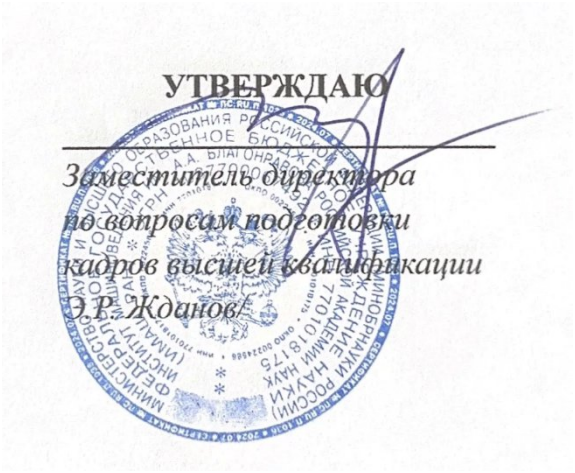
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук



ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
по специальности
2.5.3 «Трение и износ в машинах»

Москва
2026

1. Общие положения

Настоящая программа вступительного экзамена по научной специальности 2.5.3 «Трение и износ в машинах» (далее — Программа) разработана в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования — программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и определяет содержание, структуру и требования к уровню знаний поступающих.

Программа предназначена для лиц, поступающих в аспирантуру по научной специальности 2.5.3 «Трение и износ в машинах», а также для лиц, прикрепленных для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук в порядке экстерната, и распространяется на все формы обучения.

Целью вступительного экзамена является определение уровня теоретической подготовки и готовности поступающего к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы в области математического и программного обеспечения вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Программа разработана в соответствии со следующими нормативными правовыми актами и локальными документами:

- Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2014 № 975 «Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени кандидата наук и доктора наук в Российской Федерации» (в части научной специальности 2.5.3 «Трение и износ в машинах»);
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 11.10.2021 № 924 «Об утверждении паспорта научной специальности 2.5.3 «Трение и износ в машинах»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 12.01.2017 № 13 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования — программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;

- Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.03.2014 № 247 «Об утверждении Порядка прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечня»;
- Положение о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИМАШ РАН;
- Положение о кандидатском экзамене ИМАШ РАН.

Содержание Программы соответствует Паспорту научной специальности 2.5.3 «Трение и износ в машинах» и охватывает следующие основные направления научных исследований:

Знания и умения, формируемые в результате освоения настоящей Программы, являются базовыми для дальнейшего прохождения вступительных испытаний, зачисления в аспирантуру и успешной реализации индивидуального плана подготовки диссертационного исследования.

2. Форма и порядок проведения вступительного экзамена

Проведение вступительного экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Вступительный экзамен проводится в устной форме по билетам. Каждый экзаменационный билет включает два вопроса.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится 60 минут. Время на ответ не должно превышать 30 минут. При ответе на вопросы экзаменационного билета члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы. Во время заседания экзаменационной комиссии ведётся протокол в соответствии с установленным образцом (Приложение 1). Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии.

Уровень знаний оценивается по балльной шкале: отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно.

Оценка «отлично» присваивается аспиранту/соискателю в том случае, если его ответы на вопросы экзаменационного билета изложены последовательно, логично и без необходимости дополнительных пояснений со стороны экзаменаторов, при этом соблюдены все нормы научного стиля изложения как в устной, так и в письменной форме. Экзаменуемый должен продемонстрировать глубокое и системное знание теоретического и практического материала по дисциплине, способность к творческому применению полученных знаний для решения исследовательских задач, а также владение основным понятийным аппаратом своей научной специальности. Важным аспектом является умение аргументированно анализировать различные подходы к решению поставленной проблемы и подкреплять теоретические положения конкретными примерами из собственной научной практики, особенно при сдаче экзамена по специальной дисциплине.

