

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Основы проектирования машин»

ТРЕНИЕ И ИЗНОС В МАШИНАХ

*Методические рекомендации к управляемой самостоятельной
работе для студентов специальности 1-36 01 04
«Оборудование и технологии высокоэффективных
процессов обработки материалов»
очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.891
ББК 34.44
Т66

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Основы проектирования машин» «26» апреля 2023 г.,
протокол № 10

Составитель канд. техн. наук А. Е. Науменко

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации являются практическим руководством в работе для студентов специальности 1-36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» очной формы обучения при выполнении управляемой самостоятельной работы по дисциплине «Трение и износ в машинах».

Учебное издание

ТРЕНИЕ И ИЗНОС В МАШИНАХ

Ответственный за выпуск	А. П. Прудников
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение.....	4
Тема 1. Поверхность твердого тела и контактирование шероховатых поверхностей.....	5
Тема 2. Внешнее трение твердых тел. Трение скольжения.....	6
Тема 3. Трение качения.....	8
Тема 4. Трение при различных видах смазки.....	9
Тема 5. Основные понятия и определения, относящиеся к физике и механике изнашивания. Механизмы и стадии изнашивания.....	11
Тема 6. Основные виды изнашивания: аналитический обзор и характеристика.....	12
Тема 7. Основные пути повышения износостойкости сопряжений.....	13
Тема 8. Методы расчета износа сопряжений.....	15
Список литературы.....	16

Введение

Целью дисциплины «Трение и износ в машинах» является овладение современными знаниями контактного взаимодействия твердых тел при внешнем трении и изнашивании.

Целью методических рекомендаций является приобретение теоретических знаний по изучаемой дисциплине.

При выполнении управляемой самостоятельной работы студенты, используя основную и дополнительную литературу, во время аудиторных (лекционных) занятий изучают учебный материал под методическим руководством преподавателя. При этом студентами составляется конспект лекций по изученному материалу. После изучения учебного материала студенты выполняют тестовое задание.

Методические рекомендации содержат тематику лекционных занятий, примерный план теоретического материала, который должен быть включен в конспект лекций, и вопросы для подготовки к тестовому заданию.

Конспект лекций, составленный студентами, должен содержать основные теоретические сведения по рассматриваемому теоретическому вопросу, функциональные и структурные схемы и расчетные зависимости.

После составления конспекта лекций он проверяется преподавателем. Наличие самостоятельно составленного конспекта лекций по тематике учебного материала, выносимого на управляемую самостоятельную работу, является допуском к прохождению тестового задания.

Тема 1. Поверхность твердого тела и контактирование шероховатых поверхностей

План конспекта

1.1 Контакт шероховатых поверхностей.

1.1.1 Отличие реального профиля контакта сопряженных поверхностей от номинального.

1.1.2 Схема контакта шероховатых поверхностей.

1.1.3 Номинальная площадь контакта (НПК).

1.1.4 Контурная площадь контакта (КПК).

1.1.5 Фактическая площадь контакта (ФПК).

1.1.6 Три вида контактных давлений.

1.2 Модель контакта жесткого шероховатого недеформируемого тела 1 с деформируемым идеально гладким телом 2.

1.2.1 Параметры контакта:

– глубина внедрения $h_в$;

– диаметр полусферической неровности d ;

– радиус закругления вершины полусферической неровности r ;

– деформация тела h ;

– объем материала тела, выдавленный единичной неровностью, V_B ;

– длина пути тела 1 по телу 2 L ;

– сила, действующая на контактирующие тела, N .

1.2.2 Виды контакта: упругий, упругопластический и пластический. Сравнение напряженности и твердости при различных видах контакта.

1.2.3 Виды контакта: насыщенный и ненасыщенный.

1.3 Предварительная оценка характера деформации по критерию Гринвуда – Уильямсона.

1.3.1 Расчет давлений на ФПК при упругой деформации.

1.3.2 Расчет давлений на ФПК при пластической деформации.

1.3.3 Расчет величины сближения.

1.3.4 Расчет числа пятен фактического контакта.

Вопросы для подготовки к тестовому заданию

1 Какие силы взаимодействия между частицами не относятся к когезионным силам?

2 Что такое адсорбция?

3 Какими параметрами характеризуются объемные свойства поверхностей твердого тела?

4 Назовите слои материала, образующиеся при полировании сталей на поверхности.

5 Какой вид имеет уравнение Ван-дер-Ваальса, описывающее поведение реальных газов в объеме V ?

