятия и определения. Теория Петрова и Рейнольдса. Кривая Штрибека и режимы смазки. Эластогидродинамическая смазка. <u>Смешанная смазка.</u> Граничная смазка. Трение в условиях избирательного переноса. Эффект безызносности. Жидкие, пластические и твердые смазочные материалы. Принципы выбора смазочного материала.
5	Износ.	<u>Основные понятия и определения.</u> Интенсивность изнашивания пар трения. Классы износостойкости. Кривые износа. Оценка надежности узлов трения. <u>Классификация видов изнашивания.</u> Абразивный износ. Адгезионный износ. Износ при фреттинг-коррозии. Усталостное изнашивание. Заедание в парах трения. Водородное изнашивание. Окислительное изнашивание.
6	Расчет и конструирование узлов трения.	<u>Расчет подшипников скольжения.</u> Условие работоспособности подшипника скольжения в условии жидкостного трения. Расчет подшипника в условиях граничной смазки. Виды отказов подшипников качения. Выбор смазочного материала для подшипников качения. Выбор подшипников. <u>Основы триботехнологии.</u> Методы оценки параметров качества поверхности трибоэлементов. Твердость поверхностного слоя и ее влияние на износостойкость. Метод нанесения защитных покрытий. Пленки на поверхностях трения. Материалы для атифрикционных и фрикционных узлов трения. Выбор композиционных материалов для разных узлов трения.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

### 5.1. Перечень основной, дополнительной и справочной учебной литературы:

#### *а) основная литература:*

1) Качество и износостойкость поверхностного слоя деталей машин: Учебное пособие / Д. Ю. Богомолов, В. В. Порошин, М. А. Измеров, В. П. Тихомиров. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. – 210 с. – ISBN 978-5-907205-89-5. [7 экз.]

2) Горленко, О. А. Прикладная механика: триботехнические показатели качества машин : Учебное пособие / О. А. Горленко, В. П. Тихомиров, Г. А. Бишутин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 264 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-02382-4. — Текст : электронный // Юрайт: электронно-библиотечная система.

3) Горленко, О. А. Трибология: методы моделирования процессов : Учебник и практикум / О. А. Горленко, В. П. Тихомиров, В. В. Порошин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 239 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-04911-4. — Текст: электронный // Юрайт : электронно-библиотечная система.

4) Пенкин, Н. С. Основы трибологии и триботехники: учебное пособие / Н. С. Пенкин, А. Н. Пенкин, В. М. Сербин. — 3-е изд., стереотип. — Москва: Машиностроение, 2021. — 208 с. — ISBN 978-5-907104-97-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

5) Караваев, Д. М. Трибология: учебное пособие / Д. М. Караваев. — Пермь: ПНИПУ, 2021. — 148 с. — ISBN 978-5-398-02480-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

#### *б) дополнительная литература:*

6) Шалыгин, М. Г. Изнашивание субшероховатости поверхностей трения в водородсодержащей среде / М. Г. Шалыгин. – Москва : Издательство "Инновационное машиностроение", 2018. – 92 с. – ISBN 978-5-6040794-6-1

7) Трибология автоколебаний / А. Ю. Албагачиев, М. И. Сидоров, М. Е. Ставровский [и др.]. – Москва: Эко-Пресс, 2022. – 270 с. – ISBN 978-5-6047081-7-0

8) Фундаментальные основы технологического обеспечения и повышения надежности изделий машиностроения / А. Г. Суслов, В. П. Федоров, О. А. Горленко [и др.]. – Москва: Издательство "Инновационное машиностроение", 2022. – 552 с. – ISBN 978-5-907523-04-3

#### *в) справочная литература:*

9) Жданов, А. Г. Основы триботехники наземных транспортно-технологических средств: / А. Г. Жданов, А. А. Свечников, В. А. Кожевников ; Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. – Москва : Федеральное государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования "Учебно-методический центр по образо-

ванию на железнодорожном транспорте", 2022. – 160 с. – ISBN 978-5-907479-08-1.

10) Доценко, А. И. Основы триботехники : Учебник / А. И. Доценко, И. А. Буяновский. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 336 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-014515-0.

## **5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для сдачи кандидатского экзамена:**

1. Единое окно доступа к информационным ресурсам (<http://window.edu.ru>).