Оценка «хорошо» выставляется, когда соискатель уверенно и последовательно излагает материал, демонстрирует хорошее понимание взаимосвязей между ключевыми процессами и явлениями в своей области,

однако допускает отдельные неточности в формулировках или испытывает затруднения при быстром структурировании ответа на дополнительные вопросы комиссии. При этом экзаменуемый показывает способность применять теоретические знания на практике, но его ответ может содержать незначительные погрешности, не искажающие общего смысла изложения и не свидетельствующие о пробелах в базовых знаниях.

Оценка «удовлетворительно» присваивается в ситуациях, когда ответы соискателя характеризуются неуверенностью, сбивчивостью или непоследовательностью изложения, а также при наличии нарушений норм научного стиля речи. Экзаменуемый демонстрирует знание программы экзамена в объёме, достаточном для продолжения работы по профессии, и способен справиться с выполнением основных практических заданий, однако его ответы содержат заметные погрешности, требующие корректировки под руководством преподавателя. При этом соискатель знаком с основной рекомендуемой литературой, но не всегда может свободно оперировать полученными знаниями в нестандартных ситуациях.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при наличии существенных пробелов в знаниях основных положений дисциплины, когда экзаменуемый не способен даже с помощью наводящих вопросов сформулировать корректные ответы на вопросы билета. Такая оценка также присваивается в случаях непонимания базовых концепций и терминологии, отсутствия целостного представления об исследуемом объекте или явлении, а также при невозможности применить теоретические знания к решению даже простейших практических задач.

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи вступительного экзамена.

3. Содержание экзамена

Модуль 1. Основы трибологии и механика контактного взаимодействия

- Предмет, задачи и методы трибологии. Внешнее и внутреннее трение.
- Физико-механические модели контактного взаимодействия шероховатых поверхностей.
- Эластопластическое деформирование микронеровностей. Фактическая площадь контакта.
- Молекулярно-механическая и энергетическая теории трения.

Модуль 2. Физика и механика изнашивания

- Классификация видов изнашивания: адгезионное, абразивное, усталостное, фреттинг-коррозия, гидроабразивное, кавитационное, коррозионно-механическое.
- Математические модели изнашивания (закон Ардарда и его модификации).
- Критерии износостойкости и безызносности. Процесс приработки трибосопряжений.

Модуль 3. Теория смазки и трибохимия

- Режимы смазки: граничное, смешанное, гидродинамическое и эластогидродинамическое (ЭГС).
- Уравнение Рейнольдса и гидродинамическая теория смазки. Кривая Стрибека.
- Трибохимические процессы в зоне контакта. Физико-химическая механика и роль поверхностно-активных веществ (присадок).

Модуль 4. Трибология машин и технологических процессов

- Специфика трения и износа в типовых сопряжениях: зубчатых передачах, подшипниках скольжения и качения, направляющих, уплотнениях.
- Трибологические аспекты технологических процессов: обработки резанием, пластическим деформированием (ОМД).
- Методы управления трением и износом: выбор материалов, нанесение износостойких покрытий, твердые смазки, текстурирование поверхностей.

Модуль 5. Методы испытаний и современные тенденции

- Конструкции трибометров, методы моделирования и лабораторных испытаний на трение и износ.
- Трибодиагностика технического состояния машин по продуктам износа.
- Современные разделы трибологии: нанотрибология, биотрибология, цифровые двойники трибосопряжений.
-

