

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Крюков Вадим Николаевич  
Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике  
Дата подписания: 2026.07.17 17:48:31  
Уникальный программный ключ:  
1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Запорожский государственный университет им. Н. М. Федоровского»**  
**ЗГУ**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине**

**«ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»**

**Факультет:** ГТФ

**Направление подготовки:** 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

**Направленность (профиль):** «Металлургические машины и оборудование»

**Уровень образования:** бакалавриат

**Кафедра** «Металлургии, машин и оборудования»  
наименование кафедры

**Разработчик ФОС:**

доцент

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

А.Л. Брусков

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры, протокол № 11 от « 10 » 06 2026 г.

И.о. заведующего кафедрой к.т.н., доцент Лаговская Е.В.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю),  
соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы**

Таблица 1 – Компетенции и индикаторы их достижения

| Код и наименование компетенции                                                                                                                           | Индикаторы достижения                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1:<br>Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности | ОПК-1.1:<br>Способен применять методы математического анализа в профессиональной деятельности                                               |
|                                                                                                                                                          | ОПК-1.2:<br>Способен применять естественнонаучные знания в профессиональной деятельности                                                    |
|                                                                                                                                                          | ОПК-1.3:<br>Способен применять общетехнические знания в профессиональной деятельности                                                       |
| ОПК-5:<br>Способен работать с нормативно-технической документацией, связанной с профессиональной деятельностью, с учетом стандартов, норм и правил       | ОПК-5.1:<br>Способен участвовать в разработке конструкторской документации в области профессиональной деятельности с учетом требований ЕСКД |

Таблица 2 – Паспорт фонда оценочных средств

| Контролируемые разделы (темы) дисциплины                                                    | Формируемая компетенция | Наименование оценочного средства                             | Показатели оценки                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Введение в статику.<br>Система сходящихся сил.<br>Момент силы относительно центра. Пара сил | ОПК-1<br>ОПК-5          | Список литературных источников по тематике, тестовые задания | Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста |
| Преобразование системы сил. Условия равновесия системы сил.                                 | ОПК-1<br>ОПК-5          | Список литературных источников по тематике, тестовые задания | Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста |
| Расчёт ферм                                                                                 | ОПК-1<br>ОПК-5          | Список литературных источников по тематике, тестовые задания | Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста |

|                                                                                                                           |                |                                                                             |                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кинематика точки и<br>твёрдого тела.<br>Поступательное и<br>вращательное движение<br>тела                                 | ОПК-1<br>ОПК-5 | Список<br>литературных<br>источников по<br>тематике,<br>тестовые<br>задания | Составление<br>систематизированного<br>списка использованных<br>источников, решение теста |
| Плоское<br>(плоскопараллельное)<br>движение тела. Составное<br>(сложное) движение точки<br>и тела                         | ОПК-1<br>ОПК-5 | Список<br>литературных<br>источников по<br>тематике,<br>тестовые<br>задания | Составление<br>систематизированного<br>списка использованных<br>источников, решение теста |
| Мгновенные центры<br>скоростей и ускорений                                                                                | ОПК-1<br>ОПК-5 | Список<br>литературных<br>источников по<br>тематике,<br>тестовые<br>задания | Составление<br>систематизированного<br>списка использованных<br>источников, решение теста |
| Введение в динамику<br>системы. Моменты<br>инерции                                                                        | ОПК-1<br>ОПК-5 | Список<br>литературных<br>источников по<br>тематике,<br>тестовые<br>задания | Составление<br>систематизированного<br>списка использованных<br>источников, решение теста |
| Теорема об изменении<br>количества движения<br>системы. Теорема об<br>изменении момента<br>количества движения<br>системы | ОПК-1<br>ОПК-5 | Список<br>литературных<br>источников по<br>тематике,<br>тестовые<br>задания | Составление<br>систематизированного<br>списка использованных<br>источников, решение теста |
| Теорема об изменении<br>кинетической энергии<br>системы                                                                   | ОПК-1<br>ОПК-5 | Список<br>литературных<br>источников по<br>тематике,<br>тестовые<br>задания | Составление<br>систематизированного<br>списка использованных<br>источников, решение теста |
| Приложение общих теорем<br>к динамике твёрдого тела.<br>Принцип Даламбера                                                 | ОПК-1<br>ОПК-5 | Список<br>литературных<br>источников по<br>тематике,<br>тестовые<br>задания | Составление<br>систематизированного<br>списка использованных<br>источников, решение теста |
| Зачет, курсовой проект,<br>экзамен                                                                                        | ОПК-1<br>ОПК-5 | Решение всех<br>тестовых<br>заданий по<br>темам                             | Решение всех тестовых<br>заданий по темам                                                 |

**1. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций**

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, представлены в виде технологической карты дисциплины (таблица 3).

