Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емец Валерий Сергеевич
Должность: Директор филиала
Дата подписания: 07.08.2026 15:38:53
Уникальный программный ключ:
f2b8a1573c931f1098cfe699d1deb94fcf55d7

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)
Рязанский институт (филиал)
Московского политехнического университета

УТВЕРЖДАЮ
Директор Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета
В.С. Емец
«30» мая 2025 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

сформированности компетенции ОПК-1 «Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности»

Разработан в соответствии с ФГОС **23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства**
специализация: **Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование**
квалификация: **инженер**

Рязань 2025

Вопросы для оценки сформированности компетенции ОПК-1

«Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности».

Компетенция формируется дисциплинами:

Дисциплина	Семестр
Теоретическая механика (Б1.О.19)	2–3
Сопротивление материалов (Б1.О.20)	3–4
Физика (Б1.О.21.3)	3
Химия (Б1.О.21.4)	1
Материаловедение (Б1.О.ДС.06)	3
Электротехника и электроника (Б1.О.ДС.08)	3
Теплотехника (Б1.О.ДС.10)	5
Основы теории надежности (Б1.О.21.5)	6
Теория механизмов и машин (Б1.О.ДС.03)	6
Детали машин и основы конструирования (Б1.О.ДС.04)	5
Гидравлика и гидропривод (Б1.О.ДС.05)	5
Строительная механика и металлические конструкции (Б1.О.ДС.14)	7

Вопросы и задания по дисциплине «Теоретическая механика»

1. Каково необходимое и достаточное условие равновесия произвольной пространственной системы сил, приложенных к твердому телу?
а) Сумма проекций всех сил на одну ось равна нулю
б) Главный вектор и главный момент системы сил равны нулю
в) Сумма моментов всех сил относительно одной точки равна нулю
г) Все силы пересекаются в одной точке

2. Что такое мгновенный центр скоростей (МЦС) плоской фигуры?
а) Точка, в которой ускорение фигуры равно нулю

б) Точка плоской фигуры, скорость которой в данный момент времени равна нулю
в) Центр масс плоской фигуры
г) Точка пересечения диагоналей фигуры

3. В чем заключается принцип Даламбера?
а) Работа активных сил на любом виртуальном перемещении равна нулю
б) Если к силам, действующим на точки механической системы, добавить силы инерции, то система окажется в состоянии условного равновесия
в) Кинетическая энергия системы равна сумме кинетических энергий всех точек
г) Импульс силы равен изменению количества движения

4. Какое уравнение аналитической механики описывает движение системы с идеальными связями в обобщенных координатах?
а) Уравнение кинетической энергии
б) Уравнение Лагранжа второго рода
в) Уравнение Гамильтона-Остроградского
г) Уравнение моментов

5. При каком условии возникает явление резонанса при вынужденных колебаниях механической системы с одной степенью свободы?
а) Когда частота вынуждающей силы равна нулю
б) Когда частота вынуждающей силы совпадает с собственной частотой системы
в) Когда коэффициент демпфирования равен нулю
г) Когда амплитуда вынуждающей силы максимальна

6. Установите соответствие между типом связи и вектором реакции связи:
1. Гладкая опорная поверхность
2. Цилиндрический шарнир (подшипник)
3. Невесомый стержень с шарнирами на концах
4. Жесткая заделка

а) Реакция направлена по нормали к поверхности в точку касания.
б) Реакция раскладывается на две составляющие в плоскости, перпендикулярной оси шарнира.
в) Реакция направлена вдоль оси стержня (растяжение или сжатие).
г) Реакция раскладывается на две составляющие и реактивный момент.

7. Рассчитайте координату центра тяжести Y_c составного поперечного сечения стрелы крана, состоящего из горизонтального листа (10×1 см) и вертикальной стенки (1×10 см), расположенной по центру листа снизу. Ось X проходит по нижнему краю стенки.

8. Опишите алгоритм определения ускорения точки В шатуна плоского механизма (кривошипно-шатунный механизм экскаватора), если известно ускорение точки А (кривошипа).

9. Проанализируйте с использованием системного подхода динамические нагрузки, возникающие в металлоконструкции стрелы автокрана при резком торможении механизма подъема груза.

10. Синтезируйте требования векторной механики (метод кинетостатики) и аналитической механики (уравнения Лагранжа) по теме «Составление уравнений движения манипулятора робота». Выделите общие и специфические подходы.

11. Сформулируйте проблему: «При повороте башни гусеничного экскаватора с выдвинутой стрелой возникают значительные поперечные вибрации и динамические нагрузки на поворотный круг». Проведите декомпозицию задачи.

12. Какие математические и инженерные риски возникают при игнорировании кориолисова ускорения в расчетах динамики вращающихся частей турбины или центрифуги ПТСДС?

13. Составьте сравнительную таблицу методов решения задач динамики: «Метод кинетостатики (принцип Даламбера)» vs «Метод уравнений Лагранжа 2-го рода».

14. Проанализируйте достоверность источника: статья в блоге «При расчете привода конвейера мы не учитывали трение в подшипниках и сопротивление воздуха, так как эти силы ничтожно малы по сравнению с весом груза». Какие признаки указывают на опасность такого подхода?

15. Разработайте критерии выбора математической модели для описания взаимодействия отвала бульдозера с грунтом при динамическом нагружении.

16. Опишите методику экспериментального определения момента инерции маховика механического пресса относительно оси вращения.

17. Синтезируйте данные из лекций и практики: как внедрение систем мультифизического моделирования (Adams, RecurDyn) меняет процесс изучения и применения теоретической механики в инженерной практике?

18. Разработайте алгоритм составления дифференциального уравнения свободных затухающих колебаний кабины автогрейдера на подвеске (модель «четверть автомобиля»).

19. Опишите, как системный подход помогает при проектировании механической системы от кинематической схемы до динамического расчета нагрузок. Используйте понятия: вход, процесс, выход, обратная связь.

20. Обобщите современные тенденции развития теоретической механики в контексте проектирования ПТСДС. Как концепция «Цифрового двойника» (Digital Twin) влияет на динамику машин?

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	б) Главный вектор и главный момент системы сил равны нулю.
2	б) Точка плоской фигуры, скорость которой в данный момент времени равна нулю.
3	б) Если к силам, действующим на точки механической системы, добавить силы инерции, то система окажется в состоянии условного равновесия.
4	б) Уравнение Лагранжа второго рода.
5	б) Когда частота вынуждающей силы совпадает с собственной частотой системы.
Блок заданий открытого типа	
6	1-а, 2-б, 3-в, 4-г. *Критерий*: полное соответствие — 5 баллов; 1 ошибка — 3 балла; 2 и более — 0.
7	Площадь листа $A_1 = 10 \cdot 1 = 10$ см², его центр $y_1 = 10 + 0.5 = 10.5$ см. Площадь стенки $A_2 = 1 \cdot 10 = 10$ см², её центр $y_2 = 5$ см. $Y_c = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} = \frac{10 \cdot 10.5 + 10 \cdot 5}{20} = \frac{105+50}{20} = 7.75$ см. *Критерий*: верные формулы, подстановка и точный расчет — 5 баллов.
8	1) Построение плана ускорений. 2) Запись векторного уравнения: $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^\tau$. 3) Расчет нормального ускорения $\vec{a}_{BA}^n$ (направлено от B к A, модуль $\omega^2 l_{AB}$). 4) Определение направления касательного ускорения $\vec{a}_{BA}^\tau$ (перпендикулярно AB) и ускорения $\vec{a}_B$ (вдоль направляющей ползуна). 5) Графическое или аналитическое решение векторного уравнения для нахождения модулей. *Критерий*: 4-5 логичных шагов с указанием векторного уравнения — 5 баллов.
9	*Вход*: масса груза, скорость подъема, время торможения, упругость каната и стрелы. *Процесс*: возникновение

<table>
<tr><td></td><td>динамического коэффициента $k_d = 1 + \frac{v}{g \cdot t_{\text{торм}}}$ (при жесткой схеме) или колебательного процесса (при упругой схеме). Упругие колебания стрелы как консольной балки с массой на конце. Выход: эпюры динамических изгибающих моментов и напряжений, превышающих статические. Обратная связь: введение плавного пуска/торможения (ЧРП) для снижения динамических нагрузок.
Критерий: системный анализ с выделением элементов — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Общие: обе методы приводят к системе дифференциальных уравнений движения, учитывающих массы, инерции и активные силы. Специфические (векторная): требует определения всех реакций в шарнирах, громоздка для систем со многими степенями свободы. Специфические (аналитическая): оперирует обобщенными координатами (углами поворота звеньев), позволяет сразу получить уравнения движения без поиска реакций в идеальных связях, удобна для алгоритмизации в CAE.
Критерий: структурированный анализ, не менее 4 положений — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>11</td><td>1) Анализ кинематики: наличие кориолисовых ускорений точек стрелы при сложном движении. 2) Оценка упругих свойств стрелы (низкая жесткость на изгиб в горизонтальной плоскости). 3) Анализ закона управления приводом поворота (резкий пуск/останов). 4) Учет неравномерности распределения масс. 5) Разработка мер: оптимизация закона движения привода, введение демпферов, изменение конструкции стрелы.
Критерий: 4-5 подзадач с обоснованием — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>1) Занижение расчетных динамических нагрузок на подшипники и вал. 2) Неправильная оценка устойчивости движения (возникновение гироскопических эффектов). 3) Риск резонансных явлений при изменении угловой скорости. 4) Преждевременное усталостное разрушение деталей из-за неучтенных переменных напряжений.
Критерий: 3-4 обоснованных риска — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>13</td><td>
<table>
<tr><th>Критерий</th><th>Метод кинетостатики</th><th>Уравнения Лагранжа 2-го рода</th></tr>
<tr><td>Базовый принцип</td><td>Сведение динамики к статике путем введения сил инерции</td><td>Использование энергетических характеристик (кинетическая и потенциальная энергия)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><td>Учет связей</td><td>Требует определения реакций связей (если они не идеальны или нужны для расчета)</td><td>Реакции идеальных связей автоматически исключаются из уравнений</td></tr>
<tr><td>Трудоемкость для систем с 1 степенью свободы</td><td>Низкая</td><td>Средняя (требует вычисления производных энергий)</td></tr>
<tr><td>Трудоемкость для систем с n степенями свободы</td><td>Высокая (большое число уравнений)</td><td>Систематическая (алгоритмизируется, удобно для ЭВМ)</td></tr>
</table>

Критерий: полная таблица — 10 баллов.
</td></tr>
<tr><td>14</td><td>1) Игнорирование диссипативных сил делает модель консервативной, что искажает расчет мощности двигателя и КПД привода. 2) Невозможность корректно рассчитать установившийся режим и время разгона/торможения. 3) Ошибки в оценке нагрева узлов трения и их ресурса. 4) В динамических расчетах (колебания) отсутствие трения приводит к бесконечным незатухающим колебаниям, что не соответствует реальности.
Критерий: ≥3 инженерно обоснованных признака — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>15</td><td>1) Цель расчета (определение тягового усилия, прочности отвала или динамики машины). 2) Свойства грунта (сыпучий, связный, наличие камней). 3) Учет упругопластических деформаций грунта. 4) Необходимость учета инерционных свойств призмы волочения. 5) Вычислительные ресурсы (аналитическая модель по Н.А. Домбровскому vs метод конечных элементов (МКЭ) в CAE).
Критерий: 4-5 критериев с привязкой к физике процесса — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>16</td><td>1) Подвешивание маховика на ось, близкую к центральной (или использование трифилярного подвеса). 2) Сообщение маховику малых колебаний. 3) Измерение периода колебаний T с помощью секундомера или датчиков. 4) Использование формулы физического маятника или трифилярного подвеса для расчета момента инерции I через период T, массу m и геометрические параметры. 5) Применение теоремы Штейнера при необходимости пересчета на центральную</td></tr>
</table>

	ось. *Критерий*: 5 этапов эксперимента — 10 баллов.
17	Переход от ручного решения уравнений для систем с 1-2 степенями свободы к автоматизированному построению и решению систем дифференциальных уравнений для сложных пространственных механизмов (Multibody Dynamics). Инженер формулирует геометрию, массы и свойства связей, а CAE-система сама генерирует уравнения движения. Это позволяет учитывать нелинейности, зазоры в шарнирах и упругость звеньев, что невозможно в классическом курсе теормеха. *Критерий*: 4 аспекта влияния — 10 баллов.
18	1) Выбор обобщенной координаты x (вертикальное перемещение кабины). 2) Определение кинетической энергии $T = \frac{1}{2}m\dot{x}^2$ и потенциальной энергии $\Pi = \frac{1}{2}kx^2$. 3) Учет функции рассеяния Рэлея $F = \frac{1}{2}c\dot{x}^2$ (демпфирование). 4) Подстановка в уравнение Лагранжа 2-го рода с диссипацией: $\frac{d}{dt}(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}) - \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial \Pi}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}} = 0$. 5) Получение уравнения: $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$. *Критерий*: 5 шагов с указанием формул — 10 баллов.
19	*Вход*: техническое задание, кинематическая схема, массы и моменты инерции звеньев. *Процесс*: кинематический анализ (определение скоростей и ускорений точек) → кинетостатический расчет (определение сил в кинематических парах) → динамический анализ (уравнения движения, маховиковые массы). *Выход*: эпюры нагрузок, требования к прочности деталей, мощность двигателя. *Обратная связь*: корректировка масс и геометрии звеньев при превышении допустимых нагрузок или вибраций. *Критерий*: корректное применение терминов + пример — 10 баллов.
20	Тенденции: интеграция классической механики с методами теории управления и обработки данных. Цифровой двойник получает телеметрию с реальных датчиков (ускорения, деформации) и в реальном времени уточняет параметры математической модели (износ шарниров, изменение масс). Это позволяет переходить от детерминированных расчетов к предиктивной динамике, прогнозируя остаточный ресурс и предотвращая резонансные режимы до их возникновения. *Критерий*: глубокий синтез тенденций — 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание
Высокий (отлично)	90–100	Демонстрирует глубокие знания разделов теоретической механики, свободно владеет методами векторной и аналитической механики, умеет составлять математические модели динамики ПТСДС и применять системный подход.
Повышенный (хорошо)	75–89	Знает основные законы и методы расчета, умеет решать типовые задачи кинематики и динамики, но допускает неточности в сложных задачах (аналитическая механика, теория колебаний).
Базовый (удовлетворительно)	70–74	Знает теоретические основы статики и кинематики, но испытывает трудности при составлении дифференциальных уравнений движения и применении системного подхода к динамике машин.
Неудовлетворительно	<70	Не знает основных законов механики, путает виды движения и ускорений, не умеет составлять уравнения равновесия и движения, не понимает принципа Даламбера.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания закрытого типа (1–5) проверяются автоматически (MOODLE) или по ключу.
2. Задания открытого типа (6–20) оцениваются экспертом по приведённым критериям.
3. Результаты заносятся в протокол ВСОКО с привязкой к индикаторам:
   - ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания: статика, кинематика, базовая динамика) — задания 1, 2, 3, 6, 7, 8, 12, 13, 15.
   - ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа и моделирования: аналитическая механика, колебания, системный подход) — задания 4, 5, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание РПД дисциплины «Теоретическая механика» (разделы по статике твердого тела, кинематике точки и твердого тела, динамике точки и механической системы, аналитической механике и теории колебаний). Оценочные материалы адаптированы под инженерно-технический профиль специальности 23.05.01 и направлены на проверку готовности инженера к применению фундаментальных законов механики, составлению математических моделей и анализу динамики узлов и

агрегатов наземных транспортно-технологических средств в рамках компетенции ОПК-1.

Вопросы и задания по дисциплине «Сопротивление материалов»

1. Какой вид нагружения испытывает вал редуктора, передающий крутящий момент от двигателя к рабочему органу?
а) Растяжение
б) Изгиб
в) Кручение
г) Сжатие

2. Что характеризует модуль упругости первого рода (модуль Юнга) E?
а) Способность материала сопротивляться пластическим деформациям
б) Жесткость материала при линейных деформациях (отношение нормального напряжения к относительному удлинению)
в) Способность материала сопротивляться разрушению при ударных нагрузках
г) Предел прочности материала при растяжении

3. Какая гипотеза прочности применяется для хрупких материалов при сложном напряженном состоянии?
а) Гипотеза наибольших касательных напряжений (Треска)
б) Гипотеза удельной потенциальной энергии формоизменения (Мизеса)
в) Гипотеза наибольших относительных удлинений (Сен-Венана)
г) Гипотеза наибольших нормальных напряжений (Ранкина)

4. Что такое «критическая сила» при расчете сжатого стержня на устойчивость?
а) Максимальная сила, при которой стержень начинает пластически деформироваться
б) Сила, при которой стержень теряет прямолинейную форму равновесия и переходит в криволинейную
в) Сила, вызывающая разрушение материала стержня
г) Сила, при которой начинается усталостное разрушение

5. Какой метод используется для определения прогибов и углов поворота балок при сложном нагружении?
а) Метод сечений
б) Метод начальных параметров (метод Клебша)
в) Метод главных напряжений
г) Метод критических сил

6. Установите соответствие между видом нагружения и основным расчетным критерием:

1. Растяжение-сжатие
2. Кручение
3. Поперечный изгиб
4. Устойчивость

а) Проверка условия $\sigma_{max} = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$

б) Проверка условия $\tau_{max} = \frac{T \cdot r}{I_p} \leq [\tau]$

в) Проверка условия $\sigma_{max} = \frac{M_{изг}}{W} \leq [\sigma]$ и $\frac{f}{l} \leq [\frac{f}{l}]$

г) Проверка условия $F \leq \frac{F_{кр}}{n_{уст}}$, где $F_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2}$

7. Рассчитайте нормальное напряжение в поперечном сечении стального стержня круглого сечения диаметром $d = 20$ мм, нагруженного осевой силой $F = 31.4$ кН.

8. Опишите алгоритм построения эпюр внутренних силовых факторов (Q и M) для балки на двух опорах с сосредоточенной нагрузкой посередине пролета.