4. Перечень примерных вопросов для подготовки к экзамену

1. Предмет, задачи и основные разделы трибологии. Методы исследования трения и износа.
2. Молекулярно-механическая теория внешнего трения. Взаимное влияние молекулярной и механической составляющих.
3. Энергетическая теория трения и изнашивания. Связь диссипации энергии с разрушением поверхностных слоев.
4. Эластопластическое взаимодействие шероховатых поверхностей. Моделирование контакта (модели Герца, Гринвуда-Вильямсона).
5. Фактическая (контурная) площадь контакта и ее влияние на трибологические характеристики сопряжений.
6. Влияние смазочных материалов на коэффициент трения. Кривая Стрибека и режимы трения.
7. Гидродинамическая теория смазки. Уравнение Рейнольдса, условия образования несущего масляного слоя.
8. Эластогидродинамическая смазка (ЭГС) в сопряжениях с линейным и точечным контактом. Упругие деформации и пьезовязкость.
9. Граничное трение: структура граничных слоев, механизм действия и условия разрушения.
10. Физическая природа и механизмы адгезионного изнашивания. Методы борьбы с заеданием.
11. Абразивное изнашивание: модели микрорезания и микропластического деформирования, критерии износостойкости.
12. Усталостное изнашивание (контактная усталость) при трении качения. Механизмы образования питтинга и выкрашивания.

13. Фреттинг-коррозия и фреттинг-усталость в напряженных соединениях и подшипниках.
14. Коррозионно-механическое изнашивание. Совместное влияние агрессивных сред и механических нагрузок.
15. Гидроабразивный и газовый эрозионный износ: кинетика ударного взаимодействия, влияние угла атаки.
16. Закон Ардарда и его модификации для расчета интенсивности изнашивания в нестационарных режимах.
17. Физика процесса приработки деталей машин. Оптимизация режимов приработки для снижения износа.
18. Критерии износостойкости и безызносности трибосопряжений. Методы повышения долговечности.
19. Трибология зубчатых передач: специфика скольжения и качения, виды повреждений (питтинг, заедание, абразивный износ).
20. Трибология подшипников скольжения и качения. Влияние вязкости смазки и шероховатости на ресурс.
21. Трибология уплотнений (контактные и бесконтактные). Износ уплотнительных элементов и методы его компенсации.
22. Трибологические аспекты обработки материалов резанием. Износ режущего инструмента и методы его повышения.
23. Трибология кузнечно-штамповочных процессов и обработки металлов давлением (ОМД).
24. Антифрикционные материалы: баббиты, бронзы, металлокерамика, полимерные композиты.
25. Применение твердых смазочных материалов и износостойких покрытий (DLC, MoS2, нитриды).
26. Трибохимия: физико-химические процессы в зоне трения, образование трибопленок.
27. Влияние присадок к смазочным маслам (противоизносных, противозадирных) на трибологические характеристики.
28. Методы упрочнения и модифицирования поверхностных слоев (лазерная закалка, ионная имплантация, напыление).
29. Лазерное и механическое текстурирование поверхностей для управления трением и износом.
30. Конструкции трибометров и методы лабораторных испытаний на трение и износ (схемы "вал-колодка", "диск-диск", "шарик-диск").
31. Нанотрибология: масштабные эффекты, влияние углеродных нанотрубок и графена на трение.
32. Биотрибология: особенности трения, износа и смазки в естественных суставных сочленениях человека.
33. Цифровые двойники в трибологии: математическое моделирование и прогнозирование ресурса трибосопряжений.
34. Экологические аспекты трибологии: биоразлагаемые смазки, снижение энергетических потерь на трение.

35. Методы диагностирования износа машин по продуктам износа (спектральный анализ масла, феррография).

5. Список литературы для подготовки к экзамену

Основная литература:

1. *Бабичев А.П.* Трибология (трение, износ, смазка): учебное пособие. — М.: Машиностроение, 2020.
2. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника (износ и безызносность). — М.: Машиностроение, 2018.
3. *Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.* Трение и износ (расчетные методы). — М.: Машиностроение, 2019.
4. *Мичин В.С., Монахов А.В.* Основы трибологии. — М.: Форум-ИНФРА-М, 2021.
5. *Хамби Дж.* Трибология. Принципы и дизайн tribosystems. (Пер. с англ.) — М.: Машиностроение, 2022.