Таблица 3 – Технологическая карта

|                                                                          | Наименование<br>оценочного средства | Сроки<br>выполнения                    | Шкала<br>оценивания | Критерии<br>оценивания |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|------------------------|
| <b>Промежуточная аттестация в 2 семестре в форме «Зачет»</b>             |                                     |                                        |                     |                        |
|                                                                          | Тестовые задания                    | В течение<br>обучения по<br>дисциплине | от 0 до 5 баллов    | Зачет/Незачет          |
|                                                                          | ИТОГО:                              | -                                      | ___ баллов          | -                      |
| <b>Промежуточная аттестация в 2 семестре в форме «Курсового проекта»</b> |                                     |                                        |                     |                        |
|                                                                          | Тестовые задания                    | В течение<br>обучения по<br>дисциплине | от 0 до 5 баллов    | от 3 до 5 баллов       |
|                                                                          | ИТОГО:                              | -                                      | ___ баллов          | -                      |
| <b>Промежуточная аттестация в 3 семестре в форме «Экзамены»</b>          |                                     |                                        |                     |                        |
|                                                                          | Тестовые задания                    | В течение<br>обучения по<br>дисциплине | от 0 до 5 баллов    | от 3 до 5 баллов       |
|                                                                          | ИТОГО:                              | -                                      | ___ баллов          | -                      |

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций в ходе освоения образовательной программы**

**ОПК-1 (применение естественнонаучных и инженерных знаний, методов математического анализа и моделирования).**

**Уровень 1. Базовый (проверка основных понятий) – 10 вопросов**

**1. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора**

Инженер рассчитывает реакцию опоры балки, на которую действует пространственная система сил. Ему необходимо составить уравнения равновесия. Сколько независимых уравнений равновесия можно составить для произвольной пространственной системы сил?

- А) 3 (сумма проекций на оси X, Y, Z)
- Б) 4 (три проекции и один момент)
- В) 6 (три уравнения проекций и три уравнения моментов)
- Г) 9 (по три на каждую координатную плоскость)

**Ответ:** В.

**Обоснование:** Свободное твердое тело в пространстве обладает шестью степенями свободы (три поступательных вдоль осей и три вращательных вокруг осей). Чтобы тело находилось в равновесии, необходимо и достаточно, чтобы главный вектор и главный момент системы сил равнялись нулю. Это дает 6 независимых скалярных уравнений:  $\Sigma F_x = 0$ ,  $\Sigma F_y = 0$ ,  $\Sigma F_z = 0$ ,  $\Sigma M_x = 0$ ,  $\Sigma M_y = 0$ ,  $\Sigma M_z = 0$ .

$0, \Sigma M_y = 0, \Sigma M_z = 0$ .

## 2. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между типом опоры (связи) и ее реакцией в статике твердого тела:

| Тип опоры                                 | Реакция связи                                                                                 |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Гладкая поверхность (опора без трения) | А. Сила, перпендикулярная опорной плоскости, и реактивный момент                              |
| 2. Неподвижный цилиндрический шарнир      | Б. Одна сила, направленная по нормали к поверхности                                           |
| 3. Жесткая заделка (защемление)           | В. Две составляющие реакции ( $R_x, R_y$ ), лежащие в плоскости, перпендикулярной оси шарнира |
| 4. Сферический шарнир                     | Г. Три составляющие реакции ( $R_x, R_y, R_z$ ), сходящиеся в центре шарнира                  |

**Ответ:** 1-Б, 2-В, 3-А, 4-Г.

## 3. Задание открытого типа с развернутым ответом

При креплении кронштейна использован невесомый стержень, шарнирно закрепленный по концам. На него не действуют силы вдоль оси (кроме реакций в шарнирах). Объясните, как направлена реакция этого стержня на тело, и почему это упрощает расчет статически определимых ферм.

**Ответ:**

Если стержень невесом, находится в равновесии, и силы приложены только к его концам (шарнирам), то система сил, действующих на стержень, эквивалентна нулю. Две силы, приложенные к концам, могут уравниваться только если они равны по модулю и направлены вдоль одной прямой — оси стержня. Следовательно, реакция такого стержня на тело всегда направлена строго вдоль линии, соединяющей шарниры. Это упрощает расчет ферм, так как мы заранее знаем линию действия неизвестной силы, и неизвестной остается только ее величина (растяжение или сжатие).

## 4. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

Механическая система состоит из двух тел, соединенных шарниром. Система движется в плоскости. Какие утверждения о кинематике шарнира являются верными?

1. Скорости точек соединения тел в шарнире геометрически равны.
2. Ускорения точек соединения тел в шарнире могут быть различны по модулю.
3. Относительная скорость тел в шарнире равна нулю.
4. Шарнир исключает возможность относительного поступательного перемещения тел.
5. Шарнир допускает относительное вращение тел.