6 Чем определяется адгезионное взаимодействие между жидкостью и твердым телом на границе их раздела?

7 Каким должен быть краевой угол смачивания, чтобы жидкость являлась гидрофобной?

8 Состояние движущейся маловязкой жидкости определяется уравнением Бернулли. Какие переменные в него входят?

9 Что такое поверхностно-активные вещества (ПАВ)?

10 Что такое адсорбция?

11 В чем заключается эффект Ребиндера?

12 Какой вид имеет величина критических напряжений в модели Гриффитса?

13 Что такое волнистость поверхности?

14 Что характеризует кривая опорной поверхности?

15 Начальная часть кривой опорной поверхности описывается степенной функцией $\eta = b \cdot x^v$. От чего зависят коэффициенты b и v ?

16 Какие площадки касания различают при контакте шероховатых поверхностей?

17 Какой контакт считается ненасыщенным?

18 При контактных давлениях, не превышающих предела текучести материалов, напряженно деформированное состояние тела определяется из задачи Герца о контакте какого тела с каким полупространством?

19 По какому критерию оценивают вид контакта (упругий или пластический)?

20 От чего зависит контактное давление в условиях пластического контакта?

Тема 2. Внешнее трение твердых тел. Трение скольжения

План конспекта

2.1 Фрикционные связи на единичном пятне контакта.

2.1.1 Виды фрикционных связей на единичном пятне контакта (упругое отеснение материала неровностью, пластическое отеснение материала неровностью, микрорезание, адгезионное нарушение фрикционной связи, когезионное разрушение фрикционной связи).

2.1.2 Критерий оценки вида фрикционной связи на единичном пятне контакта (h / r).

2.1.3 Порог внешнего трения. Условие его возникновения.

2.2 Адгезионная и деформационная составляющие силы трения.

2.2.1 Адгезионная составляющая силы трения для единичной микронеровности.

2.2.2 Касательное напряжение среза адгезионной связи. Пьезокоэффициент адгезионной составляющей силы трения.

2.2.3 Деформационная составляющая коэффициента трения для отдельной неровности.

2.2.4 Деформационная составляющая коэффициента трения для отдельной неровности при упругом контакте.

2.2.5 Деформационная составляющая коэффициента трения для отдельной неровности при пластическом контакте.

2.2.6 Определение коэффициента трения шероховатых поверхностей (множественный контакт) для ненасыщенного упругого контакта, насыщенного упругого контакта, ненасыщенного пластического контакта, насыщенного пластического контакта.

2.3 Факторы, влияющие на трение скольжения:

- строение и физико-механические свойства контактирующих тел;
- вид материала пар трения;
- образование на поверхности «вторичных структур»;
- скорость относительного перемещения (скольжения) трущихся тел;
- температура фрикционного сопряжения.

Вопросы для подготовки к тестовому заданию

1 Какие виды внешнего трения различают в зависимости от вида перемещения?

2 Какие виды внешнего трения различают в зависимости от вида относительного движения?

3 Как соотносятся полная сила трения покоя F_{II} и сила трения движения $F_{Д}$ для несмазанных тел?

4 В чем смысл геометрической теории трения?

5 От какого фактора не зависит коэффициент трения с точки зрения молекулярно-механической теории трения?

6 Какой из видов фрикционных связей на единичном пятне контакта наиболее нежелателен?

7 Что такое порог внешнего трения?

8 Какие составляющие имеет коэффициент внешнего трения согласно молекулярно-механической теории трения ?

9 Какие различают виды фрикционных связей на единичном пятне контакта в зависимости от значения безразмерной величины (h / r) ?

10 Как выглядит условие возникновения застойной зоны, в которой меняется характер фрикционного взаимодействия на контакте (пластическое отеснение материала переходит в микрорезание, а внешнее трение – во внутреннее трение)?

11 Деформационная составляющая коэффициента трения имеет вид $f_{def} = 0,19 \cdot \alpha_r \cdot \sqrt{h / r}$. Что обозначает параметр h ?

12 От чего зависит адгезионная составляющая силы трения?

13 Касательное напряжение среза адгезионной связи определяется по формуле $\Delta\tau_{адз} = \tau_0 + \beta \cdot p_r$. От чего зависит пьезокоэффициент адгезионной составляющей силы трения β ?

14 При каких видах контакта при множественном контакте шероховатых поверхностей коэффициент трения зависит от твердости поверхности?