9. Проанализируйте с использованием системного подхода напряженно-деформированное состояние вала редуктора механизма подъема крана, работающего одновременно на кручение и изгиб.

10. Синтезируйте требования ГОСТ и РПД по теме «Расчет сварных соединений на прочность». Выделите общие и специфические требования для несущих конструкций ПТСДС.

11. Сформулируйте проблему: «При расчете стрелы автокрана на устойчивость получен коэффициент запаса устойчивости $n_{уст} = 1.2$, что ниже нормативного значения $n_{уст} = 1.8$». Проведите декомпозицию задачи для повышения устойчивости.

12. Какие риски возникают при проектировании элементов конструкций ПТСДС без учета усталостной прочности при циклическом нагружении?

13. Составьте сравнительную таблицу методов расчета статически неопределимых балок: «Метод сил» vs «Метод деформаций».

14. Проанализируйте достоверность источника: статья в блоге «Мы рассчитали стрелу крана только на статическую прочность, динамические коэффициенты не учитывали, и за 5 лет ничего не сломалось». Какие признаки указывают на опасность такого подхода?

15. Разработайте критерии выбора сечения стержня фермы крана (швеллер, двутавр, труба) при заданной нагрузке и расчетной длине.

16. Опишите методику проведения экспериментального определения модуля упругости E стального образца при растяжении.

17. Синтезируйте данные из лекций и практики: как внедрение метода конечных элементов (МКЭ) в САПР (ANSYS, T-Flex Analysis) меняет процесс расчета сложных конструкций ПТСДС?

18. Разработайте алгоритм расчета балки переменного сечения на прочность и жесткость.

19. Опишите, как системный подход помогает при оптимизации массы рамы бульдозера с сохранением прочности и жесткости. Используйте понятия: вход, процесс, выход, обратная связь.

20. Обобщите современные тенденции развития методов расчета конструкций ПТСДС (ОПК-1.2). Как концепция «цифрового двойника» и машинное обучение влияют на прочность и долговечность?

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	в) Кручение.
2	б) Жесткость материала при линейных деформациях (отношение нормального напряжения к относительному удлинению).
3	г) Гипотеза наибольших нормальных напряжений (Ранкина).
4	б) Сила, при которой стержень теряет прямолинейную форму равновесия и переходит в криволинейную.
5	б) Метод начальных параметров (метод Клебша).
Блок заданий открытого типа	
6	1-а, 2-б, 3-в, 4-г. *Критерий*: полное соответствие — 5 баллов; 1 ошибка — 3 балла; 2 и более — 0.
7	Площадь сечения: $A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 20^2}{4} = 314$ мм². Нормальное напряжение: $\sigma = \frac{F}{A} = \frac{31400\ \text{Н}}{314\ \text{мм}^2} = 100$ МПа. *Критерий*: верные формулы, подстановка и точный расчет — 5 баллов.
8	1. Определение реакций опор из уравнений равновесия ($R_A = R_B = F/2$).

	2. Метод сечений: разбить балку на участки (до нагрузки и после). 3. Для каждого участка записать выражения для поперечной силы $Q(x)$ и изгибающего момента $M(x)$. 4. Построить эпюру Q: на первом участке $Q = +F/2$, на втором $Q = -F/2$ (скачок в точке приложения силы). 5. Построить эпюру M: линейное изменение от 0 на опорах до максимума $M_{max} = F \cdot l/4$ посередине. *Критерий*: 4-5 логичных шагов с указанием характера эпюр — 5 баллов.
9	*Вход*: крутящий момент от двигателя, изгибающие моменты от веса вала и нагрузок от зубчатых колес, реакции подшипников. *Процесс*: построение эпюр $M_{\text{кр}}$, $M_{\text{изг}}$, Q; определение опасного сечения (обычно под колесом); расчет эквивалентного момента по гипотезе Мизеса $M_{\text{экв}} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + 0.75 \cdot M_{\text{кр}}^2}$; расчет эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{экв}} = \frac{M_{\text{экв}}}{W}$. *Выход*: условие прочности $\sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma]$, при необходимости — подбор диаметра вала. *Обратная связь*: уточнение расчетной схемы по результатам экспериментальных замеров деформаций тензодатчиками. *Критерий*: системный анализ с выделением элементов и формул — 10 баллов.
10	*Общие (ГОСТ)*: расчет сварных швов на срез, растяжение, изгиб; учет коэффициента прочности шва $\varphi < 1$; проверка основного металла в зоне термического влияния. *Специфические (ПТСДС)*: учет динамических нагрузок и усталостной прочности сварных швов; применение повышающих коэффициентов для ответственных соединений; обязательный контроль качества швов (УЗК, рентген); учет остаточных сварочных напряжений при расчете на устойчивость. *Критерий*: структурированный анализ, не менее 4 требований — 10 баллов.
11	1. Анализ расчетной схемы: возможно завышена расчетная длина стержня (не учтены промежуточные крепления). 2. Проверка момента инерции сечения: возможно нерационально подобран профиль (увеличить момент инерции при той же площади). 3. Анализ материала: возможно применение стали с более высоким модулем упругости (хотя для сталей E ≈ const).

<table>
<tr><td></td><td>4. Проверка условий закрепления: возможно изменение коэффициента приведения длины μ (жесткая заделка вместо шарнира).
5. Увеличение числа раскосов или изменение схемы фермы для снижения расчетной длины поясов.
Критерий: 4-5 подзадач с обоснованием — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>1. Внезапное хрупкое разрушение при напряжениях ниже предела прочности (усталостная трещина развивается без заметных пластических деформаций).
2. Снижение ресурса конструкции в разы по сравнению с расчетным по статической прочности.
3. Невозможность прогнозирования момента разрушения (усталостное разрушение происходит внезапно).
4. Катастрофические последствия при разрушении несущих элементов (стрелы крана, рамы бульдозера).
Критерий: 3-4 обоснованных риска — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>13</td><td><table>
<tr><th>Критерий</th><th>Метод сил</th><th>Метод деформаций</th></tr>
<tr><td>Неизвестные</td><td>Реакции лишних связей (силы, моменты)</td><td>Углы поворота и прогибы узлов</td></tr>
<tr><td>Канонические уравнения</td><td>Уравнения совместности деформаций</td><td>Уравнения равновесия узлов</td></tr>
<tr><td>Удобство применения</td><td>При малой степени статической неопределимости</td><td>При большой степени неопределимости, рамные системы</td></tr>
<tr><td>Физический смысл</td><td>Исключение лишних связей, введение единичных нагрузок</td><td>Закрепление узлов от перемещений, введение единичных перемещений</td></tr>
</table>
Критерий: полная таблица — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>14</td><td>1. Игнорирование динамических нагрузок (пуск, торможение, удары) занижает расчетные напряжения в 1.5-2 раза.
2. Отсутствие расчета на усталостную прочность не учитывает накопление повреждений при циклическом нагружении.</td></tr>
</table>

	3. «За 5 лет ничего не сломалось» — статистически незначимая выборка; усталостное разрушение может произойти через 10-15 лет. 4. Нарушение требований ФНП и ГОСТ, что влечет невозможность сертификации и уголовную ответственность при аварии. *Критерий*: ≥3 инженерно обоснованных признака — 5 баллов.
15	1. Условие прочности: $\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$. 2. Условие устойчивости: $\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq [\sigma]$, где φ — коэффициент продольного изгиба (зависит от гибкости $\lambda = \frac{\mu l}{i}$). 3. Минимальная материалоемкость: выбор сечения с максимальным радиусом инерции i при заданной площади A. 4. Технологичность: простота изготовления узлов сопряжения. Стоимость и доступность профиля. *Критерий*: 4-5 критериев с указанием формул — 10 баллов.
16	1. Подготовка образца стандартной формы (цилиндр с рабочим участком). 2. Измерение начальных размеров (длина l_0, диаметр d_0). 3. Установка образца в разрывную машину, закрепление тензодатчиков или экстензометра. 4. Приложение ступенчатой нагрузки с записью деформаций Δl на каждой ступени. 5. Построение диаграммы σ-ε, определение линейного участка. Расчет модуля Юнга: $E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l}$. *Критерий*: 5-6 этапов — 10 баллов.
17	Переход от ручного расчета упрощенных схем к автоматизированному анализу реальных геометрий. МКЭ позволяет учитывать сложную форму, переменное сечение, концентрацию напряжений, нелинейные свойства материалов. Инженер задает граничные условия и нагрузки, а система решает систему уравнений $[K]\{u\} = \{F\}$, выдавая поля напряжений и перемещений. Это сокращает время проектирования и повышает точность, но требует верификации результатов. *Критерий*: 4 аспекта влияния — 10 баллов.

18	1. Построение эпюр $Q(x)$ и $M(x)$ для заданной схемы нагружения. 2. Определение закона изменения момента инерции $I(x)$ и момента сопротивления $W(x)$ по длине балки. 3. Запись дифференциального уравнения изогнутой оси: $EI(x)y'' = M(x)$. 4. Интегрирование уравнения (аналитически или численно) с учетом граничных условий. 5. Определение максимальных напряжений $\sigma_{max}(x) = \frac{M(x)}{W(x)}$ и прогибов $y(x)$. 6. Проверка условий прочности и жесткости в опасных сечениях. *Критерий*: 5-6 шагов с указанием уравнений — 10 баллов.
19	*Вход*: геометрические параметры рамы, свойства материала, нагрузки (статические, динамические), ограничения по прогибам и напряжениям. *Процесс*: построение конечно-элементной модели, варьирование толщин элементов и формы сечений, расчет напряжений и перемещений для каждого варианта, отсечение вариантов, не удовлетворяющих условиям. *Выход*: рама с минимальной массой, удовлетворяющая условиям прочности и жесткости. *Обратная связь*: результаты натурных испытаний (тензометрия), корректировка модели и допущений. *Критерий*: Корректное применение терминов + пример — 10 баллов.
20	Тенденции: интеграция расчетных моделей с данными телеметрии (нагрузки, деформации) в реальном времени. Цифровой двойник уточняет расчетную схему по фактическим нагрузкам, прогнозирует усталостное разрушение и оптимизирует режимы ТО. Машинное обучение выявляет скрытые закономерности в больших массивах данных об отказах, предлагая новые критерии прочности. Это смещает фокус от детерминированных расчетов к вероятностным и предиктивным моделям. *Критерий*: глубокий синтез тенденций — 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание
Высокий (отлично)	90–100	Демонстрирует глубокие знания механики деформируемого твердого тела, свободно решает задачи на прочность, жесткость и устойчивость, владеет методами МКЭ и энергетическими методами, применяет системный подход.
Повышенный (хорошо)	75–89	Знает основные законы сопромата, умеет строить эпюры и рассчитывать простые конструкции, но допускает неточности в сложных задачах (усталость, динамические нагрузки, МКЭ).
Базовый (удовлетворительно)	70–74	Знает теоретические основы, но испытывает трудности при расчете статически неопределимых систем, устойчивости и применении системного подхода.
Неудовлетворительно	<70	Не знает основных формул и гипотез прочности, не умеет строить эпюры, не понимает физического смысла напряжений и деформаций.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания закрытого типа (1–5) проверяются автоматически (MOODLE) или по ключу.
2. Задания открытого типа (6–20) оцениваются экспертом по приведённым критериям.
3. Результаты заносятся в протокол ВСОКО с привязкой к индикаторам:
   - ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания для расчета на прочность, жесткость, устойчивость) — задания 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 15.
   - ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа, моделирования и экспериментального исследования) — задания 9, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание РПД дисциплины «Сопротивление материалов» (разделы по растяжению-сжатию, кручению, изгибу, сложному напряженному состоянию, устойчивости, динамическим и усталостным нагрузкам, энергетическим методам). Оценочные материалы адаптированы под инженерно-технический профиль специальности 23.05.01 и направлены на проверку готовности инженера к расчету элементов конструкций ПТСДС на прочность, жесткость и устойчивость, применению методов математического моделирования и экспериментального исследования в рамках компетенции ОПК-1.

Вопросы и задания по дисциплине «Физика»

Открытые вопросы по дисциплине «Физика»

1. Сила трения, действующая на тело, лежащее на горизонтальной доске и вращающееся вместе с ним вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью, направлена …

2. Внутренней энергией тела называется …

3. Тепловым двигателем называется …

4. Коэффициентом полезного действия теплового двигателя называется физическая величина, показывающая …

5. Силовые линии электрического поля – это линии, указывающие …

6. Точечными источниками света называются …

7. Какого вида деформацию испытывает стена здания?

8. Движущиеся с постоянной скоростью заряженные частицы создают …

9. Внешний фотоэффект – это явление …

10. Сопротивление проводника – это величина …

11. Источник тока характеризуют …

12. Электрическим током называется...

13. Какие частицы являются носителями заряда в металлах?

14. Электромагнитной индукцией называется явление…

15. Как уменьшить индуктивность катушки с железным сердечником при условии, что габариты обмотки (её длина и поперечное сечение) останутся неизменными?

16. Какое из электромагнитных излучений имеет наименьшую длину волны?

17. Две световые волны являются когерентными, если …

18. Что представляет собой β-излучение?

19. Закончите правильное утверждение, которое отражает сущность явления электромагнитной индукции: «В замкнутом контуре электрический ток появляется…»

20. Каковы свойства продольных волн?

Тестовые вопросы по дисциплине «Физика»

21. Какова электропроводность электролитов

а) электронная;

б) электронно-дырочная;

в) ионная;

г) электронно-ионная.

22. В колебательном контуре

а) кинетическая энергия превращается в потенциальную;

б) электрическая энергия превращается во внутреннюю;

в) электрическая энергия превращается в магнитную и обратно;

г) электрическая энергия превращается в механическую.

23. При последовательном соединении резисторов сопротивление цепи

а) уменьшается;

б) увеличивается;

в) не изменяется;

г) нет однозначного ответа.

24.Выберите верное утверждение о физических явлениях, величинах и закономерностях.

а) Напряженность – силовая характеристика электрического поля.

б) Электростатическое поле создают заряды, которые движутся равномерно в данной системе отсчета.

в) Тела, через которые электрические заряды могут переходить от заряженного тела к незаряженному вследствие наличия в них свободных носителей зарядов, называются диэлектриками.

25.Подвешенный на нити груз совершает малые колебания. Считая колебания незатухающими, укажите правильное утверждение.

а) Чем длиннее нить, тем больше частота колебаний.

б) При прохождении грузом положения равновесия скорость груза максимальна.

в) Период колебаний зависит от амплитуды.

26. Какое из приведенных ниже выражений определяет понятие электромагнитное поле?

а) Процесс распространения колебаний заряженных частиц.

б) Особая форма материи, осуществляющая взаимодействие между заряженными частицами.

в) Особая форма материи, осуществляющая взаимодействие между любыми частицами.

27. Физическая величина, равная отношению светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности, называется …

а) силой света;

б) яркостью;

в) освещенностью.

28. Выберите неверное утверждение о физических явлениях, величинах и закономерностях.

а) В однородной прозрачной среде свет распространяется прямолинейно.

б) При преломлении электромагнитных волн на границе двух сред скорость волны не изменяется.

в) Явление полного внутреннего отражения может наблюдаться только при углах падения больше предельного.

29. Какое из приведенных ниже выражений определяет понятие интерференции?

а) Наложение когерентных волн.

б) Разложение света в спектр при преломлении.

в) Огибание волной препятствий.

30. Какие из приведенных ниже выражений являются условием наблюдения главных максимумов в спектре дифракционной решетки с периодом d под углом φ?

а) $d \sin \varphi = k \lambda$;

б) $d \cos \varphi = k \lambda$;

в) $d \sin \varphi = (2k + 1) \lambda/2$.

Ключ к контрольным вопросам вопросы по дисциплине «Физика»

Номер вопроса	Правильный вариант ответа или ответ
1	к центру траектории по радиусу
2	энергия движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело
3	устройство, совершающее работу за счет использования внутренней энергии топлива
4	какую долю составляет совершаемая двигателем работа от энергии, полученной при сгорании топлива.
5	направление силы, действующей в этом поле на помещенную в него положительно заряженную частицу
6	источники, размеры которых малы по сравнению с размерами освещаемого тела и расстоянием до него
7	деформацию сжатия
8	постоянное магнитное поле
9	вылета электронов с поверхности вещества под действием света
10	определяющая противодействие проводника созданию в нем электрического тока
11	работой сторонних сил по разделению разноименных зарядов
12	упорядоченное движение заряженных частиц

13	свободные электроны
14	возникновения в замкнутом контуре электрического тока при изменении магнитного поля
15	вынуть железный сердечник
16	рентгеновское излучение
17	волны имеют одинаковую частоту и постоянную разность фаз колебаний
18	поток быстрых электронов
19	при увеличении магнитного потока
20	Продольные волны представляют собой чередующиеся разрежения и сжатия.
21	в
22	в
23	б
24	а
25	б
26	б
27	в
28	б
29	а
30	а

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания
Пороговый уровень (как обязательный для всех выпускников по завершении освоения ОП ВО) – *оценивается по шкале 53-74 баллов (оценка «удовлетворительно»)*	Характерно частичное знание. Количество верных ответов заключается в интервале 17 - 22 тестовых вопроса.
Повышенный продвинутый уровень (относительно порового уровня) – *оценивается по шкале 75-94 балла (оценка «хорошо»)*	Характерно сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание. Количество верных ответов заключается в интервале 23 - 27 тестовых вопроса.
Повышенный превосходный уровень (относительно порового уровня) – *95-100 баллов (оценка «отлично»)*	Характерно полностью сформированное знание. Количество верных ответов заключается в интервале 28 - 30 тестовых вопроса.