**Ответ:** 1, 3, 4, 5.

**Обоснование:**

Шарнир — это идеальная кинематическая пара, соединяющая два тела. В точке соединения (центре шарнира) оба тела имеют общую точку контакта. Следовательно, перемещения, скорости и ускорения геометрически совпадают (п.1 и п.3 верны, п.2 — неверен). Шарнир накладывает две связи (в плоскости), запрещая относительные линейные перемещения по двум осям (п.4 верно), но разрешая относительный поворот (п.5 верно).

## 5. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите шаги решения задачи статики на равновесие твердого тела с помощью метода Риттера (для фермы) в логической последовательности:

- А) Составление уравнений моментов ( $\Sigma M = 0$ ) относительно точек Риттера (моментных точек) и нахождение усилий в стержнях
- Б) Определение реакций опор всей фермы как твердого тела

В) Мысленное рассечение фермы на две части так, чтобы разрез проходил через искомый стержень и еще два стержня (не более трех)

Г) Выбор части фермы (левой или правой) для расчета

Д) Построение силового многоугольника для найденных усилий

**Ответ:** Б → В → Г → А.

(Сначала внешние реакции, затем сечение, выбор удобной стороны, и затем моменты. Силовой многоугольник для Риттера не обязателен).

**6. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора**

При плоскопараллельном движении шатуна механизма пресса его угловая скорость  $\omega \neq 0$ . В данный момент времени существует точка, абсолютная скорость которой равна нулю. Как называется эта точка и как ее найти?

А) Центр масс, находится методом взвешивания.

Б) Мгновенный центр скоростей (МЦС), находится на пересечении перпендикуляров к векторам скоростей двух точек тела.

В) Полус зацепления, находится на линии центров колес.

Г) Мгновенный центр ускорений (МЦУ), находится методом плана ускорений.

**Ответ:** Б.

**Обоснование:** При плоском движении твердого тела в каждый момент времени существует точка, скорость которой равна нулю — мгновенный центр скоростей (МЦС). Кинематически тело в этот момент вращается вокруг МЦС. Геометрически МЦС лежит на пересечении перпендикуляров, восстановленных из точек тела к векторам их скоростей. Если скорости точек параллельны, МЦС находится через пропорции.

**7. Задание закрытого типа на установление соответствия**

Установите соответствие между физической величиной в динамике вращательного движения и ее математическим аналогом в поступательном движении:

| Вращательное движение                            | Поступательное движение                   |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1. Момент инерции $J_z$                          | А. Масса $m$                              |
| 2. Угловое ускорение $\varepsilon$               | Б. Линейное ускорение $a$                 |
| 3. Момент силы $M_z$                             | В. Сила $F$                               |
| 4. Кинетическая энергия $J_z \cdot \omega^2 / 2$ | Г. Кинетическая энергия $m \cdot V^2 / 2$ |

**Ответ:** 1-А, 2-Б, 3-В, 4-Г.

**8. Задание открытого типа с развернутым ответом**

На мостовой кран действует система вертикальных сил от веса тележки с грузом и собственного веса моста. Инженеру нужно определить опорные реакции колес крана на рельсы. Объясните, почему для нахождения этих реакций недостаточно только уравнений проекций сил ( $\sum Y = 0$ ) и необходимо использовать уравнение моментов, и как составляется это уравнение.

**Ответ:**

Уравнения проекций ( $\sum Y = 0 = R_A + R_B - P_1 - P_2$ ) содержат два неизвестных ( $R_A$  и  $R_B$ ), поэтому одного уравнения недостаточно — система статически неопределима относительно проекций. Чтобы раскрыть неопределенность, используется уравнение моментов относительно одной из опор ( $\sum M_A = 0 = R_B \cdot L - P_1 \cdot a - P_2 \cdot b$ ). В это уравнение входит только одна неизвестная реакция  $R_B$ . Момент силы — это мера вращательного действия, и равенство нулю суммы моментов гарантирует, что балка не будет вращаться, а не просто не двигаться поступательно.

**9. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора**

Дана механическая система, состоящая из нескольких тел. Какие из перечисленных сил относятся

к внутренним силам этой системы, а какие — к внешним? Выберите номера, соответствующие только внутренним силам.

1. Сила давления поршня на цилиндр двигателя.
2. Сила тяжести станка, действующая на фундамент.
3. Сила натяжения троса, соединяющего два груза на пружине.
4. Реакция подшипника на вал редуктора.
5. Сила упругости пружины между элементами упаковочного автомата.

**Ответ:** 1, 5.

**Обоснование:**

Внутренние силы — это силы взаимодействия между телами, включенными в рассматриваемую систему.

6. Поршень и цилиндр — оба входят в систему «двигатель», значит, сила их взаимодействия — внутренняя.
7. Пружина и соединяемые ею тела — все входят в систему, сила упругости — внутренняя. Сила тяжести и реакция фундамента (п.2) — внешние (Земля и фундамент вне системы). Натяжение троса (п.3) — если оба груза в системе, то внутренняя (зависит от выбора системы, но в стандартной постановке — да). Реакция подшипника (п.4) — внешняя, так как корпус подшипника обычно считается опорой (стойкой), не входящей в подвижную систему.