15 При каком виде контакта при единичном контакте деформационная составляющая коэффициента трения имеет наибольшее значение?

16 Как влияет толщина оксидных пленок на коэффициент трения?

17 При каких условиях возникает схватывание первого рода?

18 Каким образом увеличение температуры фрикционного сопряжения влияет на деформационную и адгезионную составляющие коэффициента трения?

Тема 3. Трение качения

План конспекта

3.1 Гистерезисные потери при трении качения.

3.1.1 Механическая модель вязкоупругого тела (модель Фойгта).

3.1.2 Коэффициент гистерезисных потерь.

3.1.3 Эпюра контактных давлений материалов с несовершенной упругостью.

3.1.4 Коэффициент трения качения по Тейбору и Гриндвуду.

3.2 Микропроскальзывание.

3.2.1 Контакт упругодеформируемого колеса с упругодеформируемым основанием.

3.2.2 Скорость скольжения на участке микропроскальзывания.

3.3 Адгезионное взаимодействие на площадке контакта колеса с поверхностью.

Вопросы для подготовки к тестовому заданию

1 Какой вид трения называется трением качения?

2 Кем было предложено выражение $k = F \cdot R / N$ для определения коэффициента трения качения?

3 Какие нагрузки рассматриваются для определения коэффициента трения качения?

4 От чего зависит коэффициент сопротивления качению?

5 Вследствие чего возникают гистерезисные потери при трении качения?

6 От чего зависит коэффициент гистерезисных потерь α ?

7 Коэффициент гистерезисных потерь определяется по формуле $\alpha = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\mu \cdot \omega}{E}$. Что обозначает параметр ω ?

8 Коэффициент сопротивления качению, полученный Тейбором и Гринвудом, имеет вид $f_k = \frac{4 \cdot \alpha_r}{3 \cdot \pi} \sqrt{\frac{N}{\pi \cdot R \cdot E}}$. Что обозначает параметр α_r ?

9 От чего зависит коэффициент сопротивления качению согласно Тейбору и Гринвуду?

10 При качении упругого колеса по упругому основанию за счет разницы в кривизне цилиндра радиусом R и плоскости на площадке контакта появляются два участка. Как называются эти участки?

11 Какой из указанных факторов будет наиболее существенным при качении тела, изготовленного из закаленной стали?

Тема 4. Трение при различных видах смазки

План конспекта

4.1 Гидродинамическая смазка.

4.1.1 Уравнение Рейнольдса применительно к круглоцилиндрическому подшипнику скольжения.

4.1.2 Допущения и граничные условия, принятые в уравнении Рейнольдса.

4.1.3 Условия возбуждения гидродинамического давления в слое жидкости.

4.1.4 Схема равновесного положения вала в подшипнике.

4.1.5 Основные расчетные зависимости для подшипника скольжения (относительный зазор, число Зоммерфельда, относительный эксцентриситет, минимальная толщина смазочного слоя по линии).

4.1.6 Уравнение для расчета коэффициента трения в нагруженных подшипниках скольжения.

4.2 Гидростатическая смазка.

4.2.1 Условия, при которых необходимо осуществить гидростатическую смазку.

4.2.2 Схема гидростатического подшипника.

4.2.3 Эпюра распределения давления смазочной жидкости по поверхности гидростатического подшипника.

4.3 Эластогидродинамическая смазка.

4.3.1 Узлы трения: конформные и неконформные.

4.3.2 Схема взаимодействия жесткого цилиндра с деформируемой плоскостью в условиях эластогидродинамической смазки.

4.3.3 Уравнение упругости при эластогидродинамической смазке.

4.4 Граничная смазка.

4.4.1 Коэффициент трения при граничной смазке.

4.4.2 Зависимость коэффициента трения от температуры при граничной смазке.