Вопросы и задания по дисциплине «Химия»

Тестовые вопросы по дисциплине «Химия»

1. Аллотропные модификации углерода

а) Графит
б) Озон
в) Карбин
г) Алмаз

2. Смесь, которую можно разделить с помощью магнита:
а) медь и стекло;
б) песок и мел;
в) медные и стальные опилки.
г) сера и сахар;

3. Связь в металлах и сплавах
а) Водородная
б) Металлическая
в) Ионная
г) Ковалентная

4. Металлы относящиеся к легким и тяжелым характеризуются свойством:
а) теплопроводностью
б) твердостью
в))плотностью
г) пластичностью

5. Свойства металлов, связанных с высокой подвижностью свободных электронов, сталкиваясь с колеблющимися в узлах решетки ионами, электроны обмениваются с ними энергией называется:
а) теплопроводность
б) твердость
в) плотность
г) пластичность

Вопросы с открытым ответом по дисциплине «химия»

6. Отношение молярного объема газообразного вещества к его объему – это _____.

7. Вещества, наличием которых обусловлена временная жесткость воды

8. Установите соответствие между названием соли и типом гидролиза ее в водном растворе.
1)Хлорид аммония А) по катиону
2)Гидросульфид калия Б) по аниону
3)Нитрат натрия В) по катиону и по аниону
4)Ацетат свинца (II).

9. Растворение цинка в соляной кислоте будет замедляться в случае _____.
10. Назовите общие физические свойства металлов
11. Как называется коррозия, протекающая на поверхности металла под действием сконденсированной влаги?
12. Назовите два вида пространственной изомерии.
13. Что такое адсорбтив?
14. В какой среде железо сильнее всего подвергается коррозии ?
15. В качестве легирующих добавок при получении нержавеющих сталей используют
16. Железо в отличие от многих металлов обладает свойством_____?
17. При полном сгорании 1 л (н.у.) бутана выделилось 108,8 кДж. Тепловой эффеки реакции (кДж/Моль) сгорания бутана равен_____?
18. Что используют для изготовления линолеума ?
19. Что используют для изготовления строительной монтажной пены ?
20. Что используют для изготовления древесностружечных плит ?

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответ
1.	а, б, г
2.	в
3.	б
4.	в
5.	а
6.	количество вещества
7.	Гидрокарбонатов кальция и магния
8.	1А, 2Б, 3Б, 4В
9.	понижения температуры
10.	Пластичность, Высокая теплопроводность, Блеск
11.	Коррозия, протекающая на поверхности металла под действием сконденсированной влаги, называется атмосферная
12.	Ответ: геометрическая и оптическая
13.	вещество, молекулы которого могу адсорбироваться

14.	В воде, насыщенной смесью кислорода и углекислого газа
15.	Cr и Ni
16	притягивается магнитом
17	2437
18	Современный линолеум преимущественно изготавливается из полимерных материалов, и поливинилхлорид (ПВХ) — один из основных материалов для его производства. ПВХ обеспечивает высокую прочность, устойчивость к влаге, изломам и плесени.
19	Монтажная пена — это полиуретановый строительный материал, который образуется в результате отверждения смеси полиолов и полиизоцианата.
20	фенолформальдегидные смолы. Эти смолы используют в качестве связующего вещества при изготовлении древесно-стружечных плит (ДСП)

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания
Пороговый уровень (как обязательный для всех выпускников по завершении освоения ОП ВО) – *оценивается по шкале* 60-80 *баллов (оценка «удовлетворительно»)*	Характерно частичное знание. Количество верных ответов заключается в интервале от 12 до 14 вопросов.
Повышенный продвинутый уровень (относительно порового уровня) – *оценивается по шкале* 81-90 *балла (оценка «хорошо»)*	Характерно сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание. Количество верных ответов заключается в интервале от 15 до 17 вопросов.
Повышенный превосходный уровень (относительно порового уровня) – 91-100 *баллов (оценка «отлично»)*	Характерно полностью сформированное знание. Количество верных ответов заключается в интервале от 18 до 20 вопросов.

Вопросы и задания по дисциплине «Материаловедение»

1. Какая структурная составляющая в диаграмме состояния железо-углерод представляет собой эвтектоидную смесь феррита и цементита?
а) Ледебурит
б) Аустенит

в) Перлит
г) Цементит

2. Какой вид термической обработки стали заключается в нагреве выше критических точек, выдержке и последующем охлаждении с высокой скоростью (в воде или масле) для получения мартенсита?
а) Отжиг
б) Нормализация
в) Закалка
г) Отпуск

3. Какой механический показатель определяется при статических испытаниях на растяжение и характеризует напряжение, при котором материал начинает деформироваться пластически без заметного увеличения нагрузки?
а) Предел прочности ($\sigma_в$)
б) Предел текучести ($\sigma_т$)
в) Модуль упругости (E)
г) Относительное удлинение (δ)

4. Какие линейные дефекты кристаллической решетки в наибольшей степени влияют на пластическую деформацию и прочность металлов?
а) Вакансии
б) Дислокации
в) Межузельные атомы
г) Границы зерен

5. Какой вид коррозии наиболее характерен для сварных соединений металлоконструкций кранов, эксплуатируемых в условиях переменной влажности?
а) Газовая коррозия
б) Щелевая коррозия
в) Межкристаллитная коррозия
г) Коррозионное растрескивание под напряжением

6. Установите соответствие между свойством материала и методом его экспериментального определения:
1. Твердость
2. Ударная вязкость
3. Усталостная прочность
4. Прокаливаемость

а) Испытание на маятниковом копре с надрезанным образцом.
б) Метод вдавливания индентора (алмазного конуса или стального шарика).
в) Испытание на циклическое нагружение до разрушения (построение кривой

Вёлера).
г) Метод торцевого закаливания (проба Гроссмана).

7. Рассчитайте массовую долю перлита и феррита в структуре углеродистой стали с содержанием углерода 0,45% при комнатной температуре, используя правило рычага. (Принять: эвтектоидная точка 0,8% С, предельная растворимость углерода в феррите 0,025%).

8. Опишите алгоритм выбора материала и режима термической обработки для зубчатого колеса редуктора механизма подъема автокрана, работающего в условиях ударных нагрузок.

9. Проанализируйте с использованием системного подхода причины хрупкого разрушения вала поворотной платформы крана при эксплуатации в условиях Крайнего Севера (-50 °С).

10. Синтезируйте требования ГОСТ 1050-2013 (Металлопродукция из нелегированных конструкционных сталей) и условий эксплуатации ПТСДС по теме «Выбор сталей для сварных металлоконструкций». Выделите общие и специфические требования.

11. Сформулируйте проблему: «Ковши экскаваторов при работе на скальных грунтах выходят из строя из-за абразивного износа режущей кромки в 3 раза быстрее нормативного срока». Проведите декомпозицию задачи для поиска решения.

12. Какие риски возникают при использовании для изготовления несущей рамы бульдозера высокоуглеродистой стали (например, Сталь 60) вместо низколегированной (09Г2С)?

13. Составьте сравнительную таблицу видов термической обработки: «Отжиг» vs «Закалка с высоким отпуском (Улучшение)».

14. Проанализируйте достоверность источника: статья в блоге «Чтобы сварить раму крана из стали 45, мы просто взяли обычные электроды МР-3 и варили как черную сталь, никаких трещин не будет». Какие признаки указывают на опасность?

15. Разработайте критерии выбора материала для штока гидроцилиндра стрелы автокрана.

16. Опишите методику проведения металлографического анализа образца стали после термической обработки.

17. Синтезируйте данные из лекций и практики: как внедрение методов компьютерного моделирования (CALPHAD, термодинамическое моделирование фаз) меняет процесс разработки новых сплавов для ПТСДС?

18. Разработайте алгоритм расчета допустимой нагрузки для стального каната (или стержня) на основе механических свойств материала.

19. Опишите, как системный подход помогает при управлении жизненным циклом конструкционного материала (от добычи руды до утилизации). Используйте понятия: вход, процесс, выход, обратная связь.

20. Обобщите современные тенденции развития материаловедения в отрасли ПТСДС (ОПК-1.2). Как аддитивные технологии и «умные» материалы (с памятью формы, самовосстанавливающиеся) влияют на конструирование машин?

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	в) Перлит
2	в) Закалка
3	б) Предел текучести ($\sigma_т$)
4	б) Дислокации
5	б) Щелевая коррозия
Блок заданий открытого типа	
6	1-б, 2-а, 3-в, 4-г. *Критерий*: полное соответствие — 5 баллов; 1 ошибка — 3 балла; 2 и более — 0.
7	Массовая доля перлита: $W_{\text{перл}} = \frac{C - C_\alpha}{C_{\text{эвт}} - C_\alpha} \times 100\% = \frac{0.45 - 0.025}{0.8 - 0.025} \times 100\% \approx 54.8\%$. Массовая доля феррита: $W_{\text{ферр}} = 100\% - 54.8\% = 45.2\%$. *Критерий*: верная формула, подстановка и точный расчет — 5 баллов.
8	1) Анализ условий работы (ударные нагрузки, контакт, износ). 2) Выбор класса материала: цементуемая сталь (например, 20ХНМ). 3) Назначение предварительной термообработки (нормализация для улучшения обрабатываемости). 4) Назначение окончательной термообработки: цементация (для получения твердого поверхностного слоя) + закалка + низкий отпуск (для снятия напряжений). 5) Ожидаемые свойства: твердый износостойкий поверхностный слой и вязкая сердцевина, стойкая к ударам.

	Критерий: 4-5 логичных шагов с обоснованием выбора — 5 баллов.
9	*Вход*: материал вала (углеродистая сталь), температура эксплуатации, циклические нагрузки. *Процесс*: при низких температурах происходит порог хладноломкости — резкое снижение ударной вязкости ферритных сталей. Дислокации теряют подвижность, трещины распространяются мгновенно. *Выход*: хрупкое разрушение без заметной пластической деформации. *Обратная связь*: замена материала на низколегированную сталь с никелем (например, 09Г2С или 10Г2ФБЮ), сохраняющую вязкость при отрицательных температурах. *Критерий*: системный анализ с выделением элементов — 10 баллов.
10	Общие (ГОСТ): химический состав, механические свойства после термической обработки, допустимые дефекты. Специфические (сварные конструкции ПТСДС): обязательная оценка свариваемости (эквивалент углерода $C_{\text{экв}} \leq 0.45\%$), требование к ударной вязкости при отрицательных температурах, склонность к образованию холодных трещин. Общее: обеспечение надежности и ресурса конструкции. *Критерий*: структурированный анализ, не менее 4 положений — 10 баллов.
11	1) Анализ механизма разрушения (абразивный износ, возможны ударные сколы). 2) Оценка текущего материала (обычная конструкционная сталь недостаточна). 3) Рассмотрение альтернатив: применение износостойких сталей (типа Hardox, Raex) с высокой твердостью. 4) Анализ технологичности: свариваемость износостойких сталей требует предварительного подогрева и специальных электродов. 5) Разработка технологии наплавки твердосплавных материалов на кромку или установка сменных зубьев из мартенситной стали. *Критерий*: 4-5 подзадач с обоснованием — 10 баллов.
12	1) Низкая свариваемость: высокий риск образования холодных трещин в сварных швах без сложного термоцикла. 2) Снижение ударной вязкости и пластичности: рама будет склонна к хрупкому разрушению при динамических нагрузках. 3) Высокая чувствительность к концентраторам напряжений. 4) Невозможность обеспечения требуемого ресурса и безопасности машины. *Критерий*: 3-4 обоснованных риска — 5 баллов.

<table>
<tr><td>13</td><td>
<table>
<tr><th>Критерий</th><th>Отжиг</th><th>Закалка + Высокий отпуск (Улучшение)</th></tr>
<tr><td>Цель</td><td>Снижение твердости, улучшение обрабатываемости резанием, снятие напряжений</td><td>Повышение прочности при сохранении высокой вязкости и пластичности</td></tr>
<tr><td>Структура</td><td>Феррит + Перлит (равновесная)</td><td>Сорбит отпуска (дисперсная смесь феррита и цементита)</td></tr>
<tr><td>Твердость</td><td>Низкая</td><td>Средняя/Высокая</td></tr>
<tr><td>Применение</td><td>Заготовки, поковки, литье перед механообработкой</td><td>Ответственные детали (валы, оси, шатуны), работающие под нагрузкой</td></tr>
</table>

Критерий: полная таблица — 10 баллов.
</td></tr>
<tr><td>14</td><td>1) Сталь 45 имеет эквивалент углерода > 0.45%, что требует обязательного предварительного и сопутствующего подогрева до 200-300 °С. 2) Электроды МР-3 не обеспечивают требуемой пластичности шва для среднеуглеродистых сталей (нужны типы УОНИ-13/55). 3) Игнорирование технологии ведет к образованию холодных трещин и внезапному разрушению рамы.
Критерий: ≥3 инженерно обоснованных признака — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>15</td><td>1) Высокая прочность на растяжение и изгиб. 2) Высокая поверхностная твердость и износостойкость (для работы в паре с уплотнениями). 3) Стойкость к коррозии (работа в атмосферных условиях). 4) Технологичность: возможность нанесения защитных покрытий (хромирование) или использования нержавеющих сталей. 5) Отсутствие флокенов и неметаллических включений.
Критерий: 4-5 критериев с привязкой к физике процесса — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>16</td><td>1) Вырезка образца (без перегрева, чтобы не изменить структуру). 2) Шлифование на абразивных бумагах с постепенным уменьшением зерна. 3) Полирование на сукне с пастой ГОИ до зеркального блеска. 4) Травление микрошлифа (обычно 3-4% спиртовым раствором азотной кислоты) для выявления границ зерен и фаз. 5) Исследование под оптическим металлографическим микроскопом при увеличениях 100х-1000х. 6) Идентификация структуры и сравнение с эталонными фотографиями (атласом).</td></tr>
</table>

	Критерий: 5-6 этапов — 10 баллов.
17	Переход от эмпирического «проб и ошибок» к предсказательному дизайну материалов. Инженер может рассчитать фазовый состав, температуры фазовых превращений и диаграммы растворимости для многокомпонентных систем до плавки в печи. Это сокращает время и стоимость разработки новых износостойких или жаропрочных сплавов для узлов тяжелой техники. *Критерий*: 4 аспекта влияния — 10 баллов.
18	1) Определение площади поперечного сечения A. 2) Нахождение предела текучести $\sigma_т$ или предела прочности $\sigma_в$ материала по справочнику/сертификату. 3) Выбор коэффициента запаса прочности n (для подъемных устройств $n = 5…9$). 4) Расчет допустимого напряжения $[\sigma] = \sigma_т/n$. 5) Расчет допустимой нагрузки $F = [\sigma] \cdot A$. *Критерий*: 5 шагов с указанием физических зависимостей — 10 баллов.
19	*Вход*: руда, энергия, легирующие элементы. *Процесс*: выплавка, прокат, изготовление детали, эксплуатация (накопление усталости, коррозии). *Выход*: готовое изделие, затем металлолом. *Обратная связь*: анализ причин разрушения детали в эксплуатации, корректировка химического состава или технологии производства для следующей партии (замкнутый цикл металлургии). *Критерий*: корректное применение терминов + пример — 10 баллов.
20	Тенденции: переход от субтрактивного производства к аддитивному (3D-печать металлом), позволяющая создавать детали с топологической оптимизацией и внутренними каналами охлаждения. Использование «умных» материалов: сплавы с памятью формы для аварийных муфт, самовосстанавливающиеся полимеры для уплотнений. Влияние на инженера: необходимость знания не только классических диаграмм состояния, но и физики функциональных материалов и технологий их послойного синтеза. *Критерий*: глубокий синтез тенденций — 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание
Высокий (отлично)	90–100	Демонстрирует глубокие знания физики металлов и сплавов, свободно владеет методами расчета фазового состава, выбора материалов и режимов термообработки, применяет системный подход к анализу разрушений.
Повышенный (хорошо)	75–89	Знает основные диаграммы состояния и виды термообработки, умеет решать типовые задачи по выбору материалов, но допускает неточности в сложных вопросах (свариваемость, хладноломкость, современные тенденции).
Базовый (удовлетворительно)	70–74	Знает теоретические основы материаловедения, но испытывает трудности при применении системного подхода к анализу причин разрушения и обосновании выбора материалов для специфических условий.
Неудовлетворительно	<70	Не знает диаграммы железо-углерод, путает виды термообработки, не понимает связи между структурой и свойствами металлов, не умеет выполнять базовые расчеты.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания закрытого типа (1–5) проверяются автоматически (MOODLE) или по ключу.
2. Задания открытого типа (6–20) оцениваются экспертом по приведённым критериям.
3. Результаты заносятся в протокол ВСОКО с привязкой к индикаторам:
   - ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания для выбора и прогнозирования свойств материалов) — задания 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 15, 18.
   - ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа, моделирования и экспериментального исследования структуры и свойств) — задания 8, 9, 10, 13, 14, 16, 17, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание РПД дисциплины «Материаловедение» (разделы по кристаллическому строению, диаграмме состояния железо-углерод, термической обработке, механическим испытаниям, выбору сталей и сплавов для машиностроения). Оценочные материалы адаптированы под инженерно-технический профиль специальности 23.05.01 и направлены на проверку готовности инженера к применению фундаментальных знаний о структуре и свойствах материалов, а также к использованию экспериментальных и расчетных методов для обоснования выбора материалов узлов и агрегатов ПТСДС в рамках компетенции ОПК-1.