#### 10. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите последовательность операций при определении скоростей точек шатуна методом плана скоростей:

- А) Построение вектора скорости точки А (полюса) в выбранном масштабе  $\mu_v$
- Б) Выбор полюса плана скоростей (р) и масштаба построения
- В) Определение абсолютных скоростей точек В, S и т.д. как векторов, соединяющих полюс с соответствующими точками на плане
- Г) Проведение через конец вектора VA линии, перпендикулярной звену АВ (направление  $V_{BA}$ )
- Д) Проведение из полюса р линии, параллельной направляющей ползуна В (направление  $V_B$ )

**Ответ:** Б → А → Г → Д → В.

---

## Уровень 2. Средний (анализ, расчёт, применение формул) – 10 вопросов

#### 11. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

Для заданной плоской фермы инженер рассчитывает реакцию в опоре А, составив уравнение равновесия  $\sum M_B = 0$ . Чему равна сумма моментов всех сил относительно точки В, если ферма находится в равновесии, и почему выбор точки В выгоден?

- А)  $\sum M_B = 0$ , выбор точки В исключает из уравнения две неизвестные реакции, проходящие через эту точку.
- Б)  $\sum M_B = M_{\max}$ , выбор обусловлен максимальным плечом силы.
- В)  $\sum M_B = -\sum F_x$ , для учета горизонтальных сил.
- Г)  $\sum M_B > 0$ , так как ферма нагружена.

**Ответ:** А.

**Обоснование:** Основной тактический прием статики — выбор точки для составления уравнения моментов так, чтобы через нее проходили линии действия неизвестных сил. В данном случае, если составить  $\sum M_B = 0$ , моменты от опорных реакций, приложенных в точке В, будут равны нулю (плечо равно нулю), и они не войдут в уравнение. Это позволяет найти реакцию в точке А напрямую, без решения системы уравнений.

#### 12. Задание открытого типа с развернутым ответом

Однородная балка длиной 4 м и весом 2 кН лежит на двух опорах. Свес балки влево от опоры А составляет 1 м, расстояние между опорами А и В — 2 м, свес вправо от опоры В — 1 м. В точке над опорой В приложена вертикальная нагрузка 3 кН. Определите реакцию опоры А.

**Ответ:**

Расчет:

Обозначим реакции:  $R_A$ ,  $R_B$ .

Составим уравнение моментов относительно точки В (чтобы исключить  $R_B$ ):

$\Sigma M_B = 0 = R_A \cdot 2 - G \cdot 1 + P \cdot 0$  (плечо  $P$  относительно  $B = 0$ ).

Вес балки  $G = 2$  кН, приложен в центре (2 м от левого края). Плечо силы  $G$  относительно точки В: расстояние от центра до В = 1 м.  $G$  стремится вращать балку вокруг В против часовой стрелки (допустим, знак +), реакция  $R_A$  — по часовой стрелке (знак -).

$$R_A \cdot 2 = G \cdot 1$$

$$R_A = (2 \text{ кН} \cdot 1 \text{ м}) / 2 \text{ м} = 1 \text{ кН}.$$

Проверка через сумму проекций:  $\Sigma Y = R_A + R_B - G - P = 0 \rightarrow 1 + R_B - 2 - 3 = 0 \rightarrow R_B = 4$  кН.

### 13. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

В кривошипно-ползунном механизме кривошип ОА вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega$ .

Для определения ускорения ползуна В используется векторное уравнение  $a_B = a_A + a_{BA}^n + a_{BA}^t$ . Какие составляющие ускорения равны нулю в данном конкретном случае?

1.  $a_A^n$  (нормальное ускорение точки А).
2.  $a_{BA}^t$  (тангенциальное ускорение точки В относительно А).
3.  $a_A^t$  (тангенциальное ускорение точки А).
4.  $a_{BA}^n$  (нормальное ускорение точки В относительно А).
5. Абсолютное ускорение точки В  $a_B$ .

**Ответ:** 3.

**Обоснование:**

Кривошип ОА вращается *равномерно* ( $\omega = \text{const}$ ). Следовательно, угловое ускорение кривошипа  $\varepsilon_{OA} = 0$ . Точка А движется по окружности, ее тангенциальное ускорение  $a_A^t = \varepsilon_{OA} \cdot OA = 0$ .

Пункт 1:  $a_A^n \neq 0$  (центростремительное есть).

Пункты 2 и 4: Шатун АВ совершает плоское движение. Его угловое ускорение  $\varepsilon_{AB}$  в общем случае не равно нулю ( $a_{BA}^t \neq 0$ ). Нормальное ускорение  $a_{BA}^n = \omega_{AB}^2 \cdot AB$ , так как  $\omega_{AB} \neq 0$  в общем случае, то и  $a_{BA}^n \neq 0$ .