2. Национальная электронная библиотека (<http://www.elibrary.ru>).

3. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» (<http://school-collection.edu.ru>).

4. Федеральный Интернет-портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru>).

5. Электронно-библиотечная система «IPRbooks» (<http://www.iprbookshop.ru>).

6. Электронно-библиотечная система «Лань» (<https://e.lanbook.com>).

7. Сайт ФГБУ Федеральный институт промышленной собственности <http://www1.fips.ru>.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

Для обеспечения проведения кандидатского экзамена имеется следующая материально-техническая база:

– учебная аудитория, оснащенная комплектом мебели и доской, для проведения консультаций и кандидатского экзамена;

– компьютерные классы с постоянным доступом к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также читальные залы научной библиотеки БГТУ для самостоятельной работы аспирантов.

## **7. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Проведение кандидатского экзамена для аспирантов с ограниченными возможностями здоровья проводится с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья.

При проведении промежуточной аттестации обеспечивается соблюдение следующих требований:

- для аспирантов из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья промежуточная аттестация проводится с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (далее - индивидуальные особенности);

- проведение мероприятий по промежуточной аттестации для лиц с ограниченными возможностями здоровья в одной аудитории совместно с аспирантами, не имеющими ограниченных возможностей здоровья, допускается, если это не создает трудностей для аспирантов;

- присутствие в аудитории ассистента, оказывающего аспирантам необходимую техническую помощь с учетом их индивидуальных особенностей (занять рабочее место, понять и оформить задание, общаться с преподавателем);

- предоставление аспирантам при необходимости услуги с использованием русского жестового языка, включая обеспечение допуска на объект сурдопереводчика, тифлопереводчика (в организации должен быть такой специалист в штате (если это востребованная услуга) или договор с организациями системы социальной защиты по предоставлению таких услуг в случае необходимости);

- предоставление аспирантам права выбора последовательности выполнения задания и увеличение времени выполнения задания (по согласованию с преподавателем);

- по желанию аспиранта устный ответ при контроле знаний может проводиться в письменной форме или наоборот, письменный ответ заменен устным.

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ АСПИРАНТОВ**

Сдача аспирантом кандидатского экзамена по специальной дисциплине «Трение и износ в машинах» относится к оценке результатов освоения дисциплины «Трение и износ в машинах», осуществляемой в рамках промежуточной аттестации.

Для приема кандидатского экзамена по специальной дисциплине создается экзаменационная комиссия. Регламент работы экзаменационной комиссии определяется Положением об экзаменационной комиссии и порядке приема кандидатских экзаменов в БГТУ.

### **Шкала оценивания**

Уровень знаний аспиранта определяется оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

### **Показатели и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Оценка «отлично» - аспирант дает полные, исчерпывающие и аргументированные ответы; грамотно использует научную терминологию; умеет связывать теорию с практикой, высказывать и обосновывать свои суждения. Во время экзамена аспирант должен подробно ответить на три вопроса экзаменационного билета.

Оценку «хорошо» - аспирант дает достаточно полные и аргументированные ответы; применяет научную терминологию, но при этом допускает ошибку или неточность в определениях, понятиях; умеет связывать теорию с практикой, высказывать и обосновывать свои суждения. Во время экзамена аспирант должен подробно ответить на три вопроса экзаменационного билета. Допускаются незначительные недочеты и неточности, которые аспирант исправляет самостоятельно в процессе беседы с экзаменационной комиссией.

Оценку «удовлетворительно» - аспирант дает неполные и слабо аргументированные ответы; допускает существенные терминологические неточности; частично аргументирует собственную позицию или точку зрения. Во время экзамена аспирант должен подробно ответить на один вопрос экзаменационного билета и частично на два других вопроса.

Оценку «неудовлетворительно» - отмечается отсутствие знания терминологии, научных оснований, признаков, характеристик рассматриваемой проблемы; не представлена собственная точка зрения по данному вопросу. Во время экзамена аспирант частично отвечает на вопросы.

## **8.1. Контрольно-измерительные материалы для промежуточной аттестации аспирантов**

### **8.1.1. Вопросы для промежуточной аттестации аспирантов**

1. Расчетные методы оценки износостойкости материалов при действии абразивных частиц.

