

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

Трение и изнашивание механизмов, смазочные материалы

Учебно-методическое пособие

3-е издание, исправленное



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО

МГТУ им. Н.Э. Баумана

2026

УДК 621.89.017
ББК 34.41
Т66

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://press.bmstu.ru/catalog/item/8684/>

Факультет «Робототехника и комплексная автоматизация»
Кафедра «Основы конструирования машин»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебно-методического пособия*

Авторы:

*С.А. Поляков, Л.А. Андриенко, В.В. Лычагин, Е.М. Кулешова,
А.В. Медовщиков*

Трение и изнашивание механизмов, смазочные материалы :
Т66 учебно-методическое пособие / [С. А. Поляков и др.]. —
3-е изд., испр. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Бау-
мана, 2026. — 59, [5] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-6831-7

Представлены лабораторные работы по изучению методов и средств испытаний на триботехническую работоспособность конструкционных материалов при качении с проскальзыванием, по оценке потерь на трение и определению коэффициента полезного действия механической передачи в зависимости от режима работы на примере зубчатого, волнового и червячного редукторов.

Материалы по каждой работе содержат теоретическую и экспериментальную части, а также контрольные вопросы.

Для студентов, обучающихся по машиностроительным направлениям подготовки (уровень магистратуры).

УДК 621.89.017
ББК 34.41



Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте: press@bmstu.ru

ISBN 978-5-7038-6831-7

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026,
с изменениями
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026

Предисловие

«Трение и изнашивание механизмов, смазочные материалы» — одна из основных дисциплин, предусматривающих формирование у студентов знаний о физических причинах отказа оборудования машиностроения. Освоив данную дисциплину в рамках образовательной программы магистратуры машиностроительных направлений подготовки, студенты приобретут знания об основных положениях трибологии в машиностроении и принципах расчетов деталей и сопряжений на изнашивание. Эти знания и полученные навыки они могут применять при проектировании и эксплуатации объектов общего машиностроения.

Цель издания — обучение проведению лабораторных и стендовых испытаний и определение триботехнической работоспособности оборудования.

Пособие содержит теоретическую часть «Особенности проведения лабораторных испытаний процессов изнашивания» и четыре лабораторные работы по следующим направлениям:

- триботехнические лабораторные испытания материалов для зубчатых колес;
- стендовые испытания волнового редуктора для оценки энергоэффективности;
- стендовые испытания червячного редуктора для оценки энергоэффективности и причин механических потерь в червячной передаче;
- стендовые испытания для оценки влияния проскальзывания в эвольвентном зацеплении на коэффициент полезного действия зубчатой передачи.

В каждой лабораторной работе приведены краткие теоретические сведения по теме, описание используемой лабораторной установки, образцов, предназначенных для испытаний, а также указания о порядке выполнения работы, методике проведения испытаний и оценке образцов и форме отчета о выполнении. К каждой лабораторной работе даны контрольные вопросы, в конце издания — список рекомендуемой литературы.

Выполнение представленных лабораторных работ позволит студентам непосредственно ознакомиться с технологией испытаний и необходимым для этого оборудованием, понять методику

проведения лабораторных и стендовых испытаний для оценки триботехнической работоспособности, а также научиться адекватно ставить задачу испытаний и овладеть навыками их проведения.

Условием допуска к защите лабораторных работ является их выполнение студентами и предоставление заполненной формы отчета. Лабораторные работы защищаются по такому критерию, как наличие ответов на контрольные вопросы. Поскольку лабораторные работы травмоопасные, перед началом их выполнения студенты должны ознакомиться с требованиями техники безопасности, обязательными для соблюдения в помещении, где проводятся работы.

Особенности проведения лабораторных испытаний процессов изнашивания

Конструктивное оформление, размеры и кинематический тип сопряжения, как показывают многочисленные исследования, оказывают существенное влияние на процесс его изнашивания. В связи с этим при лабораторных испытаниях важно учитывать отличия, которые неизбежно возникают при моделировании в лаборатории эксплуатационных процессов изнашивания.

Используемые в практике триботехнических испытаний экспериментальные установки существенно различаются по размерам образцов, для испытания которых они предназначены. Существуют установки, габариты которых весьма велики — порядка сотен миллиметров, и малые настольные установки для испытаний образцов с размерами в несколько миллиметров.

При выборе размеров образцов имеют значение естественные ограничения с их верхней и нижней сторон. Анализ и обоснование выбора испытательных установок и возможности моделирования с учетом масштабных коэффициентов предусмотрены ГОСТ 23.224–86.

Методы и средства испытаний конкретной поверхности определяются задачей испытаний и уровнем изученности свойств этой поверхности. Подобное ранжирование позволяет с помощью более кратковременных и дешевых методов последовательно исключать материалы и технологии, требующие длительных испытаний и прямого сопоставления с условиями эксплуатации.

Согласно ГОСТ 23.224–86, установлены четыре группы методов испытаний.