Пункт 5: Ползун В движется, ускорение не ноль.

### 14. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между теоремой динамики и физической величиной, для которой она формулирует закон сохранения или изменения:

| Теорема динамики                                       | Характеризуемая мера движения              |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Теорема об изменении количества движения (импульса) | А. Кинетическая энергия Т                  |
| 2. Теорема об изменении момента количества движения    | Б. Количество движения $Q (m \cdot V_c)$   |
| 3. Теорема об изменении кинетической энергии           | В. Момент инерции Jz                       |
| 4. Принцип Даламбера                                   | Г. Главный момент количеств движения $K_0$ |

**Ответ:** 1-Б, 2-Г, 3-А, 4 — не соответствует (это метод, а не мера движения).

### 15. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

Однородный тонкий стержень длиной  $L$  и массой  $m$  вращается вокруг оси, проходящей через его конец перпендикулярно стержню. Чему равен его момент инерции? Инженер использует теорему



Гюйгенса-Штейнера:  $J_{oz} = J_{cz} + m \cdot d^2$ . Где  $J_{cz} = m \cdot L^2/12$ ,  $d = L/2$ .

А)  $J = m \cdot L^2/3$

Б)  $J = m \cdot L^2/12$

В)  $J = m \cdot L^2/2$

Г)  $J = m \cdot L^2/6$

**Ответ:** А.

**Обоснование:**

Теорема Штейнера:  $J_{\text{конец}} = J_{\text{центр}} + m \cdot (L/2)^2$ .

$J_{\text{центр}}$  для стержня  $= m \cdot L^2/12$ .

Слагаемое переноса:  $m \cdot (L/4)^2 = m \cdot 3L^2/12$ .

Сумма:  $m \cdot L^2/12 + m \cdot 3L^2/12 = 4m \cdot L^2/12 = m \cdot L^2/3$ .

#### 16. Задание открытого типа с развернутым ответом

Коленчатый вал двигателя совершает вращательное движение с угловым ускорением  $\varepsilon = 5 \text{ рад/с}^2$ .

В некоторый момент угловая скорость вала  $\omega = 20 \text{ рад/с}$ . Маховик радиусом  $R = 0.5 \text{ м}$  жестко закреплен на валу. Для точки на ободе маховика найдите величину полного ускорения. Изобразите векторы нормального, тангенциального и полного ускорений.

**Ответ:**

Дано:  $\varepsilon = 5 \text{ рад/с}^2$ ,  $\omega = 20 \text{ рад/с}$ ,  $R = 0.5 \text{ м}$ .

Нормальное (центростремительное) ускорение:  $a_n = \omega^2 \cdot R = 20^2 \cdot 0.5 = 400 \cdot 0.5 = 200 \text{ м/с}^2$ .

Тангенциальное (касательное) ускорение:  $a_\tau = \varepsilon \cdot R = 5 \cdot 0.5 = 2.5 \text{ м/с}^2$ .

Полное ускорение:  $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{(200^2 + 2.5^2)} = \sqrt{(40000 + 6.25)} = \sqrt{40006.25} \approx 200.016 \text{ м/с}^2$ .

Геометрическая интерпретация: Вектор  $a_\tau$  направлен по касательной к ободу; вектор  $a_n$  — по радиусу к центру вала. Вектор полного ускорения  $a$  является диагональю прямоугольника, построенного на этих векторах, и направлен под очень малым углом к радиусу внутрь (так как  $a_n \gg a_\tau$ ).

#### 17. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

Инженер составляет расчетную схему подвески автомобиля для динамического анализа. Какие силы, согласно принципу Даламбера, должны быть условно приложены к системе, чтобы записать уравнения «кинетостатического равновесия»?

1. Силы инерции ( $\Phi = -m \cdot a_c$ ), приложенные в центре масс каждого тела.
2. Главный момент сил инерции ( $M^\Phi = -J_c \cdot \varepsilon$ ) для тел, совершающих вращательное движение.
3. Силы тяжести ( $G = m \cdot g$ ).
4. Силы реакций связей (упругости пружин, демпфирования).
5. Силы сухого трения Кулона.

**Ответ:** 1, 2.

**Обоснование:**

Принцип Даламбера гласит: если к активным силам и реакциям связей добавить силы инерции, то система будет находиться в равновесии. Силы инерции — это расчетный прием.

6. Главный вектор сил инерции  $\Phi = -m \cdot a_c$  — обязателен для каждого движущегося тела.
7. Главный момент сил инерции  $M^\Phi = -J_c \cdot \varepsilon$  — обязателен для тел с угловым ускорением. Силы тяжести (3), упругости (4) и трения (5) — это реальные силы, входящие в систему как активные или реакции, а не добавляемые по принципу Даламбера.