2. Критический анализ расчетных методов оценки износостойкости материалов и деталей машин.

3. Энергетический метод оценки износостойкости материалов и его разновидности.

4. Контактное взаимодействие твердых тел. Дискретность контакта. Номинальная, контурная и фактическая площадь касания.

5. Сближение поверхностей под нагрузкой. Понятие о ненасыщенном и насыщенном контакте. Механика контактного взаимодействия твердых тел с шероховатыми поверхностями.

6. Дискретность контакта.

7. Микро- и макро-масштабный уровень рассмотрения характеристик дискретного контакта. Номинальная, контурная и фактическая площади касания.

8. Сближение поверхностей под нагрузкой. Понятие о ненасыщенном и насыщенном контакте. Механика контактного взаимодействия твердых тел с шероховатыми поверхностями.

9. Методы расчета фактической площади касания. Соотношения между фактическими площадями контакта и сближения контактирующих тел в неподвижном состоянии и при скольжении.

10. Экспериментальные способы определения фактических площадей касания и сближений.

11. Силы и коэффициенты внешнего трения. Определение сил и коэффициентов внешнего трения при упругих и пластических деформациях в зоне контакта.

12. Зависимости коэффициента внешнего трения от вида контакта, нагрузки, температуры, скорости скольжения, свойств материалов пары трения.

13. Классификация видов изнашивания. Количественные характеристики изнашивания. Износостойкость и классы износостойкости. Основные законо-



мерности изнашивания. Модели и кинетика разрушения фрикционного контакта.

14. . Влияние различных факторов на износостойкость. Изменение вида разрушения поверхностей при трении в зависимости от режимов работы (приработка, установившийся и форсированный режимы).

15. Полимерные и металлополимерные композиционные материалы для подшипников, опор скольжения, тормозов и муфт сцепления.

16. Внешнее трение. Основные положения и развитие теории внешнего трения. Виды фрикционного взаимодействия.

17. Трение скольжения, качения и верчения. Трение покоя. Предварительное смещение твердых тел при внешнем трении.

18. Механизмы диссипации энергии при фрикционном взаимодействии.

19. Физическое моделирование процессов трения, изнашивания и смазки. Трибологические системы.

20. Виды подобия в трибосистемах. Метод анализа размерностей и его использование при моделировании процессов трения и изнашивания.

21. Граничная смазка. Природа и строение граничных слоев. Закономерности процессов при граничной смазке.

22. Влияние смазочного материала, температуры, скорости скольжения, шероховатости поверхностей трения на процессы при граничной смазке.

23. Триботехнологии. Виды износостойких покрытий и упрочнения поверхностных слоев. Наплавка износостойких слоев.

24. Напыление износостойких покрытий из порошковых материалов. Лазерное упрочнение.

25. Жидкостная смазка. Виды жидкостной смазки: гидродинамическая, гидростатическая, гидростатодинамическая, эластогидродинамическая.

26. Гидродинамическая смазка. Основные уравнения теории гидродинамической смазки. Уравнение Рейнольдса и граничные условия.

27. Эластогидродинамическая смазка.

28. Принципы конструирования узлов трения различного назначения. Основы проектирования, подбора материалов и конструктивного оформления узлов трения.

29. Принцип геометрической оптимизации трибосистем.

30. Металлические материалы для узлов трения различного назначения.

31. Рекомендуемые области использования антифрикционных сплавов. Порошковые, керамические композиционные материалы для антифрикционных и фрикционных узлов трения.

32. Классификация смазочных материалов: по агрегатному состоянию, происхождению, способу получения, назначению.

33. Жидкие смазочные материалы. Состав, эксплуатационные свойства и ассортимент масел. Базовые масла.

34. Функциональные присадки, антифрикционные добавки к маслам. Пластичные смазочные материалы.

35. Состав, эксплуатационные свойства и ассортимент пластичных смазок. Твердые смазочные материалы.

36. Силы и коэффициенты внешнего трения.

37. Определение сил и коэффициентов внешнего трения при упругих и пластических деформациях в зоне контакта микронеровностей.

38. Цикл триботехнических испытаний. Испытательная техника для триологических испытаний и исследований пар трения.

39. Машины трения.