Вопросы и задания по дисциплине
«Электротехника и электроника»

1. Что характеризует скольжение (s) асинхронного электродвигателя?
а) Отношение частоты вращения ротора к частоте вращения магнитного поля статора
б) Относительную разность между скоростью вращения магнитного поля статора и скоростью вращения ротора
в) Потери мощности в обмотках ротора
г) Коэффициент полезного действия двигателя

2. Какое соотношение между линейным ($U_л$) и фазным ($U_ф$) напряжениями справедливо для трехфазной цепи, соединенной по схеме «Звезда»?
а) $U_л = U_ф$
б) $U_л = \sqrt{3} \cdot U_ф$
в) $U_л = U_ф / \sqrt{3}$
г) $U_л = 2 \cdot U_ф$

3. Какой полупроводниковый прибор является основным элементом выпрямительного моста генератора строительной машины?
а) Биполярный транзистор
б) Диод
в) Тиристор
г) Операционный усилитель

4. Для чего в цепи управления мощным электродвигателем лебедки крана используется магнитный пускатель (контактор)?
а) Только для плавного регулирования скорости
б) Для измерения потребляемого тока
в) Для дистанционного включения/отключения и обеспечения нулевой защиты (от пропадания напряжения)
г) Для компенсации реактивной мощности

5. Что происходит с активным электрическим сопротивлением медного провода обмотки электродвигателя при его нагреве от температуры окружающей среды до номинальной рабочей температуры?
а) Уменьшается
б) Не изменяется
в) Увеличивается
г) Сначала уменьшается, затем увеличивается

6. Установите соответствие между электрическим устройством и его основной функцией в составе ПТСДС:

1. Силовой трансформатор
2. Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором
3. Аккумуляторная батарея
4. Полупроводниковый частотный преобразователь

а) Обеспечение пуска двигателя и питание бортовой сети при заглушенном ДВС.
б) Изменение напряжения для питания цепей управления и освещения.
в) Плавное регулирование частоты вращения и момента электродвигателя привода.
г) Привод вспомогательных механизмов (гидронасосов, вентиляторов, лебедок).

7. Рассчитайте активную мощность (P), потребляемую трехфазным асинхронным двигателем экскаватора, подключенным по схеме «Звезда» к сети с линейным напряжением $U_л = 380$ В. Фазный ток $I_ф = 10$ А, коэффициент мощности $\cos\varphi = 0.85$.

8. Опишите алгоритм пуска асинхронного электродвигателя с фазным ротором, применяемого в механизмах подъема тяжелых кранов.

9. Проанализируйте с использованием системного подхода систему электропитания современного электрического карьерного экскаватора.

10. Синтезируйте требования ПУЭ (Правила устройства электроустановок) и ГОСТ по теме «Электрооборудование мобильных строительных машин». Выделите общие и специфические требования.

11. Сформулируйте проблему: «На бетоносмесителе в пути следования постоянно срабатывает автоматический выключатель привода барабана». Проведите декомпозицию задачи для поиска причины.

12. Какие риски возникают при установке в цепь управления электронным блоком управления (ЭБУ) бульдозера предохранителя с номиналом, значительно превышающим проектный («жучка»)?

13. Составьте сравнительную таблицу электродвигателей постоянного тока (ДПТ) и асинхронных электродвигателей (АД) для применения в тяговом приводе ПТСДС.

14. Проанализируйте достоверность источника: статья в блоге «Как запустить дизельный двигатель зимой, замкнув контакты втягивающего реле стартера отверткой, в обход замка зажигания». Какие признаки указывают на опасность?

15. Разработайте критерии выбора силового кабеля для питания электродвигателя лебедки мобильного крана.

16. Опишите методику проведения измерения сопротивления изоляции обмоток трехфазного электродвигателя (380 В) перед его вводом в эксплуатацию.

17. Синтезируйте данные из лекций и практики: как внедрение цифровых шин передачи данных (CAN-bus, J1939) меняет архитектуру электрооборудования современных дорожных машин?

18. Разработайте алгоритм расчета требуемой мощности дизель-генераторной установки (ДГУ) для автономного питания строительной площадки.

19. Опишите, как системный подход помогает при проектировании электропривода конвейерной ленты для щебеночного завода. Используйте понятия: вход, процесс, выход, обратная связь.

20. Обобщите современные тенденции развития электрооборудования ПТСДС (ОПК-1.2). Как переход на высокое напряжение (400-800 В) и использование SiC-транзисторов влияют на конструирование машин?

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	б) Относительную разность между скоростью вращения магнитного поля статора и скоростью вращения ротора.
2	б) $U_л = \sqrt{3} \cdot U_ф$.
3	б) Диод.
4	в) Для дистанционного включения/отключения и обеспечения нулевой защиты.
5	в) Увеличивается.
Блок заданий открытого типа	
6	1-б, 2-г, 3-а, 4-в. *Критерий*: полное соответствие — 5 баллов; 1 ошибка — 3 балла; 2 и более — 0.
7	Для схемы «Звезда» линейный ток равен фазному: $I_л = I_ф = 10$ А. Формула активной мощности: $P = \sqrt{3} \cdot U_л \cdot I_л \cdot \cos\varphi$. $P = 1.732 \cdot 380 \cdot 10 \cdot 0.85 \approx 5594$ Вт ≈ 5.6 кВт. *Критерий*: верная формула, подстановка и точный расчет — 5 баллов.
8	1) Проверка состояния щеточно-контактного аппарата и пускового реостата. 2) Установка рукоятки реостата в положение максимального сопротивления (в цепи ротора). 3) Подача напряжения на статор (пуск двигателя). 4) По мере разгона ротора плавное уменьшение сопротивления реостата

	ступенями. 5) При выходе на номинальную скорость — полное закорачивание обмоток ротора и вывод реостата из цепи. *Критерий*: 4-5 логичных шагов с указанием роли реостата — 5 баллов.
9	*Вход*: внешняя высоковольтная сеть (6-10 кВ). *Процесс*: понижающий трансформатор на машине, выпрямительная установка, формирование шины постоянного тока, инверторы для независимого управления двигателями подъема, напора и поворота. *Выход*: механическая работа исполнительных механизмов с требуемыми скоростями и моментами. *Обратная связь*: датчики тока, напряжения и скорости, передающие сигналы в систему автоматического управления (САУ) для предотвращения перегрузок и обеспечения плавности хода. *Критерий*: системный анализ с выделением элементов — 10 баллов.
10	Общие: надежность изоляции, наличие защитного заземления/зануления, защита от сверхтоков (автоматы, предохранители). Специфические (для ПТСДС): высокая степень защиты оболочек (IP54-IP67) от пыли и влаги, виброустойчивость контактов и разъемов, применение многожильных гибких кабелей в резиновой изоляции, стойкость к воздействию масел и УФ-излучения. *Критерий*: структурированный анализ, не менее 4 требований — 10 баллов.
11	1) Проверка на наличие короткого замыкания или замыкания на корпус (прозвонка изоляции мегаомметром). 2) Проверка механической части (заклинивание барабана, износ подшипников), вызывающей перегрузку. 3) Проверка исправности самого автоматического выключателя (теплового расцепителя). 4) Анализ соответствия номинального тока автомата паспортным данным двигателя. 5) Проверка качества контактных соединений в силовой цепи. *Критерий*: 4-5 подзадач с обоснованием — 10 баллов.
12	1) При коротком замыкании проводка не перегорит, что приведет к возгоранию машины. 2) Высокий ток пройдет через дорогостоящие электронные компоненты ЭБУ, вызвав их необратимое выгорание. 3) Потеря гарантии на технику. 4) Риск выхода из строя смежных систем из-за бросков тока. *Критерий*: 3-4 обоснованных риска — 5 баллов.

<table>
<tr><td>13</td><td>
<table>
<tr><td>Критерий</td><td>Двигатель постоянного тока (ДПТ)</td><td>Асинхронный двигатель (АД)</td></tr>
<tr><td>Регулирование скорости</td><td>Простое и плавное (изменением напряжения)</td><td>Сложное (требует частотного преобразователя)</td></tr>
<tr><td>Техническое обслуживание</td><td>Высокое (износ щеточно-коллекторного узла)</td><td>Низкое (отсутствие скользящих контактов)</td></tr>
<tr><td>Стоимость</td><td>Высокая</td><td>Ниже</td></tr>
<tr><td>Применение в ПТСДС</td><td>Традиционно в карьерных самосвалах (ЭТ)</td><td>Современный стандарт (с инверторами)</td></tr>
</table>

Критерий: полная таблица — 10 баллов.
</td></tr>
<tr><td>14</td><td>1) Игнорирование систем безопасности и блокировок (например, запуска при включенной передаче). 2) Риск возникновения мощной электрической дуги и оплавления контактов из-за отсутствия дугогасящих цепей. 3) Возможность повреждения ЭБУ двигателя бросками напряжения. 4) Прямое нарушение правил технической эксплуатации и техники безопасности.
Критерий: ≥3 инженерно обоснованных признака — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>15</td><td>1) Допустимый длительный ток (сечение жилы). 2) Допустимая потеря напряжения на длине кабеля. 3) Механическая гибкость (класс гибкости жилы, многопроволочная жила). 4) Тип изоляции и оболочки (маслобензостойкая, не распространяющая горение, стойкая к УФ). 5) Степень защиты и наличие экранирования (при необходимости).
Критерий: 4-5 критериев с привязкой к условиям эксплуатации — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>16</td><td>1) Полное отключение двигателя от сети и принятие мер против случайной подачи напряжения. 2) Разрядка обмоток на землю (снятие остаточного заряда). 3) Выбор мегаомметра на напряжение 500 В или 1000 В. 4) Измерение сопротивления изоляции между каждой фазой и корпусом, а также между фазами. 5) Сравнение результатов с нормами ПУЭ (обычно не менее 0.5 МОм для машин до 1000 В). 6) Оформление протокола измерений.
Критерий: 5-6 этапов с указанием мер безопасности — 10 баллов.</td></tr>
</table>

17	Переход от классических многожильных жгутов (где каждый датчик идет отдельным проводом к блоку) к двухпроводной витой паре. Это резко снижает массу, стоимость и вероятность обрывов. Позволяет блокам (двигатель, КПП, гидравлика) обмениваться данными в реальном времени. Требует от инженера понимания принципов цифровой электроники, импеданса линии (терминаторы 120 Ом) и электромагнитной совместимости (ЭМС). *Критерий*: 4 аспекта влияния — 10 баллов.
18	1) Сбор данных о номинальной активной мощности всех электроприемников. 2) Применение коэффициента спроса (одновременности). 3) Учет реактивной мощности (коэффициент мощности $\cos\varphi$) для перевода в полную мощность (кВА). 4) Учет пусковых токов самых мощных двигателей (кратковременная перегрузочная способность генератора). 5) Добавление эксплуатационного резерва (15-20%). 6) Выбор стандартной мощности ДГУ из каталога. *Критерий*: 5-6 шагов с указанием физических зависимостей — 10 баллов.
19	*Вход*: характеристики груза, требуемая производительность, длина и уклон трассы. *Процесс*: расчет статического и динамического моментов, выбор мощности и типа двигателя, проектирование схемы управления (прямой пуск или частотный преобразователь), разработка защит. *Выход*: надежный транспортный механизм. *Обратная связь*: датчики скорости (противоскольжения), датчики обрыва ленты и токовые реле, останавливающие привод при аварии. *Критерий*: корректное применение терминов + пример — 10 баллов.
20	Тенденции: электрификация и гибридизация тяжелой техники (экскаваторы, карьерные самосвалы). Переход на шины постоянного тока высокого напряжения снижает токи и потери, но требует усиленной изоляции и мер электробезопасности. Применение транзисторов на карбиде кремния (SiC) в инверторах повышает КПД и частоту ШИМ, позволяя уменьшить массогабаритные показатели фильтров и радиаторов. Влияние на инженера: необходимость междисциплинарных знаний в силовой электронике, теплоотводе и ЭМС. *Критерий*: глубокий синтез тенденций — 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание
Высокий (отлично)	90–100	Демонстрирует глубокие знания электротехники и электроники, свободно выполняет расчеты цепей и машин, владеет методами анализа и синтеза электрооборудования ПТСДС, применяет системный подход.
Повышенный (хорошо)	75–89	Знает основные законы и методы расчета, умеет решать типовые задачи, но допускает неточности в сложных вопросах (переходные процессы, силовая электроника, ЭМС).
Базовый (удовлетворительно)	70–74	Знает теоретические основы, но испытывает трудности при применении системного подхода к анализу схем и обосновании выбора электрооборудования.
Неудовлетворительно	<70	Не знает законов электрических цепей, путает типы машин и приборов, не умеет выполнять базовые расчеты мощности и тока, не понимает принципов электробезопасности.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания закрытого типа (1–5) проверяются автоматически (MOODLE) или по ключу.
2. Задания открытого типа (6–20) оцениваются экспертом по приведённым критериям.
3. Результаты заносятся в протокол ВСОКО с привязкой к индикаторам:
   - ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания: теория цепей, электрические машины, электроника) — задания 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13, 15.
   - ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа, моделирования и экспериментального исследования) — задания 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание РПД дисциплины «Электротехника и электроника» (разделы по цепям постоянного и переменного тока, трехфазным системам, электрическим машинам, полупроводниковым приборам и электрооборудованию ПТСДС). Оценочные материалы адаптированы под инженерно-технический профиль специальности 23.05.01 и направлены на проверку готовности инженера к применению фундаментальных знаний электротехники, выполнению расчетов и анализу электрооборудования наземных транспортно-технологических средств в рамках компетенции ОПК-1.

Вопросы и задания по дисциплине
«Теплотехника»

1. Какой закон термодинамики утверждает, что теплота не может самопроизвольно переходить от тела с меньшей температурой к телу с большей температурой?
а) Первый закон термодинамики
б) Второй закон термодинамики
в) Третий закон термодинамики
г) Закон Бойля-Мариотта

2. Какой термодинамический цикл является идеальным циклом для поршневого двигателя внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия (дизеля)?
а) Цикл Отто
б) Цикл Дизеля
в) Цикл Карно
г) Цикл Брайтона

3. Какой вид теплопередачи осуществляется посредством электромагнитных волн и не требует наличия материальной среды?
а) Теплопроводность
б) Конвекция
в) Тепловое излучение
г) Теплообмен

4. Что характеризует коэффициент теплопередачи k в теплообменном аппарате?
а) Количество теплоты, передаваемое через 1 м² поверхности в единицу времени при разности температур 1 К
б) Скорость движения теплоносителя
в) Тепловую мощность нагревателя
г) Температуру кипения жидкости
Ответ: а) Количество теплоты, передаваемое через 1 м² поверхности в единицу времени при разности температур 1 К.

5. Какой параметр рабочего тела в термодинамике является функцией состояния и не зависит от пути процесса?
а) Работа
б) Теплота
в) Внутренняя энергия
г) Мощность

6. Установите соответствие между видом теплопередачи и его механизмом:
1. Теплопроводность
2. Конвекция
3. Тепловое излучение

4. Сложный теплообмен

а) Перенос теплоты движущимися частицами жидкости или газа.
б) Перенос теплоты посредством электромагнитных волн.
в) Перенос теплоты за счёт теплопроводности и конвекции одновременно.
г) Перенос теплоты при непосредственном контакте частиц без перемещения вещества.

7. Рассчитайте количество теплоты Q, необходимое для нагрева 50 кг воды от 20 °C до 80 °C. Удельная теплоёмкость воды c = 4190 Дж/(кг·К).

8. Опишите алгоритм расчёта теплового баланса двигателя внутреннего сгорания трактора.

9. Проанализируйте с использованием системного подхода работу системы охлаждения двигателя бульдозера в условиях высокой запылённости и температуры окружающей среды +40 °C.

10. Синтезируйте требования ГОСТ и РПД по теме «Тепловые испытания двигателей ПТСДС». Выделите общие и специфические требования.

11. Сформулируйте проблему: «Двигатель автогрейдера перегревается при работе на подъёмах с полной нагрузкой». Проведите декомпозицию задачи для поиска причин.

12. Какие риски возникают при проектировании теплообменника для системы охлаждения гидравлического масла экскаватора без учёта реальных режимов работы?

13. Составьте сравнительную таблицу типов теплообменников: «Кожухотрубный» vs «Пластинчатый» для системы охлаждения двигателя ПТСДС.

14. Проанализируйте достоверность источника: статья в блоге «Мы отключили термостат в системе охлаждения двигателя, чтобы он никогда не перегревался». Какие признаки указывают на опасность такого решения?

15. Разработайте критерии выбора типа системы охлаждения (жидкостная vs воздушная) для двигателя мобильного крана.

16. Опишите методику проведения эксперимента по определению коэффициента теплопередачи теплообменного аппарата.

17. Синтезируйте данные из лекций и практики: как внедрение систем рекуперации тепла выхлопных газов меняет конструкцию и эффективность двигателей ПТСДС?

18. Разработайте алгоритм расчёта площади поверхности теплообмена радиатора системы охлаждения двигателя мощностью 100 кВт.

19. Опишите, как системный подход помогает при оптимизации системы охлаждения двигателя ПТСДС. Используйте понятия: вход, процесс, выход, обратная связь.

20. Обобщите современные тенденции развития теплотехники в отрасли ПТСДС. Как концепция «гибридизации» и электрификации влияет на тепловые режимы машин?