Дополнительная литература и периодические издания: 6. *Пажетнов К.Г. (ред.)* Трибология в машиностроении: современные достижения и проблемы. — СПб.: Политехника, 2021. 7. *Фролов А.А., Иванов В.С.* Контактное взаимодействие и износ деталей машин. — М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2020. 8. Научный журнал «Трение и износ» (издается с 1980 г., актуальные статьи за последние 5 лет). 9. Научный журнал «Трибология и смазка» (актуальные статьи по современным методам моделирования и нанотрибологии). 10. ГОСТ Р 52280-2004 «Трибология. Методы испытаний на износостойкость».

6. Примерные билеты

Каждый билет содержит два вопроса из раздела 2.

Билет № 1

1. Предмет, задачи и основные разделы трибологии. Методы исследования трения и износа.
2. Эластопластическое взаимодействие шероховатых поверхностей. Моделирование контакта.

Билет № 2

1. Молекулярно-механическая теория внешнего трения. Взаимное влияние молекулярной и механической составляющих.
2. Гидродинамическая теория смазки. Уравнение Рейнольдса, условия образования несущего масляного слоя.

Билет № 3

1. Энергетическая теория трения и изнашивания. Связь диссипации энергии с разрушением поверхностных слоев.
2. Эластогидродинамическая смазка (ЭГС) в сопряжениях с линейным и точечным контактом.

Билет № 4

1. Фактическая площадь контакта и ее влияние на трибологические характеристики сопряжений.

2. Граничное трение: структура граничных слоев, механизм действия и условия разрушения.

Билет № 5

1. Влияние смазочных материалов на коэффициент трения. Кривая Стрибека и режимы трения.
2. Физическая природа и механизмы адгезионного изнашивания. Методы борьбы с заеданием.

Билет № 6

1. Абразивное изнашивание: модели микрорезания и микропластического деформирования, критерии износостойкости.
2. Закон Ардарда и его модификации для расчета интенсивности изнашивания в нестационарных режимах.

Билет № 7

1. Усталостное изнашивание (контактная усталость) при трении качения. Механизмы образования питтинга и выкрашивания.
2. Фреттинг-коррозия и фреттинг-усталость в напряженных соединениях и подшипниках.

Билет № 8

1. Коррозионно-механическое изнашивание. Совместное влияние агрессивных сред и механических нагрузок.
2. Гидроабразивный и газовый эрозионный износ: кинетика ударного взаимодействия, влияние угла атаки.

Билет № 9

1. Физика процесса приработки деталей машин. Оптимизация режимов приработки для снижения износа.
2. Критерии износостойкости и безызносности трибосопряжений. Методы повышения долговечности.

Билет № 10

1. Трибология зубчатых передач: специфика скольжения и качения, виды повреждений (питтинг, заедание, абразивный износ).
2. Трибология подшипников скольжения и качения. Влияние вязкости смазки и шероховатости на ресурс.

Билет № 11

1. Трибология уплотнений (контактные и бесконтактные). Износ уплотнительных элементов и методы его компенсации.
2. Трибологические аспекты обработки материалов резанием. Износ режущего инструмента и методы его повышения.

Билет № 12

1. Трибология кузнечно-штамповочных процессов и обработки металлов давлением (ОМД).
2. Антифрикционные материалы: баббиты, бронзы, металлокерамика, полимерные композиты.

Билет № 13

1. Применение твердых смазочных материалов и износостойких покрытий (DLC, MoS2, нитриды).

2. Трибохимия: физико-химические процессы в зоне трения, образование трибопленок.

Билет № 14

1. Влияние присадок к смазочным маслам (противоизносных, противозадирных) на трибологические характеристики.
2. Методы упрочнения и модифицирования поверхностных слоев (лазерная закалка, ионная имплантация, напыление).

Билет № 15

1. Лазерное и механическое текстурирование поверхностей для управления трением и износом.
2. Конструкции трибометров и методы лабораторных испытаний на трение и износ (схемы "вал-колодка", "диск-диск", "шарик-диск").