Вопросы для подготовки к тестовому заданию

- 1 Как называются свойства масел, определяющие коэффициент трения сопряженных материалов?
- 2 К какому виду смазки относится гидростатическая смазка?
- 3 Для чего на поверхности трения вводится смазочный материал?
- 4 При каком из видов смазки разделение поверхностей трения деталей, находящихся в относительном движении, осуществляется жидким смазывающим материалом?
- 5 Какие различают виды вязкости?
- 6 Через какой физический параметр связаны кинематическая и динамическая вязкости?
- 7 Какие единицы измерения имеет кинематическая вязкость?
- 8 Какую зависимость описывает представленное равенство $\lg \left[\lg(v + 0,8) \right] = A - B \cdot \lg \vartheta$?
- 9 Как изменяется удельная теплоемкость нефтяных масел с увеличением температуры и давления?
- 10 Какой зоне на диаграмме Герси – Штрибека соответствует зона граничной смазки?
- 11 От чего зависит число Герси?
- 12 Вероятность реализации гидродинамического или граничного режима можно приблизительно оценивать по величине λ . При каком коэффициенте λ реализуется режим жидкостного трения?
- 13 Вероятность реализации гидродинамического или граничного режима можно приблизительно оценивать по величине λ , определяемой по формуле $\lambda = \frac{h_{\min}}{\sqrt{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}}$. Что обозначает параметр h_{\min} ?
- 14 Какие допущения выдвигаются при применении дифференциального уравнения Рейнольдса к круглоцилиндрическому подшипнику скольжения?
- 15 Анализ уравнения Рейнольдса показывает, что для образования режима жидкостного трения необходимо выполнение каких условий?
- 16 При каком условии вал занимает положение, концентричное вкладышу в гидродинамическом подшипнике скольжения?
- 17 Как определяется относительный эксцентриситет в подшипнике скольжения?
- 18 От каких факторов зависит число Зоммерфельда для подшипника скольжения?
- 19 По какому параметру оценивают возможность реализации режима гидродинамического трения в подшипнике скольжения?
- 20 За счет чего организована гидростатическая смазка?
- 21 Чем компенсируется внезапное увеличение внешней нагрузки P на гидростатический узел трения?
- 22 От чего зависит несущая способность гидростатического подшипника?
- 23 Какие объекты относятся к конформным узлам трения?

24 При каком условии смазка считается эластогидродинамической?

25 При граничной смазке при какой температуре T образуется равновесное состояние между адсорбцией и десорбцией молекул, составляющих граничные слои?

Тема 5. Основные понятия и определения, относящиеся к физике и механике изнашивания. Механизмы и стадии изнашивания

План конспекта

5.1 Механизм изнашивания металлических поверхностей.

5.1.1 Взаимодействие поверхностей механическое и молекулярное.

5.1.2 Изменения на поверхностях трения (деформация, химическое действие среды, разрушение поверхностей трения).

5.1.3 Разрушение поверхностей трения (микрорезание, царапание, отслаивание, выкрашивание, глубинное вырывание, перенос материала).

5.2 Механизм изнашивания эластомеров (влияние шероховатости поверхности, влияние адгезии, влияние температуры, влияние усталости материала, влияние химических процессов).

5.3 Стадии изнашивания пар трения.

5.4 Приработка и равновесная шероховатость.

Вопросы для подготовки к тестовому заданию

1 Как называется процесс разрушения материала твёрдого тела, приводящий к изменению размеров и формы тела, происходящий при трении?

2 Каким отношением определяется интенсивность изнашивания?

3 Каким отношением определяется скорость изнашивания ?

4 Что такое износостойкость?

5 При изнашивании металлических поверхностей наблюдается механическое и молекулярное взаимодействие поверхностей. Какой вид взаимодействия наблюдается только у металлических материалов?

6 Какие изменения на поверхностях трения возможны при повышении температуры?

7 Как называется элементарный вид разрушения поверхности трения, при котором твердая частица абразива или продукта изнашивания пластически деформирует материал с образованием микростружки?

8 Как называется элементарный вид разрушения поверхности трения, при котором образовавшаяся или появившаяся на поверхности трения частица при скольжении перемещает в стороны и поднимает материал?

9 Как называется элементарный вид разрушения поверхности трения, при котором вследствие молекулярного взаимодействия образуется спай этих поверхностей, более прочный материалов одного или обоих тел, приводящий к разрушению материала в глубине одного из тел?

10 Какой из элементарных видов разрушения наблюдается у эластомеров при значительной адгезии?

11 При каких условиях шероховатость металлической поверхности не оказывает существенного влияния на изнашивание эластомера?

12 На какой(-их) стадии(-ях) скорость изнашивания имеет наибольшее значение?

Тема 6. Основные виды изнашивания: аналитический обзор и характеристика

План конспекта

6.1 Молекулярно-механическое изнашивание (схватывание и заедание поверхностей).

6.1.1 Схема адгезионного износа микронеровностей.

6.1.2 Интенсивность объёмного изнашивания для единичной микронеровности.