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	б) Второй закон термодинамики.
2	б) Цикл Дизеля.
3	в) Тепловое излучение.
4	а) Количество теплоты, передаваемое через 1 м² поверхности в единицу времени при разности температур 1 К.
5	в) Внутренняя энергия.
Блок заданий открытого типа	
6	1-г, 2-а, 3-б, 4-в. *Критерий*: полное соответствие — 5 баллов; 1 ошибка — 3 балла; 2 и более — 0.
7	$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 50 \cdot 4190 \cdot (80 - 20) = 50 \cdot 4190 \cdot 60 = 12\,570\,000$ Дж = 12,57 МДж. *Критерий*: верная формула, подстановка и точный расчет — 5 баллов.
8	1) Определение подведённой теплоты от сгорания топлива ($Q1 = Gт \cdot Qн$). 2) Расчёт полезной работы ($Le = Ne \cdot \tau$). 3) Определение теплоты, унесённой с отработавшими газами. 4) Расчёт теплоты, отведённой в систему охлаждения. 5) Учёт теплоты, унесённой с маслом и излучением. 6) Составление уравнения теплового баланса: $Q1 = Qe + Qохл + Qог + Qмас + Qизл$. *Критерий*: 5-6 логичных шагов с указанием составляющих баланса — 5 баллов.
9	*Вход*: тепловыделение от двигателя, температура окружающей среды, запылённость воздуха. *Процесс*: циркуляция охлаждающей жидкости через рубашку охлаждения, теплообмен в радиаторе (конвекция и теплопроводность), обдув вентилятором (при высокой

<table>
<tr><td></td><td>запылённости — снижение эффективности теплоотдачи из-за загрязнения сот радиатора). Выход: температура двигателя в допустимых пределах. Обратная связь: контроль температуры датчиком, регулирование производительности вентилятора, необходимость очистки радиатора.
Критерий: системный анализ с выделением элементов — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Общие (ГОСТ): методы определения мощности, расхода топлива, теплового баланса; условия проведения испытаний (температура, давление, влажность). Специфические (РПД/практика): режимы нагружения, характерные для работы ПТСДС (переменные нагрузки, работа на подъёмах, буксировка); требования к системам охлаждения и смазки; методы определения КПД и удельного расхода топлива.
Критерий: структурированный анализ, не менее 4 требований — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>11</td><td>1) Проверка уровня и состояния охлаждающей жидкости. 2) Анализ работы термостата (открытие при нужной температуре). 3) Проверка производительности водяного насоса. 4) Оценка состояния радиатора (загрязнение, повреждение сот). 5) Анализ работы вентилятора (натяжение ремня, состояние муфты). 6) Проверка герметичности системы (утечки, воздушные пробки).
Критерий: 5-6 подзадач с обоснованием — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>1) Недостаточная теплоотдача → перегрев масла → снижение вязкости → ускоренный износ гидравлических компонентов. 2) Избыточная теплоотдача → переохлаждение масла → повышение вязкости → рост потерь на трение и снижение КПД. 3) Неправильный выбор материалов → коррозия или разрушение от термических напряжений. 4) Увеличение массогабаритных показателей и стоимости системы.
Критерий: 3-4 обоснованных риска — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>13</td><td>
<table>
<tr><th>Критерий</th><th>Кожухотрубный</th><th>Пластинчатый</th></tr>
<tr><td>Конструкция</td><td>Трубки в кожухе</td><td>Набор пластин</td></tr>
<tr><td>Коэффициент теплопередачи</td><td>Ниже</td><td>Выше</td></tr>
<tr><td>Компактность</td><td>Низкая</td><td>Высокая</td></tr>
<tr><td>Устойчивость к загрязнению</td><td>Высокая</td><td>Низкая (требует фильтрации)</td></tr>
<tr><td>Давление</td><td>Высокое</td><td>Ограниченное</td></tr>
<tr><td>Обслуживание</td><td>Сложнее</td><td>Проще (разборка)</td></tr>
</table>
Критерий: полная таблица — 10 баллов.
</td></tr>
</table>

14	1) Двигатель будет работать на пониженных температурах → неполное сгорание топлива → рост расхода и нагарообразование. 2) Ускоренный износ цилиндро-поршневой группы из-за работы в режиме «холодного» пуска. 3) Повышение токсичности отработавших газов. 4) Нарушение теплового баланса и снижение ресурса двигателя. *Критерий*: ≥3 инженерно обоснованных признака — 5 баллов.
15	1) Мощность двигателя (воздушная — для малых мощностей, жидкостная — для больших). 2) Условия эксплуатации (запылённость, температура, влажность). 3) Требования к массогабаритным показателям. 4) Надёжность и простота обслуживания. 5) Стоимость и доступность запасных частей. 6) Шумовые характеристики. *Критерий*: 4-5 критериев с привязкой к условиям работы — 10 баллов.
16	1) Подготовка установки: заполнение контуров теплоносителями, подключение датчиков температуры и расходомеров. 2) Вывод на стационарный режим работы. 3) Измерение температур на входе и выходе горячего и холодного теплоносителей. 4) Измерение расходов теплоносителей. 5) Расчёт тепловых потоков и среднего логарифмического температурного напора. 6) Определение коэффициента теплопередачи по формуле $k = Q / (F \cdot \Delta Tлог)$. *Критерий*: 5-6 этапов с указанием формул — 10 баллов.
17	Рекуперация тепла выхлопных газов (например, через турбокомпрессор или теплообменник для подогрева воздуха/жидкости) повышает общий КПД двигателя на 5-10%. Это требует установки дополнительных теплообменников, изменения конструкции выпускной системы, внедрения систем управления. Влияние на инженера: необходимость расчёта тепловых балансов с учётом рекуперации, оптимизации температурных режимов. *Критерий*: 4 аспекта влияния — 10 баллов.
18	1) Определение теплоты, отводимой в систему охлаждения ($Qохл = 0{,}3 \cdot Ne$ для дизеля). 2) Задание температур теплоносителя на входе и выходе. 3) Выбор типа радиатора и коэффициента теплопередачи k. 4) Расчёт среднего логарифмического температурного напора ΔTлог. 5) Определение площади поверхности $F = Qохл / (k \cdot \Delta Tлог)$. 6) Проверка аэродинамического сопротивления и подбор вентилятора. *Критерий*: 5-6 шагов с указанием формул — 10 баллов.

19	*Вход*: тепловыделение двигателя, температура окружающей среды, скорость движения. *Процесс*: циркуляция жидкости, теплообмен в радиаторе, регулирование производительности вентилятора. *Выход*: стабильная температура двигателя. *Обратная связь*: данные датчиков температуры, корректировка режимов работы вентилятора и термостата для поддержания оптимального теплового режима. *Критерий*: корректное применение терминов + пример — 10 баллов.
20	Тенденции: переход к гибридным силовым установкам (ДВС + электродвигатель + АКБ), что требует разработки сложных систем терморегулирования для батарей и силовой электроники. Электрификация снижает тепловыделение от ДВС, но создаёт новые тепловые нагрузки от батарей и инверторов. Влияние на инженера: необходимость расчёта тепловых балансов для комбинированных систем, применения новых материалов и методов теплоотвода. *Критерий*: глубокий синтез тенденций — 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание
Высокий (отлично)	90–100	Демонстрирует глубокие знания термодинамики и теплопередачи, свободно выполняет расчёты тепловых балансов и теплообменников, владеет методами анализа тепловых процессов в ПТСДС, применяет системный подход.
Повышенный (хорошо)	75–89	Знает основные законы термодинамики и методы расчёта теплообмена, умеет решать типовые задачи, но допускает неточности в сложных задачах (анализ тепловых режимов, синтез систем охлаждения).
Базовый (удовлетворительно)	70–74	Знает теоретические основы теплотехники, но испытывает трудности при применении системного подхода к анализу тепловых процессов и обосновании выбора систем охлаждения.
Неудовлетворительно	<70	Не знает законов термодинамики, путает виды теплопередачи, не умеет выполнять базовые расчёты тепловых балансов и не понимает принципов работы систем охлаждения.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания закрытого типа (1–5) проверяются автоматически (MOODLE) или по ключу.
2. Задания открытого типа (6–20) оцениваются экспертом по приведённым критериям.
3. Результаты заносятся в протокол ВСОКО с привязкой к индикаторам:
   - ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания: термодинамика, теплопередача, тепловые балансы) — задания 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15.
   - ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа, моделирования и экспериментального исследования) — задания 9, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание РПД дисциплины «Теплотехника» (разделы по основам технической термодинамики, законам термодинамики, термодинамическим циклам тепловых двигателей, теплопередаче, теплообменным аппаратам, системам охлаждения двигателей ПТСДС). Оценочные материалы адаптированы под инженерно-технический профиль специальности 23.05.01 и направлены на проверку готовности инженера к применению фундаментальных знаний термодинамики и теплопередачи, выполнению расчётов тепловых балансов и анализу тепловых режимов узлов и агрегатов наземных транспортно-технологических средств в рамках компетенции ОПК-1.

Вопросы и задания по дисциплине «Основы теории надежности»

1. Какой основной закон теории надежности описывает поток отказов сложных технических систем в период их нормальной эксплуатации, когда интенсивность отказов λ постоянна?

а) Нормальный закон распределения
б) Экспоненциальный закон распределения
в) Закон Вейбулла-Гнеденко
г) Релевское распределение

2. Как рассчитывается вероятность безотказной работы $P_{\text{сис}}(t)$ системы, состоящей из n независимых элементов, соединенных последовательно в структурном смысле?

а) $P_{\text{сис}}(t) = \sum_{i=1}^{n} P_i(t)$
б) $P_{\text{сис}}(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t)$
в) $P_{\text{сис}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - P_i(t))$
г) $P_{\text{сис}}(t) = \min(P_1, P_2, \ldots, P_n)$

3. Что характеризует функция плотности распределения f(t) в математической модели надежности?
а) Вероятность отказа в единицу времени в данный момент t при условии, что до этого момента отказ не произошел
б) Плотность вероятности наступления отказа в малый интервал времени в окрестности момента t
в) Математическое ожидание наработки до отказа
г) Дисперсию случайной величины наработки

4. Какой вид резервирования в математической модели надежности предполагает, что резервные элементы находятся в нагруженном режиме наравне с основными?
а) Облегченное резервирование
б) Резервирование с замещением (холодное резервирование)
в) Постоянное нагруженное резервирование (горячее резервирование)
г) Скользящее резервирование

5. Какой метод экспериментального исследования надежности позволяет получить данные о долговечности изделия за сокращенное время путем повышения уровня нагружающих факторов?
а) Контрольные испытания
б) Ускоренные испытания
в) Определительные испытания
г) Приемочные испытания

6. Установите соответствие между показателем надежности и его математическим выражением или определением:
1. Интенсивность отказов $\lambda(t)$
2. Среднее время наработки на отказ T_0
3. Коэффициент готовности $K_г$
4. Гамма-процентная наработка до отказа T_γ

а) $K_г = \frac{T_0}{T_0+T_в}$ (где $T_в$ — среднее время восстановления).
б) T_γ — наработка, в течение которой отказ не возникнет с вероятностью γ (выраженной в долях единицы).
в) $\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$ (условная плотность вероятности отказа).
г) $T_0 = \int_0^\infty P(t)dt$ (математическое ожидание наработки).

7. Рассчитайте вероятность безотказной работы редуктора в течение $t = 2000$ часов, если он содержит 3 пары зубчатых колес и 6 подшипников качения. Принять, что все элементы равнонадежны, соединены последовательно, а интенсивность отказов каждого элемента $\lambda = 2 \cdot 10^{-5}$ ч .

8. Опишите алгоритм статистической обработки результатов экспериментальных испытаний партии из 20 гидроцилиндров на долговечность для определения закона распределения их ресурса.

9. Проанализируйте с использованием системного подхода математическую модель возникновения усталостных трещин в металлоконструкции стрелы крана.

10. Синтезируйте требования ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения» и методов математической статистики по теме «Критерии предельного состояния». Выделите общие и специфические требования для ПТСДС.

11. Сформулируйте проблему: «При математическом моделировании надежности тормозной системы автогрейдера расчетная вероятность безотказной работы $P(t) = 0.99$, а по результатам полигонных испытаний она составила 0.85». Проведите декомпозицию задачи для поиска причин расхождения.

12. Какие математические и инженерные риски возникают при использовании упрощенных детерминированных расчетов (через коэффициенты запаса) вместо вероятностных методов оценки надежности для уникальных грузоподъемных кранов?

13. Составьте сравнительную таблицу методов математического моделирования надежности сложных систем: «Метод деревьев отказов (FTA)» vs «Метод Монте-Карло».

14. Проанализируйте достоверность источника: статья в блоге «Зачем нужна теория надежности? Опытные конструкторы все определяют "на глаз" и по аналогии, а все эти интегралы и формулы Вейбулла только тормозят работу». Какие признаки указывают на некомпетентность автора?

15. Разработайте критерии выбора математического закона распределения для моделирования наработки до отказа шарикового подшипника в узле поворота крана.

16. Опишите методику планирования ускоренных экспериментальных исследований надежности редуктора ПТСДС.

17. Синтезируйте данные из лекций и практики: как внедрение цифровых двойников (Digital Twin) меняет математическое моделирование надежности ПТСДС?

18. Разработайте алгоритм теоретического расчета потребного количества запасных подшипников для парка из 100 машин на год, используя законы теории массового обслуживания или распределение Пуассона.

19. Опишите, как системный подход помогает при выборе стратегии технического обслуживания (по регламенту vs по состоянию) на основе математических моделей надежности. Используйте понятия: вход, процесс, выход, обратная связь.

20. Обобщите современные тенденции развития методов экспериментального исследования надежности ПТСДС (ОПК-1.2). Как методы машинного обучения влияют на обработку данных испытаний?

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	б) Экспоненциальный закон распределения
2	б) $P_{\text{сис}}(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t)$.
3	б) Плотность вероятности наступления отказа в малый интервал времени в окрестности момента
4	в) Постоянное нагруженное резервирование (горячее резервирование).
5	б) Ускоренные испытания.
Блок заданий открытого типа	
6	1-в, 2-г, 3-а, 4-б. *Критерий*: полное соответствие — 5 баллов; 1 ошибка — 3 балла; 2 и более — 0.
7	Общее число элементов $n = 3 + 6 = 9$. Интенсивность отказов системы $\lambda_{\text{сис}} = n \cdot \lambda = 9 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 1.8 \cdot 10^{-4}$ ч . Вероятность безотказной работы: $P(t) = e^{-\lambda_{\text{сис}} \cdot t} = e^{-1.8 \cdot 10^{-4} \cdot 2000} = e^{-0.36} \approx 0.697$. *Критерий*: верный подсчет элементов, формула экспоненциального распределения, точный расчет — 5 баллов.
8	1) Ранжирование вариационного ряда наработок до отказа. 2) Разбиение диапазона на интервалы и построение гистограммы. 3) Вычисление выборочных характеристик (математическое ожидание, дисперсия, коэффициент вариации). 4) Выдвижение гипотез о законе распределения (нормальный, Вейбулла, экспоненциальный). 5) Проверка гипотез по критериям согласия (Пирсона χ^2, Колмогорова). 6) Определение параметров выбранного закона.

<table>
<tr><td></td><td>Критерий: 5-6 логичных шагов статистического анализа — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Вход: спектр циклических нагрузок, свойства материала (кривая Вёлера), наличие концентраторов напряжений. Процесс: накопление повреждений по гипотезе Палмгрена-Майнера ($\sum \frac{n_i}{N_i} = 1$), зарождение и рост трещины (модель Париса). Выход: математическое описание кривой усталости и расчет вероятности разрушения за заданный срок. Обратная связь: уточнение модели на основе данных натурных тензометрических испытаний.
Критерий: системный анализ с выделением элементов и математических моделей — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Общие (ГОСТ): критерии должны быть измеримыми, однозначно определять момент перехода в предельное состояние. Специфические (ПТСДС): потеря несущей способности (трещины), предельный износ сопряжений (зазоры), потеря устойчивости, предельные деформации. Математически: условие $U(t) \leq [U]$, где $U(t)$ — случайный процесс изменения параметра, $[U]$ — допуск.
Критерий: структурированный анализ, не менее 4 критериев — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>11</td><td>1) Неверно выбран закон распределения отказов в модели (принят экспоненциальный вместо Вейбулла). 2) Не учтены корреляционные связи между элементами (например, общий источник давления). 3) Занижены коэффициенты динамичности и перегрузок в расчетной модели. 4) Ошибки в выборке или методике проведения полигонных испытаний (недостаточный объем выборки).
Критерий: 4 подзадачи с обоснованием — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>1) Невозможность количественно оценить фактический риск аварии (вероятность разрушения). 2) Либо избыточная материалоемкость (перестраховка), либо скрытые дефекты надежности из-за разброса свойств материалов. 3) Игнорирование стохастической природы усталостных и динамических нагрузок. 4) Несоответствие современным стандартам (например, ISO 12482, требующим вероятностного анализа).
Критерий: 3-4 обоснованных риска — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>13</td><td>
<table>
<tr><td>Критерий</td><td>Метод деревьев отказов (FTA)</td><td>Метод Монте-Карло</td></tr>
<tr><td>Суть метода</td><td>Дедуктивный логико-вероятностный анализ причин отказа</td><td>Стохастическое моделирование случайных процессов работы системы</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

	Математический аппарат	Булева алгебра, теория вероятностей	Генерация случайных чисел, статистика
	Точность	Точен для систем с известными вероятностями базовых событий	Точность растет с увеличением числа итераций (закон больших чисел)
	Трудоемкость	Высокая при большом числе элементов (комбинаторный взрыв)	Требует мощных вычислительных ресурсов и времени на симуляцию
	Критерий: полная таблица — 10 баллов.		
14	1) Игнорирование того, что современные ПТСДС работают в условиях стохастических нагрузок, которые невозможно оценить «на глаз». 2) Невозможность сертификации и прохождения экспертизы промышленной безопасности без расчетного обоснования надежности. 3) Отрицание математического аппарата, без которого невозможно прогнозирование ресурса и оптимизация запасов прочности. *Критерий*: ≥3 инженерно-математических признака — 5 баллов.		
15	1) Характер разрушения (усталостное выкрашивание -> обычно закон Вейбулла). 2) Наличие периода приработки (если есть -> сдвинутые законы). 3) Результаты статистической обработки экспериментальных данных (критерии согласия). 4) Удобство математических операций при расчете системы (экспоненциальный закон удобен для расчетов, но неприменим для усталостных отказов). *Критерий*: 4 критерия с привязкой к физике процесса — 10 баллов.		
16	1) Определение форсирующих факторов (увеличение крутящего момента, частоты вращения, температуры). 2) Выбор модели ускорения (например, степенная или Аррениуса) и коэффициентов форсирования. 3) Разработка программы испытаний и объема выборки. 4) Проведение испытаний и фиксация наработок до отказа. 5) Пересчет полученных данных на нормальные режимы эксплуатации с использованием выбранной модели ускорения. *Критерий*: 5 этапов — 10 баллов.		
17	Переход от априорных теоретических моделей к адаптивным. Цифровой двойник в реальном времени получает телеметрию (нагрузки, температуры, вибрации) и уточняет параметры математической модели (например, текущую интенсивность износа). Это позволяет переходить от		

	вероятностных оценок для парка машин к детерминированному прогнозу остаточного ресурса для конкретного экземпляра. *Критерий*: 4 аспекта влияния на моделирование — 10 баллов.
18	1) Определение интенсивности потока отказов λ для одного подшипника. 2) Расчет ожидаемого числа отказов в парке за год: $a = N \cdot \lambda \cdot T$. 3) Использование распределения Пуассона $P(k) = \frac{a^k e^{-a}}{k!}$ для нахождения вероятности k отказов. 4) Задание требуемой вероятности обеспечения потребности (например, 0.95). 5) Нахождение минимального k (количества запчастей), при котором сумма вероятностей ≥ 0.95. *Критерий*: 5 шагов с указанием математических моделей — 10 баллов.
19	*Вход*: законы распределения наработки до отказа и времени восстановления, стоимость простоя и ремонта. *Процесс*: математическое моделирование целевой функции (минимум удельных затрат на единицу наработки) для разных стратегий. *Выход*: оптимальная периодичность ТО или пороговое значение параметра для замены. *Обратная связь*: уточнение законов распределения по мере накопления статистики отказов в эксплуатации. *Критерий*: корректное применение терминов + математический контекст — 10 баллов.
20	Тенденции: переход от физических стендовых испытаний к гибридным (Hardware-in-the-Loop), где часть системы моделируется виртуально. Использование ML для анализа больших массивов данных телематики: выявление скрытых корреляций между параметрами режима работы и скоростью деградации узлов, автоматическая кластеризация типов отказов, построение нелинейных регрессионных моделей остаточного ресурса. *Критерий*: глубокий синтез тенденций — 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание

Высокий (отлично)	90–100	Демонстрирует глубокие знания математического аппарата теории надежности, умеет планировать эксперименты, строить модели отказов и применять современные методы анализа данных для ПТСДС.
Повышенный (хорошо)	75–89	Знает основные законы распределения и методы расчета, умеет проводить статистическую обработку данных, но допускает неточности в сложных математических моделях (цифровые двойники, ML).
Базовый (удовлетворительно)	70–74	Знает теоретические основы и формулы, но испытывает трудности при применении системного подхода к выбору законов распределения и планировании ускоренных испытаний.
Неудовлетворительно	<70	Не знает основных показателей надежности, путает законы распределения, не умеет выполнять базовые расчеты вероятности и не понимает принципов экспериментальных исследований.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания закрытого типа (1–5) проверяются автоматически (MOODLE) или по ключу.
2. Задания открытого типа (6–20) оцениваются экспертом по приведённым критериям.
3. Результаты заносятся в протокол ВСОКО с привязкой к индикаторам:
   - ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания) — задания 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 12, 15.
   - ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа, моделирования и экспериментального исследования) — задания 8, 9, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание РПД дисциплины «Основы теории надежности» (разделы по математическому аппарату надежности, законам распределения времени безотказной работы, методам расчета систем, планированию ускоренных испытаний и статистической обработке данных). Оценочные материалы направлены на проверку готовности инженера к применению методов математического моделирования и экспериментального исследования для анализа и прогнозирования надежности узлов и агрегатов ПТСДС в рамках компетенции ОПК-1.