#### 18. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите шаги расчета кинетической энергии сложной механической системы (редуктор + барабан + груз) по теореме Кёнига:

А) Суммирование кинетических энергий всех тел ( $\sum T_i$ ) для записи уравнения теоремы об изменении кинетической энергии

Б) Выражение угловых и линейных скоростей тел через скорость ведущего звена ( $\omega_{\text{дв}}$ )

В) Расчет момента инерции каждого вращающегося тела ( $J_i$ ) и массы поступательно движущегося груза ( $m$ )

Г) Запись кинетической энергии каждого тела: для вращательного —  $J \cdot \omega^2/2$ , для поступательного

—  $m \cdot V^2/2$ , для плоского —  $m \cdot V_{\text{с}}^2/2 + J_{\text{с}} \cdot \omega^2/2$

Д) Приведение моментов и сил к выбранному звену приведения

**Ответ:** В → Б → Г → А → Д.

### 19. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между видом трения качения и моментом сопротивления перекатыванию, используемым в инженерных расчетах:

| Ситуация                             | Формула для предельного момента трения качения                                            |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Цилиндрический каток на плоскости | А. $M_{\text{max}} = \delta \cdot N$ (где $\delta$ — коэффициент трения качения в метрах) |
| 2. Шарик в радиальном подшипнике     | Б. $M_{\text{max}} = f \cdot N \cdot r$ (где $f$ — приведенный коэффициент трения)        |
| 3. Автомобильная шина по асфальту    | В. $M_{\text{max}} = k \cdot N / R$ (где $k$ — коэффициент сцепления)                     |

**Ответ:** 1-А, 2-Б, 3-А (с поправкой на гистерезис).

### 20. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

Материальная точка М движется по ободу диска радиуса R согласно закону  $S(t) = 2t^2$  (м). Диск вращается вокруг оси, проходящей через центр О, с угловой скоростью  $\omega = 3t$  (рад/с). Как найти абсолютную скорость точки М в момент времени  $t = 1$  с, используя теорему о сложении скоростей?

А)  $V_{\text{абс}} = 4$  м/с (только относительная скорость).

Б)  $V_{\text{абс}} = V_{\text{пер}} + V_{\text{отн}}$ , где  $V_{\text{пер}} = \omega \cdot R = 3$  м/с,  $V_{\text{отн}} = 4$  м/с, итого 7 м/с (алгебраически, так как вектора параллельны).

В)  $V_{\text{абс}} = V_{\text{пер}} + V_{\text{отн}}$ , где модуль равен  $\sqrt{(V_{\text{пер}}^2 + V_{\text{отн}}^2)} = 5$  м/с.

Г)  $V_{\text{абс}} = \omega \cdot R = 3$  м/с (только переносная).

**Ответ:** Б.

#### Обоснование:

Вектор переносной скорости точки М (скорость точки диска, где находится М) направлен по касательной к окружности диска:  $V_{\text{пер}} = \omega \cdot R$ . Вектор относительной скорости также направлен по касательной к диску в этой же точке (движение по ободу). В момент  $t=1$  с:  $\omega = 3$  рад/с,  $R = 1$  м (предположительно из контекста),  $V_{\text{пер}} = 3$  м/с. Относительная скорость:  $V_{\text{отн}} = dS/dt = 4t = 4$  м/с. Так как векторы  $V_{\text{пер}}$  и  $V_{\text{отн}}$  лежат на одной прямой и могут быть сонаправлены или противоположно направлены, их геометрическая сумма равна алгебраической. Если направления совпадают,  $V_{\text{абс}} = 3 + 4 = 7$  м/с.

---

## Уровень 3. Высокий (комплексный анализ, синтез, доказательства) – 5 вопросов

### 21. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

Инженер моделирует аварийное торможение клетки шахтного подъемника. Канат длиной L внезапно заклинивает в шкиве. Клеть массой m продолжает двигаться вниз со скоростью  $V_0$ . Канат рассматривается как упругая пружина жесткостью  $c = E \cdot A / L$ . Какое уравнение и почему правильно описывает движение клетки после заклинивания?

А)  $m \cdot a = m \cdot g$  — это свободное падение.

Б)  $m \cdot a = m \cdot g + c \cdot x$ , так как пружина работает на растяжение.

В)  $m \cdot x'' = m \cdot g - c \cdot x$ , так как сила упругости направлена вверх (против движения) и пропорциональна перемещению x от точки заклинивания.

Г)  $m \cdot x'' = -c \cdot x$  (уравнение гармонических колебаний без гравитации).