Группа А. Сравнительные экспресс-испытания, сущность которых состоит в определении соотношения интенсивности изнашивания исследуемой и эталонной поверхностей, используемых при заранее установленных идентичных условиях. Испытания этой группы проводят в соответствии с ГОСТ 23.208–79, ГОСТ 23.211–80, ГОСТ 23.220–84, ГОСТ 23.224–86, РД 50–339–82, РД 70.0009.006–85. Они предназначены для предварительного отбора вариантов исследуемых технологий обработки и упрочнения поверхностей, подлежащих последующим испытаниям групп Б, В, Г, а также для контроля стабильности технологического процесса.

Отсев на стадии испытаний группы А существенно сокращает и удешевляет общий комплекс испытаний.

Группа Б. Моделирующие испытания, сущность которых состоит в оценке интенсивности изнашивания при эксплуатации путем пересчета результатов стендовых испытаний через масштабные коэффициенты и (или) коэффициенты ускорения. Основные нормативные документы для этой группы испытаний: ГОСТ 23.210–80, ГОСТ 23.224–86, МР 176–85. Испытания рекомендуется проводить в целях оценки работоспособности материалов в условиях, отличающихся небольшим влиянием на изнашивание.

Группа В. Ускоренные ресурсные испытания по ГОСТ 23.205–79, ГОСТ 23.224–86 и МР 151–85, проводимые для оценки или контроля ресурса сопряжения применительно к заданным условиям эксплуатации.

Группа Г. Испытания по ГОСТ 23.215–84, ГОСТ 23.222–85, ГОСТ 23.224–86 и РД 70.0009.006–85 для определения диапазона нагрузок, скоростей скольжения и температур, обеспечивающих применимые в эксплуатации значения интенсивности изнашивания. Испытания группы Г проводят путем анализа кинетических свойств трибосистемы в соответствии с методикой приработки на грани заедания. При этом реализуется метод многофакторного анализа стационарных свойств трибосистемы.

Учет конструктивных особенностей при испытаниях осуществляется путем выбора конкретных исполнений испытательных узлов и введение их геометрических и теплофизических параметров в масштабные коэффициенты. В связи с этим испытания перечисленных групп проводят по следующим вариантам:

а) испытания материалов, обработанных по новой технологии, при которых материал сопряженного образца, конструктивное исполнение и кинематический тип сопряжения унифицированы согласно соответствующему нормативно-техническому документу и результат сравнивается с эталоном — материалом, обработанным по традиционной технологии;

б) испытания обработанных по новой технологии сопряжений, при которых материал сопряженного образца и кинематический тип сопряжения соответствуют материалу и кинематическому типу натурального сопряжения.

Кинематический тип определяется взаимоположением, геометрией, характером относительного движения трущихся деталей

и возможностью их самоустановки. Классификация кинематических типов для учета их при выборе методов и средств триботехнических испытаний, содержащаяся в ГОСТ 23.224—86, приведена в таблице.

Классификация основных кинематических типов подвижных сопряжений

Форма и взаимоположение деталей сопряжения	Характер относительного движения в сопряжении		
	Поперек образующей		Вдоль образующей
	Однонаправленное	Знакопеременное	Знакопеременное
1. Внутреннее касание неплоских поверхностей («цилиндр — цилиндр», «сфера — сфера») с близкими значениями радиусов кривизны	1.1. Радиальный подшипник скольжения, тормоз — колодка	1.2. Радиальный шарнир, сферический шарнир, винт, гайка	1.3. Кольцо — гильза цилиндра, направляющая втулка — толкатель
2. «Плоскость — плоскость»	2.1. Осевой подшипник скольжения (подпятник), торцовое уплотнение	2.2. Осевой шарнир, торцовое уплотнение шарнира	2.3. Кольцо — канавка поршня, направляющие типа «ласточкин хвост»
3. Внешнее касание неплоских поверхностей с разными радиусами кривизны	3.1. Зубчатое зацепление, кулачок — толкатель, тело качения — обойма	3.2. Реверсивное зубчатое зацепление, направляющая — тело качения	3.3. Направляющая — тело качения

Кинематический тип узла трения обозначается сочетанием цифры, указывающей форму и взаимоположение деталей узла, и цифры, указывающей характер относительного движения в узле. Например, тип узла кольцо — гильза цилиндра обозначается: 1.3. Большинство деталей машин входит в подвижные сопряжения, поэтому результат их взаимодействия при относительном перемещении, т. е. износ, является основной причиной выхода из строя множества изделий машиностроения и основным показателем их надежности.

Содержание

Предисловие	3
Особенности проведения лабораторных испытаний процессов изнашивания	5
Лабораторная работа № 1	
Изучение методов и средств испытаний на триботехническую работоспособность материалов при качении с проскальзыванием (схема «ролик по ролику»)	9
Контрольные вопросы	19
Лабораторная работа № 2	
Оценка потерь на трение и определение КПД передачи в зависимости от режима работы на примере волнового редуктора (лабораторный стенд)	20
Контрольные вопросы	30
Лабораторная работа № 3	
Оценка триботехнической работоспособности передачи в зависимости от режима работы и вида смазочных материалов на примере червячного редуктора	31
Контрольные вопросы	45
Лабораторная работа № 4	
Изучение методов и средств испытаний для выявления триботехнической работоспособности материалов при скольжении (схема «колодка — ролик»)	46
Контрольные вопросы	61
Литература	62