6.1.3 Интенсивность объёмного изнашивания для множественного контакта при упругом и пластическом контакте микронеровностей.

6.1.4 Понятие заедания и условия его возникновения.

6.1.5 Зависимость интенсивности изнашивания при заедании от скорости v и давления p .

Процесс схватывания первого рода.

6.1.6 Процесс схватывания второго рода.

6.1.7 Схема формирования узла схватывания.

6.2 Коррозионно-механическое изнашивание.

6.2.1 Окислительное изнашивание.

6.2.2 Водородное изнашивание.

6.2.3 Эрозионное изнашивание.

6.2.4 Фреттинг-коррозия.

Вопросы для подготовки к тестовому заданию

1 Как изменяется интенсивность абразивного изнашивания при увеличении твердости абразива?

2 Каким методом повышают абразивную износостойкость поверхности стальных деталей?

3 Для каких материалов не используют в качестве способа повышения абразивной износостойкости поверхности гальванические покрытия?

4 Интенсивность изнашивания при абразивном износе определяется по формуле $I_h = \frac{h}{L} = c \frac{p_r \cdot a}{HВ}$. Что обозначает параметр a ?

5 При каком угле атаки при гидроабразивном изнашивании начинает преобладать ударная полидеформация?

6 Какие виды деформации могут происходить при гидроабразивном изнашивании?

7 При каком угле атаки при гидроабразивном изнашивании наблюдается наибольшая интенсивность изнашивания у упругих материалов?

8 При каком угле атаки при гидроабразивном изнашивании наблюдается наибольшая интенсивность изнашивания у хрупких материалов?

9 Для описания процесса кавитационного изнашивания используется уравнение Бернулли в горизонтально движущемся потоке жидкости $\frac{\rho \cdot v^2}{2} + P = \text{const}$. К чему ведет увеличение скорости потока жидкости?

10 Кавитационное изнашивание происходит при наличии в жидкости пузырьков нерастворенного воздуха. Какие при этом возникают давления?

11 Кавитационное изнашивание происходит при наличии в жидкости пузырьков нерастворенного воздуха, на которые действуют три давления. Чем обусловлено Лапласовское давление P_d ?

12 Интенсивность объёмного изнашивания для множественного контакта микронеровностей определяется зависимостью $I_v = \frac{1}{3} \cdot K \cdot A_r$. Как определяется фактическая площадь контакта при пластических деформациях?

13 Какой из видов износа используется при описании изнашивания при схватывании?

14 При каких условиях возникает «холодное» заедание?

15 При каких условиях возникает «горячее» заедание?

16 Какие процессы происходят при окислительном изнашивании?

17 Какие мероприятия приводят к уменьшению водородного изнашивания?

18 Что такое эрозионное изнашивание?

19 Какие этапы изнашивания происходят при фреттинг-коррозии?

20 Какие из видов изнашивания сопровождаются адгезией?

21 Какие из видов изнашивания происходят в потоке жидкости?

22 При каких видах изнашивания отсутствует контактирование поверхностей трения?

23 Какие виды изнашивания происходят при наличии частиц загрязнителей или продуктов износа?

Тема 7. Основные пути повышения износостойкости сопряжений

План конспекта

7.1 Технологические методы обеспечения износостойкости узлов трения.

7.1.1 Обработка резанием.

7.1.2 Обработка поверхности пластическим деформированием (ППД):

- отделочно-упрочняющая обработка ППД;
- формообразующая ППД;
- калибровочная обработка ППД.

7.1.3 Химико-термическая обработка поверхности:

- цементация;
- азотирование;
- силицирование;
- оксидирование;
- фосфатирование;
- сульфидирование;
- сульфоцианирование;
- поверхностная закалка.

7.1.4 Диффузионная металлизация:

- силицирование;
- алитирование;
- хромирование;
- никелирование;
- оксидирование;
- железнение.

7.1.5 Напыление поверхностей.

7.1.6 Наплавка износостойких слоев.

7.1.7 Финишная антифрикционная безабразивная обработка.

7.2 Эксплуатационные способы повышения износостойкости.

7.2.1 Обкатка машин и механизмов.

7.2.2 Организация смазки узлов трения.

7.2.3 Выбор режимов эксплуатации.

Вопросы для подготовки к тестовому заданию

1 Какие из пар материалов рекомендуется использовать в трибосопряжении?

2 Что называется прямой парой трения?

3 Для чего используется оптимизация макрогеометрии поверхностей трения?