**Ответ:** В.

**Обоснование:** После заклинивания канат начинает растягиваться. Удлинение каната  $x$  отсчитывается от положения статического равновесия? Нет, в данной постановке  $x$  отсчитывается от момента заклинивания (недеформированного состояния каната в этой точке). На клеть действуют: сила тяжести  $m \cdot g$  (вниз) и сила упругости каната  $F_{\text{упр}} = c \cdot x$  (вверх, так как канат сопротивляется удлинению). Уравнение движения по второму закону Ньютона в проекции на ось  $x$  (вниз):  $m \cdot x'' = m \cdot g - c \cdot x$ . Это уравнение вынужденных колебаний около положения статического растяжения.

## 22. Задание открытого типа с развернутым ответом

Для механизма качающегося конвейера (кривошипно-коромысловый) получен закон изменения угловой скорости коромысла  $\omega_{\text{вых}}(\varphi)$ . При синтезе привода необходимо обеспечить минимальную неравномерность вращения. Опишите, как с помощью уравнения движения в форме кинетической энергии ( $T - T_0 = \Sigma A$ ) и понятия «приведенный момент инерции» рассчитать маховик, устанавливаемый на вал кривошипа.

**Ответ:**

Методика расчета маховика на основе диаграммы энергомасс:

1. Определяется приведенный момент инерции механизма  $J_{\text{пр}}(\varphi)$  как функция угла поворота кривошипа. Это суммарная инерционность всех звеньев, приведенная к валу кривошипа, из условия равенства кинетических энергий:  $J_{\text{пр}} = \Sigma m_i \cdot (V_i / \omega)^2 + \Sigma J_i \cdot (\omega_i / \omega)^2$ .
2. Строится зависимость  $J_{\text{пр}}$  от  $\varphi$ .
3. По известным движущим силам и силам сопротивления вычисляется избыточная работа  $\Delta A(\varphi)$  за цикл.
4. Строится диаграмма «энергомасс» ( $\Delta A$  как функция  $J_{\text{пр}}$ ), графическим или численным методом исключая параметр  $\varphi$  (метод Виттенбауэра).
5. По тангенсам углов наклона касательных к диаграмме ( $\tan \psi_{\text{max}}$  и  $\tan \psi_{\text{min}}$ ), которые связаны с заданным коэффициентом неравномерности  $\delta$  и средней скоростью  $\omega_{\text{ср}}$ , определяется требуемый момент инерции маховика  $J_{\text{мах}}$ .
6. Конструктивно маховик выполняется в виде диска или обода, устанавливается на быстроходный вал (вал кривошипа), и его момент инерции суммируется с  $J_{\text{пр}}(\varphi)$ , снижая амплитуду колебаний угловой скорости.

## 23. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

При составлении дифференциальных уравнений движения системы «платформа + груз» с помощью уравнений Лагранжа 2-го рода инженер выбрал обобщенные координаты  $q_1$  (смещение платформы) и  $q_2$  (угол отклонения груза). Какие составляющие кинетической энергии обязательно должны быть учтены при записи  $T$  системы?

1. Кинетическая энергия поступательного движения платформы ( $m_1 \cdot q_1'^2 / 2$ ).
2. Кинетическая энергия относительного вращения груза ( $J \cdot q_2'^2 / 2$ ).
3. Кинетическая энергия переносного движения груза вместе с платформой ( $m_2 \cdot V_{\text{пер}}^2 / 2$ ).
4. Взаимная кинетическая энергия, обусловленная скалярным произведением векторов переносной и относительной скоростей груза ( $m_2 \cdot (V_{\text{пер}} \cdot V_{\text{отн}})$ ).
5. Потенциальная энергия пружины ( $c \cdot q_1^2 / 2$ ).

**Ответ:** 1, 2, 3, 4.

**Обоснование:**

Кинетическая энергия системы есть сумма энергий всех тел. Для груза  $m_2$  его абсолютная скорость  $V_{\text{абс}} = V_{\text{пер}} + V_{\text{отн}}$ . Квадрат абсолютной скорости  $V_{\text{абс}}^2 = V_{\text{пер}}^2 + V_{\text{отн}}^2 + 2 \cdot V_{\text{пер}} \cdot V_{\text{отн}}$ .

6. Энергия платформы (тело 1).
7. Часть энергии груза от относительного вращения ( $J \cdot \omega^2 / 2$ ).
8. Часть энергии груза от переносного движения ( $m_2 \cdot V_{\text{пер}}^2 / 2$ ).
9. Скалярное произведение ( $V_{\text{пер}} \cdot V_{\text{отн}}$ ) дает «перекрестный» член в выражении кинетической энергии, который не равен нулю, если векторы не перпендикулярны. Он отвечает за взаимосвязь обобщенных скоростей  $q_1'$  и  $q_2'$  в уравнениях Лагранжа. Потенциальная энергия (п.5) не входит в кинетическую энергию  $T$ .