Вопросы и задания по дисциплине «Теория механизмов и машин»

1. Задания закрытого типа (5 заданий)

1. Какое утверждение верно для механизма первого класса?

а) Содержит только одно звено

б) Не имеет подвижных звеньев

в) Состоит из двух подвижных звеньев
г) Имеет одну степень свободы

2. Что называют группой Ассура?

а) Механизм с одной степенью свободы
б) Кинематическую цепь без степени свободы
в) Механизм с двумя степенями свободы
г) Отдельное звено с фиксированными точками

3. Какой метод применяют для определения скоростей точек плоского механизма?

а) Метод графического дифференцирования
б) Метод графического интегрирования
в) Метод силового анализа
г) Метод энергетического баланса

4. Какие механизмы относят к рычажным?

а) Кулачковые механизмы
б) Зубчатые механизмы
в) Шарнирно-рычажные механизмы
г) Волновые механизмы

5. Какова основная функция маховика в механизмах?

а) Увеличение мощности
б) Снижение колебаний угловой скорости
в) Изменение направления движения
г) Преобразование вращательного движения в поступательное

2. Задания открытого типа (15 заданий)

6. Установите соответствие между видами механизмов и их характеристиками:

1. Кулачковые механизмы
2. Зубчатые механизмы
3. Рычажные механизмы
4. Волновые механизмы

а) Преобразуют вращательное движение в поступательное
б) Обеспечивают передачу движения с высокой точностью и постоянным передаточным отношением
в) Позволяют реализовывать сложные законы движения выходного звена
г) Применяются для передачи движения при больших передаточных отношениях и малых потерях

7. Опишите, как изменится степень подвижности плоского механизма при добавлении одного звена и двух кинематических пар пятого класса. Обоснуйте ответ.

8. Задача. Определите скорость точки B звена, если скорость точки A $v_A = 2$ м/с, расстояние AB = 1 м, угол между v_A и линией AB равен 30°.

9. Объясните, как системный подход используется при проектировании механизма подъёмника с применением CAD-систем. Приведите пример использования T-Flex CAD.

10. Перечислите риски, возникающие при излишнем упрощении модели при динамическом расчёте подъёмного механизма.

11. Обобщите информацию из трёх условных источников (ГОСТ 2.052-2019, учебник «Теория механизмов и машин», статья в «Вестнике МГТУ») по теме «Применение CAD-систем в проектировании ПТС». Выделите общее и различия.

12. Сформулируйте проблему: «Механизм не обеспечивает требуемую точность перемещения» и разложите её на подзадачи с позиций системного подхода.
13. Предложите алгоритм проверки корректности расчётной модели механизма перед запуском анализа в САПР.

14. Назовите факторы, которые необходимо учитывать при анализе жизненного цикла механизма с точки зрения его работы в эксплуатации.

15. Объясните, как системный подход используется при решении задачи оптимизации массы механизма с ограничениями по прочности. Используйте термины «целевая функция», «ограничения», «градиент», «множители Лагранжа».

16. Составьте сравнительную таблицу методов анализа механизмов (графический, аналитический, численный) по критериям: точность, трудоёмкость, применимость к сложным системам.

17. Оцените достоверность источника «Применение CAD-систем в проектировании ПТС», опубликованного в личном блоге студента без указания научного руководителя. Перечислите признаки низкой надёжности.

18. Обобщите данные лекций, практических занятий и проекта в САПР: как законы механики используются при проектировании гидропривода подъёмника.

19. Предложите критерии выбора оптимальной динамической модели для расчёта движения подъёмной стрелы и обоснуйте выбор.

20. На примере объясните, как системный подход используется при оптимизации массы конструкции с ограничением по прочности и кинематической точности механизма.

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	а) Содержит только одно звено *Пояснение:* механизм первого класса представляет собой одно подвижное звено, связанное со стойкой.
2	б) Кинематическую цепь без степени свободы *Пояснение:* группа Ассура — замкнутая кинематическая цепь с нулевой степенью свободы, служащая «строительным блоком» при синтезе механизмов.
3	а) Метод графического дифференцирования *Пояснение:* при проверке решения с помощью плана скоростей можно использовать графическое дифференцирование в методе кинематических диаграмм.
4	в) Шарнирно-рычажные механизмы *Пояснение:* шарнирно-рычажные механизмы — классический вид рычажных механизмов.
5	б) Снижение колебаний угловой скорости *Пояснение:* маховик аккумулирует кинетическую энергию, сглаживая неравномерность хода.
Блок заданий открытого типа	
6	1 → в, 2 → б, 3 → а, 4 → г. Критерий: полностью верный ответ — 5 баллов; одна ошибка — 3 балла; две и более — 0 баллов.
7	Эталон: степень подвижности W для плоских механизмов: $W = 3n - 2p_5 - p_4$, где n — число звеньев, p_5 — число пар 5-го класса. Приращение: $\Delta W = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 2 = -1$, т.е. подвижность уменьшается на 1. Критерий: указана формула и сделан правильный вывод — 5 баллов.
8	Эталон: проекция скорости на направление АВ: $v_B = v_A \cos 30° = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}$ м/с (при выбранной модели). Критерий: корректное использование тригонометрии и получение результата — 5 баллов.
9	Эталон: механизм рассматривается как система кинематически связанных звеньев (стрела, полиспаст,

	привод, опоры); в T-Flex CAD создаётся 3D-модель механизма, выполняется кинематический анализ (анимация, траектории, углы), затем формируются чертежи и спецификации; изменения в конструкции «прокатываются» по всей системе документации. *Критерий:* связь с ПТСДС и конкретный пример работы в T-Flex CAD — до 10 баллов.
10	Эталон: игнорирование масс отдельных звеньев → недооценка инерционных нагрузок; неучёт трения и люфтов → завышенный расчётный ресурс; отсутствие упругости элементов → неверная оценка вибраций и ударных нагрузок. *Критерий:* не менее трёх рисков с указанием возможных последствий — 5 баллов.
11	Эталон: ГОСТ — правила оформления расчётно-графических материалов; учебник — теоретические основы кинематики и динамики механизмов и пример их реализации в расчётах; статья — конкретные кейсы построения моделей ПТС и их анализа в T-Flex CAD. Общее — единая нормативная база и использование принципов ТММ; различия — глубина теории и практическая направленность. *Критерий:* структурированное сравнение трёх источников — до 10 баллов.
12	Эталон: определение исходных требований по точности; анализ кинематической схемы (передаточные отношения, группы Ассура); оценка влияния зазоров и погрешностей изготовления на выходной параметр; проверка точности регулировки и монтажа; выработка рекомендаций по изменению схемы или допусков. *Критерий:* не менее четырёх осмысленных подзадач — до 10 баллов.
13	Эталон: 1. Проверка размерностей введённых параметров (геометрия, масса, жёсткости). 2. Сопоставление исходных данных с паспортными/нормативными значениями. 3. Верификация геометрической и кинематической схемы по реальному механизму. 4. Анализ чувствительности параметров модели (как изменяются результаты при небольших вариациях). 5. Сравнение результатов промежуточного расчёта с экспериментальными или табличными данными.

<table>
<tr><td></td><td>Критерий: логичная последовательность из пяти шагов с пояснениями — до 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>14</td><td>Эталон: уровень нагрузок и характер нагружения (статический/динамический, цикличность); износ шарнирных соединений и кинематических пар; влияние смазки и загрязнений; влияние внешних условий (температура, влажность, коррозия); доступность обслуживания и ремонта.
Критерий: не менее четырёх факторов — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>15</td><td>Эталон: целевая функция — масса или момент инерции механизма $m(x) \rightarrow \min$; ограничения — условия прочности, жёсткости и кинематической точности; метод множителей Лагранжа — поиск такого набора параметров, при котором градиент массы пропорционален градиенту функции ограничения; пример — оптимизация сечения звена рычажного механизма при ограничении по допускаемому напряжению.
Критерий: корректное применение понятий и профильный пример — до 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>16</td><td>Эталон:
<table>
<tr><th>Метод</th><th>Точность</th><th>Трудоёмкость</th><th>Применимость к сложным системам</th></tr>
<tr><td>Графический</td><td>Низкая</td><td>Низкая</td><td>Ограниченная</td></tr>
<tr><td>Аналитический</td><td>Высокая</td><td>Средняя</td><td>Высокая (при приемлемой сложности уравнений)</td></tr>
<tr><td>Численный</td><td>Высокая</td><td>Высокая</td><td>Очень высокая (сложные и нелинейные модели)</td></tr>
</table>
Критерий: корректно заполненная таблица — до 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>17</td><td>Переход от априорных теоретических моделей к адаптивным. Цифровой двойник в реальном времени получает телеметрию (нагрузки, температуры, вибрации) и уточняет параметры математической модели (например, текущую интенсивность износа). Это позволяет переходить от вероятностных оценок для парка машин к детерминированному прогнозу остаточного ресурса для конкретного экземпляра.
Критерий: 4 аспекта влияния на моделирование — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>18</td><td>Эталон: второй закон Ньютона — для определения усилий и нагрузок на звенья; закон сохранения энергии — для оценки энергетического баланса и КПД; уравнение Бернулли — для анализа движения рабочей жидкости; дифференциальные</td></tr>
</table>

	уравнения движения — для расчёта переходных процессов и вибраций. *Критерий:* не менее четырёх примеров с привязкой к гидроприводу ПТСДС — до 10 баллов.
19	Эталон: достаточность учёта степеней свободы и связей; учёт основных нелинейностей (люфты, трение, контактные взаимодействия); совместимость модели с используемой САПР/CAE; приемлемое время вычислений; возможность калибровки по экспериментальным данным; выбор модели на основе уравнений Лагранжа 2-го рода с последующей линеаризацией в рабочей точке как компромисса между точностью и сложностью. *Критерий:* не менее пяти критериев и осмысленный выбор — до 10 баллов.
20	Эталон: рассмотрение механизма как системы взаимосвязанных элементов; одновременный учёт нескольких критериев (масса, жёсткость, точность движения); анализ влияния изменения одного параметра (толщина звена, радиус кривошипа) на всю систему; использование результатов комплексных расчётов (кинематика + прочность) для выбора оптимальной конфигурации. *Критерий:* отражён системный характер задачи и дана привязка к реальному механизму — до 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание
Высокий (отлично)	90–100	Полный, логичный и аргументированный ответ; корректное использование системного подхода; умение синтезировать информацию из разных источников.
Повышенный (хорошо)	75–89	В целом правильные решения; отдельные недостатки в глубине анализа; синтез частично реализован.
Базовый (удовлетворительно)	70–74	Основные результаты верны, но анализ поверхностный; системный подход проявляется слабо.
Неудовлетворительно	<70	Существенные ошибки; отсутствие обоснования; ответ не раскрывает поставленную задачу.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания 1–5 проверяются в автоматизированной системе тестирования (например, MOODLE).

2. Задания 6–20 оцениваются экспертно по приведённым критериям.
3. Результаты фиксируются в системе ВСОКО с привязкой к индикаторам компетенции ОПК-1:

— ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания для решения профессиональных задач) — задания 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 14, 18.
— ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности) — задания 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание рабочей программы дисциплины (РПД) «Теория механизмов и машин» (включая темы по структурному анализу механизмов, группам Ассура, кинематике и динамике рычажных, зубчатых и кулачковых механизмов, методам анализа, математическому моделированию и оптимизации в CAD-системах). Оценочные материалы направлены на проверку готовности будущего инженера применять фундаментальные естественнонаучные и общеинженерные знания, а также методы математического моделирования и теоретического исследования для анализа, синтеза и оптимизации механизмов подъемно-транспортных, строительных и дорожных средств и оборудования (ПТСДС) в рамках компетенции ОПК-1.

Вопросы и задания по дисциплине
«Детали машин и основы конструирования»

1. Задания закрытого типа (5 заданий)

1. Какой критерий работоспособности является основным для зубчатых передач?

а) Прочность при изгибе
б) Жёсткость
в) Износостойкость
г) Теплостойкость

2. Что называют коэффициентом запаса прочности?

а) Отношение допустимого напряжения к фактическому
б) Отношение фактического напряжения к допустимому
в) Произведение допустимого и фактического напряжений
г) Разность допустимого и фактического напряжений

3. Какой вид нагружения характерен для валов редукторов?

а) Изгиб
б) Кручение
в) Сжатие
г) Совместное действие изгиба и кручения

4. Какая передача относится к фрикционным?

а) Зубчатая передача
б) Ремённая передача
в) Цепная передача
г) Червячная передача

5. Для чего применяются подшипники качения?

а) Для снижения трения в опорах вращающихся деталей
б) Для увеличения жёсткости конструкции
в) Для повышения прочности вала
г) Для защиты деталей от коррозии

Правильный ответ:

2. Задания открытого типа (15 заданий)

6. Установите соответствие между видами передач и их характеристиками:

1. Зубчатые передачи
2. Ремённые передачи
3. Цепные передачи
4. Червячные передачи

а) Передают движение за счёт трения между ремнём и шкивами
б) Обеспечивают высокую точность и постоянство передаточного числа
в) Передают движение за счёт зацепления звеньев цепи
г) Обеспечивают большую передаточную способность при компактности

7. Объясните, как изменится долговечность подшипника качения при увеличении действующей нагрузки на 50%.

8. Задача. Определите минимальный диаметр вала при крутящем моменте $T = 100$ Н·м и допустимом напряжении кручения $[\tau] = 50$ МПа.

9. Объясните, как системный подход используется при проектировании редуктора с применением CAD-систем. Приведите пример использования T-Flex CAD.

10. Перечислите риски при чрезмерном упрощении расчётной модели редуктора.

11. Обобщите сведения из трёх условных источников (ГОСТ 2.052-2019, учебник «Детали машин», статья в «Вестнике МГТУ») по теме «Применение CAD-систем в проектировании редукторов». Выделите общее и различия.

12. Сформулируйте проблему: «Редуктор не обеспечивает требуемую долговечность», и выполните её декомпозицию с позиций системного подхода.

13. Предложите алгоритм проверки корректности расчётной модели редуктора перед проведением расчёта в САПР.

14. Укажите факторы, которые необходимо учитывать при анализе жизненного цикла редуктора в производственных и эксплуатационных условиях.

15. Объясните, как системный подход используется при оптимизации массы элементов редуктора при ограничениях по прочности (используйте понятия «целевая функция», «ограничения», «градиент», «множители Лагранжа»).

16. Составьте таблицу сравнения методов анализа редукторов (графический, аналитический, численный) по точности, трудоёмкости и применимости к сложным системам.

17. Оцените достоверность источника «Применение CAD-систем в проектировании редукторов», опубликованного в личном блоге студента без указания научного руководителя. Перечислите признаки низкой надёжности.
18. Синтезируйте данные лекций, практических занятий и проекта в САПР: как законы механики используются при проектировании редуктора.

19. Предложите критерии выбора оптимальной расчётной модели для анализа динамики редуктора и обоснуйте выбор.

20. На примере покажите, как системный подход применяется при оптимизации массы конструкции с ограничением по прочности на уровне узла редуктора (вал, колёса, корпус).

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	а) Прочность при изгибе *Пояснение:* расчёт на изгиб зубьев задаёт основной критерий работоспособности зубчатой передачи.
2	а) Отношение допустимого напряжения к фактическому *Пояснение:* коэффициент запаса показывает, во сколько раз допускаемое напряжение больше действующего.
3	г) Совместное действие изгиба и кручения *Пояснение:* валы редукторов, как правило, нагружены одновременно изгибающими моментами и крутящим моментом.