4 К чему не приводит замена внешнего трения внутренним трением упругого элемента?

5 В чем заключается недостаток замены трения скольжения трением качения?

6 Для чего используют защиту от загрязнений?

7 К чему приводит наклеп металлов и сплавов при обработке резанием?

8 К какому виду обработки поверхности относится накатывание резьб?

9 Какие виды обработки поверхности относятся к химико-термической обработке?

10 Какие виды обработки поверхности относятся к диффузионной металлизации?

11 Что такое финишная антифрикционная безабразивная обработка поверхностей?

12 Для чего производится обкатка механизма перед запуском в эксплуатацию?

13 Какие способы повышения износостойкости относятся к конструкторским?

14 Какие способы повышения износостойкости относятся к технологическим?

15 Какие способы повышения износостойкости относятся к эксплуатационным?

Тема 8. Методы расчета износа сопряжений

План конспекта

8.1 Энергетическая теория изнашивания.

8.1.1 Условие образования частицы износа.

8.1.2 Определение объема материала, отделяемого в процессе изнашивания.

8.1.3 Связь мнимой плотности энергии с интенсивностью изнашивания.

8.2 Элементный закон изнашивания.

8.3 Метод ключевых инвариантов.

8.4 Расчет сопряжений на ресурс.

8.4.1 Общая схема расчета ресурса работы деталей машин.

8.4.2 Оценка ресурса типовых трибосопряжений по критерию износа:

- зубчатые передачи;
- опоры скольжения;
- зубчатые (шлицевые) соединения;
- передача винт – гайка скольжения.

Вопросы для подготовки к тестовому заданию

1 Назовите основную причину усталостного изнашивания.

2 При трении фиксированный объем материала, лежащий в приповерхностном слое, испытывает многократно повторяющиеся воздействия от внедряющихся вершин микронеровностей. Какие напряжения возникают в данном материале?

3 Что понимают под многоцикловой фрикционной усталостью в усталостной теории изнашивания?

4 Что понимают под малоцикловой фрикционной усталостью в усталостной теории изнашивания?

5 Как определяется интенсивность изнашивания в усталостной теории изнашивания?

6 При каком контакте интенсивность изнашивания будет наибольшей при прочих равных условиях?

7 Как связаны мнимая и элементарная плотности энергии в энергетической теории изнашивания?

8 Элементарный закон изнашивания для интенсивности изнашивания имеет вид $I_h = k \cdot p^m \cdot v^n \cdot t^a$. Как определяются показатели степени m , n и a ?

9 В методе ключевых инвариантов интенсивность изнашивания связывается с физически обоснованными информативными безразмерными обобщенными переменными. В простейшем случае, при механическом изнашивании эта связь имеет вид $I_h = k \cdot \Phi_a^a \cdot \Phi_{cm}^b \cdot \Phi_y^c \cdot \Phi_{ш}^d$. Что характеризует комплекс Φ_{cm}^b ?

10 В методе ключевых инвариантов интенсивность изнашивания связывается с физически обоснованными информативными безразмерными обобщенными переменными. В простейшем случае, при механическом изнашивании эта связь имеет вид $I_h = k \cdot \Phi_a^a \cdot \Phi_{cm}^b \cdot \Phi_y^c \cdot \Phi_{ш}^d$. Могут ли при расчете износа в данную зависимость добавлены или удалены обобщенные переменные?

11 Как определяется предельный износ при расчете трибосопряжений на ресурс?

12 При расчете трибосопряжений на ресурс как определяется путь трения?

13 Ресурс какого трибосопряжения определяется по формуле

$$T = \frac{c - c_0}{(I_{h1} \cdot s_1 + I_{h2} \cdot s_2) \cdot n} ?$$

14 Ресурс какого трибосопряжения определяется по формуле

$$T = \frac{[h]}{60 \cdot I_h \cdot s \cdot n} ?$$

15 Ресурс передачи винт – гайка оценивается по формуле

$$T = \frac{[h] \cdot \cos \beta_d}{60 \cdot \pi \cdot I_h (n_2 \pm n_g)} . \text{ Что означает переменная } \beta_d ?$$

Список литературы

1 Доценко, А. И. Триботехника : учебник / А. И. Доценко, И. А. Буяновский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 399 с.

2 Горленко, О. А. Прикладная механика: триботехнические показатели качества машин: учебное пособие для вузов / О. А. Горленко, В. П. Тихомиров, Г. А. Бишутин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 264 с.