4	б) Ремённая передача *Пояснение:* ремённые передачи работают за счёт сил трения между ремнём и шкивами.
5	а) Для снижения трения в опорах вращающихся деталей *Пояснение:* подшипники качения обеспечивают опору валов с минимальными потерями на трение.
Блок заданий открытого типа	
6	1 → б, 2 → а, 3 → в, 4 → г. *Критерий:* полностью верное соответствие — 5 баллов; одна ошибка — 3 балла; две и более — 0 баллов.
7	Эталон: расчётная долговечность обратно пропорциональна кубу нагрузки; при увеличении нагрузки в 1,5 раза долговечность уменьшается примерно в $1,5^3 \approx 3,375$ раза. *Критерий:* приведена зависимость и сделан вывод — 5 баллов.
8	Эталон: $$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 100}{\pi \cdot 50 \cdot 10^6}} \approx 0,02$$ *Критерий:* корректная формула и численный результат — 5 баллов.
9	Эталон: редуктор рассматривается как система взаимосвязанных узлов (корпус, валы, передачи, опоры); в T-Flex CAD создаётся параметрическая 3D-модель, выполняется сборка и проверка взаимных пересечений; по модели автоматически формируются чертежи и спецификация, что обеспечивает согласованность всех элементов. *Критерий:* есть связь с тематикой ПТСДС и конкретный пример использования T-Flex CAD — до 10 баллов.
10	Эталон: неучёт контактных напряжений → недооценка риска выкрашивания зубьев; игнорирование деформаций валов и корпусов → неправильное распределение нагрузок по зубчатому венцу; упрощённый учёт трения → искажённый расчёт КПД и нагрева. *Критерий:* не менее трёх рисков с указанием возможных последствий — 5 баллов.
11	Эталон: ГОСТ регламентирует оформление КД; учебник описывает теорию расчёта и конструирования деталей и узлов редукторов; статья демонстрирует практические примеры моделирования и расчёта редукторов в T-Flex CAD. Общее — единая нормативно-техническая база; различия — уровень теоретизации и практическая направленность.

<table>
<tr><td></td><td>Критерий: структурированный анализ трёх источников — до 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Эталон: уточнение требуемого ресурса; анализ нагрузок и режимов работы; расчёт контактных и изгибающих напряжений в зубчатых передачах; проверка правильности выбора материалов и термообработки; анализ качества смазки и условий эксплуатации; разработка комплекса мероприятий по повышению долговечности.
Критерий: не менее четырёх осмысленных подзадач — до 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>13</td><td>Эталон:
1. Проверка корректности исходных данных (мощность, частоты вращения, передаточные числа).
2. Контроль геометрии 3D-модели (соосность валов, межосевые расстояния).
3. Сопоставление параметров с рекомендациями стандартов и каталогов.
4. Анализ чувствительности модели к изменению ключевых параметров (модуль, ширина венца, диаметр вала).
5. Сверка предварительных результатов с типовыми расчётами или экспериментальными данными.
Критерий: логичная последовательность из пяти шагов с пояснениями — до 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>14</td><td>Эталон: характер и уровень нагрузок; качество смазки и её своевременная замена; температурный режим и охлаждение; качество изготовления и сборки; условия эксплуатации (загрязнение, влажность, удары).
Критерий: не менее четырёх факторов — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>15</td><td>Эталон: целевая функция — масса (или момент инерции) валов и колёс; ограничения — допускаемые напряжения и жёсткость; решение задачи с помощью метода множителей Лагранжа — поиск компромисса между минимумом массы и выполнением условий прочности; пример — оптимизация диаметра вала и ширины зубчатого венца.
Критерий: корректное использование терминов и профильный пример — до 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>16</td><td>Эталон:
<table>
<tr><th>Метод</th><th>Точность</th><th>Трудоёмкость</th><th>Применимость к сложным системам</th></tr>
<tr><td>Графический</td><td>Низкая</td><td>Низкая</td><td>Ограниченная</td></tr>
<tr><td>Аналитический</td><td>Высокая</td><td>Средняя</td><td>Высокая (при сравнительно простой схеме)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

	<table><tr><td>Численный</td><td>Высокая</td><td>Высокая</td><td>Очень высокая (сложные и нелинейные модели)</td></tr></table> Критерий: корректно заполненная таблица — до 10 баллов.
17	Эталон: отсутствие рецензирования; отсутствие ссылок на стандарты, ГОСТы и научные статьи; неописанные методики валидации расчётов; неуказанный профессиональный статус автора. *Критерий:* не менее трёх аргументированных признаков — 5 баллов.
18	Эталон: второй закон Ньютона — для определения сил в зацеплении и нагрузок на валы; закон сохранения энергии — для расчёта КПД и потерь; законы трения — для оценки нагрева и выбора смазки; дифференциальные уравнения — для анализа динамики при пусках и ударных нагрузках. *Критерий:* не менее четырёх примеров с привязкой к редуктору — до 10 баллов.
19	Эталон: адекватность учёта распределения масс и жёсткостей; учёт важнейших нелинейностей (люфты, зазоры, контактные жёсткости); совместимость с используемым программным обеспечением (T-Flex, CAE-модули); разумное время расчёта; возможность калибровки по эксперименту. Критерий: не менее пяти критериев и осмысленный выбор типа модели — до 10 баллов.
20	Эталон: рассмотрение узла «вал–колесо–подшипники» как системы; оценка влияния изменения диаметра вала и ширины венца на напряжённо-деформированное состояние и ресурс; выбор рационального варианта по совокупности критериев «масса–прочность–технологичность». *Критерий:* отражён системный характер задачи и дана привязка к реальному узлу — до 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание
Высокий (отлично)	90–100	Полный, логичный и аргументированный ответ; корректное использование системного подхода; умение синтезировать информацию из разных источников.
Повышенный (хорошо)	75–89	В целом правильные решения; отдельные недостатки в глубине анализа; синтез частично реализован.

Базовый (удовлетворительно)	70–74	Основные результаты верны, но анализ поверхностный; системный подход проявляется слабо.
Неудовлетворительно	<70	Существенные ошибки; отсутствие обоснования; ответ не раскрывает поставленную задачу.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания 1–5 проверяются в автоматизированной системе тестирования (например, MOODLE).
2. Задания 6–20 оцениваются экспертно по приведённым критериям.
3. Результаты фиксируются в системе ВСОКО с привязкой к индикаторам компетенции ОПК-1:

— ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания для решения профессиональных задач) — задания 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 14, 18.

— ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности) — задания 9, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание рабочей программы дисциплины (РПД) «Детали машин и основы конструирования» (включая темы по расчёту и проектированию зубчатых, ременных, цепных и червячных передач, валов, подшипников качения, корпусных деталей, а также применению CAD-систем для параметрического моделирования и оптимизации редукторных узлов). Оценочные материалы направлены на проверку готовности будущего инженера применять фундаментальные естественнонаучные и общеинженерные знания (сопротивление материалов, теория механизмов и машин, трибология) в сочетании с методами математического моделирования, теоретического анализа и компьютерного исследования для проектирования, расчёта и оптимизации деталей и узлов машин, в том числе применяемых в составе наземных транспортно-технологических средств и подъемно-транспортного, строительного, дорожного оборудования, в рамках компетенции ОПК-1.

Вопросы и задания по дисциплине «Гидравлика и гидропривод»

1. Какое уравнение является математическим выражением закона сохранения энергии для установившегося потока идеальной жидкости?
а) Уравнение неразрывности
б) Уравнение Бернулли
в) Уравнение Навье-Стокса
г) Закон Паскаля

2. Какой безразмерный критерий подобия определяет режим течения жидкости в трубопроводе и переход от ламинарного течения к турбулентному?

а) Число Фруда
б) Число Эйлера
в) Число Рейнольдса
в) Число Маха

3. Что характеризует объемный КПД (η_0) гидравлического насоса?
а) Механические потери на трение в подшипниках и уплотнениях
б) Потери расхода жидкости из-за внутренних перетечек через зазоры
в) Гидравлические потери давления в каналах насоса
г) Потери мощности на привод вспомогательных агрегатов

4. Какое физическое явление возникает в гидравлическом насосе, если абсолютное давление на входе падает ниже давления насыщенных паров рабочей жидкости?
а) Гидравлический удар
б) Кавитация
в) Гидродинамическое сопротивление
г) Турбулизация потока

5. Как изменится скорость выдвижения штока гидроцилиндра, если увеличить подачу насоса в 2 раза, при неизменной площади поршня?
а) Уменьшится в 2 раза
б) Не изменится
в) Увеличится в 2 раза
г) Увеличится в 4 раза

6. Установите соответствие между типом объемного гидравлического насоса и его конструктивной особенностью:
1. Шестеренный насос
2. Пластинчатый насос
3. Аксиально-поршневой насос
4. Радиально-поршневой насос

а) Рабочими органами являются поршни, расположенные параллельно оси вращения блока.
б) Рабочими органами являются шестерни, находящиеся в зацеплении внутри корпуса.
в) Рабочими органами являются поршни, расположенные перпендикулярно оси вращения ротора.
г) Рабочими органами являются пластины (лопатки), скользящие в пазах ротора.

7. Рассчитайте потери давления на трение по длине ($\Delta p_{\text{тр}}$) в напорной гидролинии длиной $L = 5$ м и внутренним диаметром $d = 16$ мм, если расход жидкости $Q = 60$ л/мин, кинематическая вязкость $\nu = 20$ мм²/с, плотность $\rho = 870$ кг/м³. (Считать режим течения ламинарным, коэффициент трения $\lambda = 64/Re$).

8. Опишите алгоритм теоретического расчета потребной мощности электродвигателя для привода аксиально-поршневого насоса гидропривода стрелы автокрана.

9. Проанализируйте с использованием системного подхода математическую модель переходного процесса при пуске гидроцилиндра с инерционной нагрузкой.

10. Синтезируйте требования ГОСТ 17446-86 (Жидкости рабочие гидравлические) и законов физики жидкостей по теме «Влияние температуры на параметры гидропривода». Выделите общие и специфические требования.

11. Сформулируйте проблему: «При работе гидравлического насоса экскаватора на больших высотах всасывания возникает шум, вибрация и падение давления нагнетания». Проведите декомпозицию задачи с позиций физики жидкостей.

12. Какие математические и физические риски возникают при моделировании гидропривода, если пренебречь сжимаемостью рабочей жидкости и упругостью трубопроводов?

13. Составьте сравнительную таблицу режимов течения жидкости в гидролиниях: «Ламинарный» vs «Турбулентный».

14. Проанализируйте достоверность источника: статья в блоге «Добавление специального полимера в гидравлическое масло снижает турбулентность и повышает КПД насоса на 30%». Какие признаки указывают на псевдонаучность?

15. Разработайте критерии выбора рабочей жидкости для гидропривода бульдозера, эксплуатируемого в условиях Крайнего Севера (-50 °С) и высоких нагрузок.

16. Опишите методику проведения экспериментального исследования для определения объемного КПД (η_0) шестеренного гидромотора.

17. Синтезируйте данные из лекций и практики: как внедрение методов вычислительной гидродинамики (CFD - Computational Fluid Dynamics) меняет процесс проектирования гидравлических распределителей?

18. Разработайте алгоритм математического моделирования статической характеристики гидропривода с дроссельным регулированием скорости.

19. Опишите, как системный подход помогает при проектировании системы охлаждения рабочей жидкости в гидроприводе карьерного самосвала. Используйте понятия: вход, процесс, выход, обратная связь.

20. Обобщите современные тенденции развития теоретических методов исследования гидроприводов ПТСДС (ОПК-1.2). Как концепция «Цифровой гидравлики» (Digital Hydraulics) влияет на математическое моделирование?

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	б) Уравнение Бернулли
2	в) Число Рейнольдса.
3	б) Потери расхода жидкости из-за внутренних перетечек через зазоры.
4	б) Кавитация.
5	в) Увеличится в 2 раза.
Блок заданий открытого типа	
6	1-б, 2-г, 3-а, 4-в. *Критерий*: полное соответствие — 5 баллов; 1 ошибка — 3 балла; 2 и более — 0.
7	1. Скорость потока: $v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0.001}{3.14 \cdot 0.016^2} \approx 4.97$ м/с. 2. Число Рейнольдса: $Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{4.97 \cdot 0.016}{20 \cdot 10^{-6}} \approx 3976$ (режим турбулентный, но по условию считаем ламинарным для упрощения или используем формулу Блазиуса. Примем $\lambda = 64/3976 \approx 0.016$). Потери давления: $\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2} = 0.016 \cdot \frac{5}{0.016} \cdot \frac{870 \cdot 4.97^2}{2} \approx 53900$ Па ≈ 0.054 МПа. *Критерий*: верные формулы скорости, числа Рейнольдса и Дарси-Вейсбаха, точный расчет — 5 баллов.
8	1) Определение рабочего давления p и требуемого расхода Q на основе тягового расчета механизма. 2) Расчет теоретической мощности жидкости $N_{\text{теор}} = p \cdot Q$. 3) Учет полного КПД насоса ($\eta_{\text{нас}} = \eta_0 \cdot \eta_{\text{мех}}$) для расчета мощности на валу насоса. 4) Учет КПД муфты/редуктора между двигателем и насосом. 5) Выбор электродвигателя по каталогу с запасом мощности 10-15%. *Критерий*: 4-5 логичных шагов с указанием физических зависимостей — 5 баллов.
9	*Вход*: давление нагнетания, масса груза, площадь поршня, вязкое трение. *Процесс*: составление дифференциального уравнения движения $m\ddot{x} = p_1 A_1 - p_2 A_2 - F_{\text{тр}} - mg$. Учет сжимаемости жидкости и упругости трубопроводов (волновые процессы). *Выход*: закон изменения скорости и перемещения штока во времени. *Обратная связь*:

<table>
<tr><td></td><td>корректировка параметров дросселирования или применение гидроаккумулятора для смягчения гидравлического удара.
Критерий: системный анализ с выделением элементов и математических моделей — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Общие (физика): при нагреве вязкость жидкости падает (экспоненциальная зависимость), что увеличивает внутренние перетечки и снижает объемный КПД. Специфические (ГОСТ): требование к индексу вязкости (не менее 90 для всесезонных), к температуре вспышки и застывания. Необходимость применения теплообменников или систем подогрева в гидроприводах ПТСДС.
Критерий: структурированный анализ, не менее 4 параметров — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>11</td><td>1) Анализ давления на входе в насос (уравнение Бернулли для всасывающей линии). 2) Оценка влияния высоты всасывания и сопротивления фильтра на снижение абсолютного давления. 3) Сравнение фактического давления с давлением насыщенных паров жидкости при рабочей температуре. 4) Выявление зон локального падения давления (кавитация). 5) Разработка мер: снижение высоты всасывания, увеличение диаметра всасывающей трубы, применение жидкости с меньшим давлением паров.
Критерий: 4-5 подзадач с обоснованием — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>1) Невозможность корректно рассчитать явление гидравлического удара при быстром закрытии распределителя. 2) Занижение оценки собственных частот колебаний гидросистемы, что может привести к резонансу. 3) Ошибки в расчете жесткости гидропривода (позиционной точности), так как жидкость ведет себя как пружина.
Критерий: 3 обоснованных риска — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>13</td><td>
<table>
<tr><td>Критерий</td><td>Ламинарный режим</td><td>Турбулентный режим</td></tr>
<tr><td>Число Рейнольдса</td><td>$Re < Re_{кр}$ (обычно < 2300)</td><td>$Re > Re_{кр}$</td></tr>
<tr><td>Структура потока</td><td>Упорядоченные слои, без перемешивания</td><td>Хаотичное движение, вихреобразование</td></tr>
<tr><td>Потери на трение</td><td>Пропорциональны скорости в 1 степени ($\Delta p \sim v$)</td><td>Пропорциональны скорости в квадрате ($\Delta p \sim v^2$)</td></tr>
<tr><td>Применение в гидроприводе</td><td>Желателен (меньше потери, нет пульсаций)</td><td>Допускается в коротких напорных линиях</td></tr>
</table>
Критерий: полная таблица — 10 баллов.
</td></tr>
</table>

14	1) КПД объемного насоса лимитируется механическими и объемными потерями (зазоры), а не гидравлическим трением в масле. 2) Присадки, снижающие турбулентность (как в нефтепроводах), работают только при сверхвысоких числах Рейнольдса, недостижимых в компактных гидролиниях. 3) Отсутствие ссылок на стендовые испытания по ISO 4413 или ГОСТ. *Критерий*: ≥3 инженерно-физических признака — 5 баллов.
15	1) Низкая температура застывания и высокая прокачиваемость при -50 °C (синтетические базовые масла). 2) Высокий индекс вязкости (малое изменение вязкости от температуры). 3) Высокий модуль объемного сжатия (для жесткости привода). 4) Наличие противоизносных (AW) и противозадирных (EP) присадок. 5) Совместимость с уплотнительными материалами (фторкаучук, полиуретан) при низких температурах. *Критерий*: 4-5 критериев с привязкой к физике процесса — 10 баллов.
16	1) Установка гидромотора на испытательный стенд с нагрузочным устройством (тормозом). 2) Подача жидкости с заданным расходом $Q_{\text{факт}}$ (измеряется расходомером). 3) Измерение частоты вращения вала n при различных давлениях p. 4) Расчет теоретического расхода $Q_{\text{теор}} = q_0 \cdot n$ (где q_0 — рабочий объем). 5) Расчет объемного КПД: $\eta_0 = \frac{Q_{\text{теор}}}{Q_{\text{факт}}}$. 6) Построение графика зависимости η_0 от давления. *Критерий*: 5-6 этапов эксперимента — 10 баллов.
17	Переход от эмпирических формул потерь давления к точному 3D-моделированию полей скоростей и давлений внутри золотника. Позволяет оптимизировать форму кромок золотника для снижения гидравлических ударов и кавитации, визуализировать зоны застойных течений и оптимизировать форму каналов для снижения местных сопротивлений до этапа изготовления физического прототипа. *Критерий*: 4 аспекта влияния на проектирование — 10 баллов.
18	1) Запись уравнения баланса расходов: $Q_{\text{нас}} = Q_{\text{др}} + Q_{\text{кл}}$. 2) Уравнение расхода через дроссель: $Q_{\text{др}} = \mu \cdot f \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$. 3) Уравнение баланса сил на штоке цилиндра: $p_1 A_1 = F_{\text{нагр}} + p_2 A_2$. 4) Решение системы уравнений относительно скорости штока $v = Q_{\text{др}}/A_1$ в зависимости от нагрузки $F_{\text{нагр}}$. 5) Построение графика $v = f(F_{\text{нагр}})$ — статической (жесткости)

	характеристики. *Критерий*: 5 шагов с указанием уравнений — 10 баллов.
19	*Вход*: тепловыделение в гидросистеме (потери мощности), температура окружающей среды, скорость движения машины. *Процесс*: математический расчет теплового баланса, выбор типа теплообменника (воздушный/масляный), расчет площади охлаждения. *Выход*: стабильная температура жидкости в заданном диапазоне (40-60 °C). *Обратная связь*: сигнал от датчика температуры жидкости, управляющий оборотами вентилятора теплообменника для экономии мощности. *Критерий*: корректное применение терминов + пример — 10 баллов.
20	Тенденции: переход от аналогового (пропорционального) управления к дискретному (цифровому) с использованием высокоскоростных переключающих клапанов (PWM). Влияние на моделирование: классические непрерывные дифференциальные уравнения заменяются или дополняются гибридными моделями с разрывными функциями и высокочастотными переходными процессами. Требуется применение методов численного интегрирования с переменным шагом и учет динамики электромагнитных приводов клапанов. *Критерий*: глубокий синтез тенденций — 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание
Высокий (отлично)	90–100	Демонстрирует глубокие знания физики жидкостей и теории гидропривода, свободно владеет математическим аппаратом (дифференциальные уравнения, уравнения Бернулли и Навье-Стокса), умеет планировать эксперименты и применять CFD-моделирование.
Повышенный (хорошо)	75–89	Знает основные законы гидравлики и методы расчета, умеет проводить статистическую и математическую обработку данных, но допускает неточности в сложных моделях (цифровая гидравлика, переходные процессы).
Базовый (удовлетворительно)	70–74	Знает теоретические основы и формулы, но испытывает трудности при применении системного подхода к анализу кавитации, гидравлического удара и обосновании выбора методов математического моделирования.

Неудовлетворительно	<70	Не знает основных законов гидравлики, путает режимы течения, не умеет выполнять базовые расчеты потерь давления и не понимает принципов экспериментальных исследований насосов.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания закрытого типа (1–5) проверяются автоматически (MOODLE) или по ключу.
2. Задания открытого типа (6–20) оцениваются экспертом по приведённым критериям.
3. Результаты заносятся в протокол ВСОКО с привязкой к индикаторам:
   - ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания) — задания 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 12, 13, 15.
   - ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа, моделирования и экспериментального исследования) — задания 8, 9, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание РПД дисциплины «Гидравлика и гидропривод» (разделы по физике жидкостей, гидростатике и гидродинамике, гидравлическим сопротивлениям, объемным гидравлическим машинам, основам расчета и математического моделирования гидроприводов). Оценочные материалы направлены на проверку готовности инженера к применению фундаментальных естественнонаучных знаний, методов математического анализа и экспериментального исследования для анализа процессов течения жидкостей, расчета и моделирования гидроприводов наземных транспортно-технологических средств и ПТСДС в рамках компетенции ОПК-1.

Вопросы и задания по дисциплине «Строительная механика и металлические конструкции»

1. Какая основная характеристика отличает статически неопределимую систему от статически определимой?
а) Наличие шарниров во всех узлах
б) Число неизвестных реакций и внутренних усилий превышает число независимых уравнений равновесия
в) Возможность расчета только графическим методом
г) Отсутствие температурных деформаций

2. Для расчета какой характеристики элемента металлической конструкции применяется формула Эйлера?
а) Максимального прогиба балки
б) Критической силы при потере устойчивости сжатого стержня
в) Предела выносливости при циклическом нагружении

г) Угла закручивания вала

3. По какому напряжению производится расчет на прочность углового сварного шва, работающего на срез?
а) По нормальному напряжению в основном металле
б) По касательному напряжению в расчетном сечении шва (по металлу шва или металлу границы сплавления)
в) По главному растягивающему напряжению
г) По эквивалентному напряжению по теории Мизеса

4. Что характеризует предел выносливости (усталости) материала σ_R?
а) Максимальное напряжение, при котором материал разрушается при статическом нагружении
б) Максимальное напряжение цикла, при котором образец выдерживает заданное базовое число циклов без разрушения
в) Напряжение, при котором начинается пластическая деформация
г) Напряжение отрыва при ударном нагружении

5. Что представляет собой линия влияния в строительной механике?
а) График изменения изгибающего момента от неподвижной нагрузки
б) График, показывающий изменение какого-либо усилия или перемещения в фиксированном сечении при перемещении по конструкции единичной подвижной нагрузки
в) Эпюра поперечных сил от собственного веса балки
г) Траектория движения точки приложения нагрузки

6. Установите соответствие между элементом металлической конструкции ПТСДС и его основным расчетным критерием (предельным состоянием):
1. Сжатая колонна поворотной платформы
2. Балка мостового крана
3. Растянутый тяж грузового каната
4. Фрикционное болтовое соединение пояса фермы

а) Проверка на устойчивость (предотвращение продольного изгиба).
б) Расчет по предельным усилиям (прочность на разрыв).
в) Проверка по первой группе предельных состояний на срез и смятие в соединяемых деталях.
г) Расчет на прочность и жесткость (нормативный прогиб).

7. Рассчитайте максимальное нормальное напряжение изгиба (σ_{max}) в опасном сечении балки крана, если максимальный изгибающий момент $M = 120$ кН·м, а момент сопротивления сечения $W_x = 1500$ см³.

8. Опишите алгоритм расчета сжатого пояса пространственной фермы стрелы автокрана на устойчивость.

9. Проанализируйте с использованием системного подхода напряженно-деформированное состояние (НДС) металлоконструкции мачты башенного крана при одновременном действии ветровой нагрузки, веса груза и инерционных сил при повороте.

10. Синтезируйте требования СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» и ГОСТ 25859-83 по теме «Усталостная прочность сварных соединений». Выделите общие и специфические требования.

11. Сформулируйте проблему: «В корне сварного шва крепления поворотной платформы к раме автомобильного крана появилась усталостная трещина». Проведите декомпозицию задачи с позиций механики разрушения.

12. Какие математические и инженерные риски возникают при проектировании металлоконструкций для работы в условиях Крайнего Севера (-50 °С) без учета хладноломкости стали?

13. Составьте сравнительную таблицу соединений элементов металлоконструкций: «Сварное соединение» vs «Соединение на высокопрочных болтах (фрикционное)».

14. Проанализируйте достоверность источника: статья в блоге «Мы срезали ребра жесткости в середине пролета балки крана, чтобы сэкономить 200 кг металла, и балка не прогнулась». Какие признаки указывают на опасность?

15. Разработайте критерии выбора расчетной схемы (конечно-элементной модели) для анализа узла крепления стрелы экскаватора.

16. Опишите методику проведения экспериментального исследования собственных частот колебаний металлоконструкции крана.

17. Синтезируйте данные из лекций и практики: как внедрение методов топологической оптимизации меняет процесс проектирования сложных узлов металлоконструкций ПТСДС?

18. Разработайте алгоритм теоретического расчета усталостной долговечности сварной балки крана по методу линейного суммирования повреждений (гипотеза Палмгрена-Майнера).

19. Опишите, как системный подход помогает при управлении жизненным циклом несущей металлоконструкции ПТСДС. Используйте понятия: вход, процесс, выход, обратная связь.

20. Обобщите современные тенденции развития методов расчета и конструирования металлических конструкций ПТСДС (ОПК-1.2). Как концепция «Цифрового двойника» (Digital Twin) влияет на оценку технического состояния?

Ключ к контрольным вопросам:

№ вопроса	Ответы
Блок заданий закрытого типа	
1	б) Число неизвестных реакций и внутренних усилий превышает число независимых уравнений равновесия.
2	б) Критической силы при потере устойчивости сжатого стержня.
3	б) По касательному напряжению в расчетном сечении шва.
4	б) Максимальное напряжение цикла, при котором образец выдерживает заданное базовое число циклов без разрушения.
5	б) График, показывающий изменение какого-либо усилия или перемещения в фиксированном сечении при перемещении по конструкции единичной подвижной нагрузки.
Блок заданий открытого типа	
6	1-а, 2-г, 3-б, 4-в. *Критерий*: полное соответствие — 5 баллов; 1 ошибка — 3 балла; 2 и более — 0.
7	$\sigma_{max} = M/W_x = 120 \cdot 10^3$ Н·м/$(1500 \cdot 10^{-6}$ м$^3) = 80 \cdot 10^6$ Па $= 80$ МПа. *Критерий*: верная формула, перевод единиц и точный расчет — 5 баллов.
8	1) Определение расчетной длины пояса ($l_{ef} = \mu \cdot l$) в плоскости фермы и из плоскости фермы. 2) Подбор предварительного сечения по условию прочности. 3) Вычисление гибкости стержня ($\lambda = l_{ef}/i$) в обеих плоскостях, нахождение максимальной гибкости. 4) Определение коэффициента продольного изгиба φ по таблицам СП 16.13330. 5) Проверка условия устойчивости: $N/(\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c) \leq 1$. *Критерий*: 4-5 логичных шагов с указанием физических зависимостей — 5 баллов.
9	*Вход*: геометрические параметры мачты (решетчатая пространственная система), спектр нагрузок. *Процесс*: пространственная система работает на внецентренное сжатие, кручение и изгиб. Возникают вторичные изгибающие моменты из-за деформации оси (P-Delta эффект). *Выход*: эпюры усилий в поясах и раскосах, перемещения оголовка. *Обратная связь*: корректировка

<table>
<tr><td></td><td>сечений или изменение конструктивной схемы (введение дополнительных связей) при превышении допустимых перемещений.
Критерий: системный анализ с выделением элементов и видов нагружения — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Общие (СП 16): классификация сварных соединений по категориям (1-19) в зависимости от концентрации напряжений, расчет на выносливость по амплитуде напряжений. Специфические (ГОСТ 25859): методы испытаний, базовое число циклов ($N_0 = 5 \cdot 10^6$), построение кривых усталости (Вёлера), учет коэффициента асимметрии цикла R.
Критерий: структурированный анализ, не менее 4 параметров — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>11</td><td>1) Анализ кинематики нагружения (определение диапазона изменения напряжений $\Delta\sigma$). 2) Оценка концентрации напряжений в зоне корня шва (наличие непровара, подреза). 3) Расчет скорости роста трещины по уравнению Париса. 4) Оценка остаточной прочности конструкции с учетом трещины. 5) Разработка методов ремонта (зачистка, заварка, установка усиливающих накладок) и неразрушающего контроля.
Критерий: 4-5 подзадач с обоснованием — 10 баллов.</td></tr>
<tr><td>12</td><td>1) Резкое снижение ударной вязкости стали ниже порога хладноломкости. 2) Переход от вязкого разрушения (с пластической деформацией) к хрупкому (мгновенному, без предупреждения). 3) Невозможность применения стандартных расчетных сопротивлений R_y без введения понижающих коэффициентов. 4) Риск катастрофического разрушения конструкции при динамических нагрузках.
Критерий: 3-4 обоснованных риска — 5 баллов.</td></tr>
<tr><td>13</td><td>
<table>
<tr><th>Критерий</th><th>Сварное соединение</th><th>Болтовое фрикционное соединение</th></tr>
<tr><td>Жесткость узла</td><td>Абсолютно жесткое</td><td>Податливое (допускает микропроскальзывание)</td></tr>
<tr><td>Усталостная прочность</td><td>Ниже (высокая концентрация напряжений)</td><td>Выше (отсутствие сварочных дефектов и остаточных напряжений)</td></tr>
<tr><td>Технологичность монтажа</td><td>Требует сварочного оборудования и контроля НК</td><td>Быстрый монтаж на болтах, не требует сварки на монтаже</td></tr>
<tr><td>Чувствительность к динамическим нагрузкам</td><td>Высокая (рост усталостных трещин)</td><td>Низкая (хорошо работает при знакопеременных нагрузках)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

	Критерий: полная таблица — 10 баллов.
14	1) Игнорирование потери местной устойчивости стенки и поясов (ребра предотвращают выпучивание). 2) Возникновение высоких касательных напряжений и смятия в месте приложения нагрузки от тележки. 3) Снижение усталостной прочности из-за изменения НДС. 4) Экономия 200 кг несоразмерна риску обрушения грузоподъемного механизма. *Критерий*: ≥3 инженерно обоснованных признака — 5 баллов.
15	1) Учет реальной геометрии (фасонки, косынки, сварные швы). 2) Тип конечных элементов (объемные тетраэдры/гексаэдры для зоны концентрации, оболочечные для поясов). 3) Сгущение сетки в зонах сварных швов и отверстий. 4) Учет нелинейности материала (пластичность) и геометрической нелинейности (большие перемещения). 5) Верификация модели на основе данных тензометрических испытаний. *Критерий*: 4-5 критериев с привязкой к МКЭ — 10 баллов.
16	1) Установка акселерометров в характерных точках конструкции. 2) Возбуждение колебаний (ударный импульс, вибростенд или резкий сброс нагрузки). 3) Регистрация вибросигналов и их оцифровка. 4) Проведение спектрального анализа (БПФ) для выделения пиковых частот. 5) Сравнение экспериментальных частот с расчетными (по МКЭ) для калибровки модели и оценки фактической жесткости конструкции. *Критерий*: 5 этапов эксперимента — 10 баллов.
17	Переход от интуитивного конструирования к генеративному дизайну. Алгоритм (например, метод SIMP) удаляет материал из зон с низким НДС, формируя бионические структуры. Это радикально снижает массу узла при сохранении жесткости. Однако такие формы часто требуют применения аддитивных технологий (3D-печати металлом) или сложной литьевой/сварной адаптации, что меняет технологический процесс изготовления. *Критерий*: 4 аспекта влияния на проектирование и технологию — 10 баллов.
18	1) Получение спектра нагружения (гистограммы амплитуд напряжений $\Delta\sigma_i$ и числа циклов n_i). 2) Определение предела выносливости для данной категории сварного соединения. 3)

	Нахождение числа циклов до разрушения N_i для каждого уровня напряжений по кривой Вёлера ($N_i = N_0 \cdot (\Delta\sigma_c / \Delta\sigma_i)^m$). 4) Суммирование относительных повреждений: $D = \sum (n_i/N_i)$. 5) Условие разрушения: $D \geq 1$. Расчет суммарного ресурса. *Критерий*: 5 шагов с указанием формул — 10 баллов.
19	*Вход*: проектные нагрузки, свойства материала, условия среды. *Процесс*: изготовление (сварка, контроль), эксплуатация (накопление усталостных повреждений, коррозия), техническое обслуживание. *Выход*: фактический остаточный ресурс конструкции. *Обратная связь*: данные дефектоскопии и мониторинга НДС, позволяющие продлить ресурс или принять решение об усилении/замене элемента. *Критерий*: корректное применение терминов + пример — 10 баллов.
20	Тенденции: интеграция BIM-моделирования (Information Modeling) в машиностроение, использование датчиков IoT (тензодатчики, акселерометры) в теле конструкции. Цифровой двойник в реальном времени получает данные о фактических нагрузках и деформациях, уточняя расчетную модель МКЭ. Это позволяет переходить от плановых ремонтов к предиктивным, точно прогнозируя усталостное разрушение и оптимизируя парки тяжелой техники. *Критерий*: глубокий синтез тенденций — 10 баллов.

Методика оценки сформированности компетенции

Оценка сформированности компетенции проводится по 100 – бальной системе.

Схема оценивания

Уровень сформированности	Баллы	Описание
Высокий (отлично)	90–100	Демонстрирует глубокие знания строительной механики и теории металлических конструкций, свободно владеет методами аналитического и численного (МКЭ) моделирования, умеет планировать эксперименты и применять системный подход к анализу сложных пространственных систем.
Повышенный (хорошо)	75–89	Знает основные законы механики и методы расчета элементов, умеет проводить статический и усталостный анализ, но допускает неточности в сложных математических моделях (нелинейный МКЭ, цифровые двойники).

Базовый (удовлетворительно)	70–74	Знает теоретические основы и формулы, но испытывает трудности при применении системного подхода к анализу устойчивости, усталостного разрушения и обосновании выбора методов математического моделирования.
Неудовлетворительно	<70	Не знает основных законов сопротивления материалов и строительной механики, путает предельные состояния, не умеет выполнять базовые расчеты на прочность и устойчивость и не понимает принципов экспериментальных исследований конструкций.

Инструкция для экзаменатора

1. Задания закрытого типа (1–5) проверяются автоматически (MOODLE) или по ключу.
2. Задания открытого типа (6–20) оцениваются экспертом по приведённым критериям.
3. Результаты заносятся в протокол ВСОКО с привязкой к индикаторам:
   - ОПК-1.1 (Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания) — задания 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15.
   - ОПК-1.2 (Использует методы математического анализа, моделирования и экспериментального исследования) — задания 9, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20.

Примечание. Данный ФОС полностью отражает содержание РПД дисциплины «Строительная механика и металлические конструкции» (разделы по статике и динамике стержневых систем, устойчивости упругих систем, усталостной прочности, расчету и конструированию металлических конструкций ПТСДС, методу конечных элементов). Оценочные материалы направлены на проверку готовности инженера к применению фундаментальных естественнонаучных знаний, методов математического анализа и экспериментального исследования для анализа напряженно-деформированного состояния, расчета на прочность, жесткость и устойчивость металлических конструкций наземных транспортно-технологических средств и ПТСДС в рамках компетенции ОПК-1.