## 24. Задание закрытого типа на установление последовательности

Восстановите логическую цепочку вывода дифференциального уравнения вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы под действием гармонической силы  $F(t) = F_0 \cdot \sin(pt)$ :

- А) Введение диссипативной силы (сопротивления), пропорциональной скорости ( $F_{тр} = -b \cdot x'$ )
- Б) Применение принципа Даламбера: составление уравнения динамического равновесия сил инерции, упругости, сопротивления и внешней нагрузки
- В) Запись общего решения как суммы общего решения однородного уравнения ( $x_{общ}$ ) и частного решения неоднородного ( $x_{част} = A \cdot \sin(pt - \varphi)$ )
- Г) Анализ амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) для определения коэффициента динамичности  $\lambda$
- Д) Определение постоянных интегрирования из начальных условий ( $x_0, V_0$ )

**Ответ:** Б → А → В → Д → Г.

(Уравнение равновесия с инерцией, добавляем вязкость, интегрируем математически, находим константы из НУ, строим АЧХ и делаем выводы о резонансе).

## 25. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

При расчете на прочность шатуна двигателя используется принцип Даламбера. Шатун совершает плоскопараллельное движение. Инженер приложил в центре масс силу инерции  $\Phi = -m \cdot a_c$  и момент пары сил инерции  $M^\Phi = -J_c \cdot \epsilon$ . Правильно ли сделана замена, если шатун заменить статически эквивалентной системой из двух точечных масс, расположенных в центрах поршневой и кривошипной головок?

- А) Замена всегда правомерна без ограничений.
- Б) Замена правомерна только для расчета реакций, если суммы массы, координат центра масс и момента инерции у реального шатуна и эквивалентной системы одинаковы.
- В) Неправомерна, так как шатун — твердое тело, его нельзя заменять точками.
- Г) Правомерна только для статики, но не для динамики.

**Ответ:** Б.

**Обоснование:** Метод заменяющих масс используется для упрощения динамического анализа. Чтобы система из двух материальных точек была динамически эквивалентна шатуну (твердому телу), необходимо выполнение трех условий:

1. Сумма масс точек равна массе шатуна ( $m_1 + m_2 = m$ ).
2. Центр масс системы точек совпадает с центром масс шатуна ( $m_1 \cdot a = m_2 \cdot b$ ).
3. Момент инерции системы точек относительно центра масс равен  $J_c$  шатуна ( $m_1 \cdot a^2 + m_2 \cdot b^2 = J_c$ ). Однако при двух точках третье условие выполняется приближенно, и замена правомерна, если погрешность по  $J_c$  допустима для расчета реакций, но не для крутильных колебаний.

## ОПК-5 (работа с нормативно-технической документацией, стандартами, нормами и правилами).

### Уровень 1. Базовый (проверка основных понятий) – 10 вопросов

#### 1. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

При выполнении чертежа расчетной схемы балки инженер использовал условное обозначение шарнирно-неподвижной опоры. В каком нормативном документе установлено это графическое обозначение для схем строительных конструкций и расчетов?

- А) ГОСТ 2.701-84 «Схемы. Виды и типы»
- Б) ГОСТ 21.502-2016 «Правила выполнения рабочей документации металлических конструкций»
- В) ГОСТ 2.306-68 «Обозначения графические материалов»
- Г) ЕСКД ГОСТ 2.109-73 «Основные требования к чертежам»

**Ответ:** Б.

**Обоснование:** Для машиностроительных кинематических схем обозначения опор даны в ГОСТ

2.770-68. Однако в контексте расчетных схем сопротивления материалов и строительной механики (фермы, балки), которые являются частью рабочей документации КМ (конструкции металлические), условные графические обозначения шарниров (окружность, треугольник) регламентируются СПДС, в частности ГОСТ 21.502-2016 и ГОСТ 21.208-2013.

## 2. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между разделом теоретической механики и базовым стандартом (или методическим указанием), регламентирующим термины и буквенные обозначения величин в учебной и нормативной документации:

| Раздел ТМ                              | Нормативный документ (рекомендации по обозначениям)                               |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Статика (силы, реакции опор)        | А. ГОСТ 24346-80 «Вибрация. Термины и определения»                                |
| 2. Кинематика (скорости, ускорения)    | Б. Рекомендации ИСО 2041 (ISO 2041) или ГОСТ 8.417 (единицы СИ)                   |
| 3. Динамика (масса, момент инерции)    | В. ГОСТ 2.770-68 «Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики» |
| 4. Структура механизмов (звенья, пары) | Г. Стандарт предприятия (СТП) на оформление РПР, ссылающийся на ЕСКД              |

**Ответ:** 1-Г, 2-Б, 3-Б, 4-В.

## 3. Задание открытого типа с развернутым ответом

При нормоконтроле отчета о научно-исследовательской работе (НИР) по динамике манипулятора проверяющий сделал замечание: «В уравнении моментов использован символ М без индекса, что противоречит требованиям к однозначности». Какое правило стандартов ЕСКД или общих технических требований нарушено, и как правильно следует обозначать вращающий момент и изгибающий момент в одном тексте?

**Ответ:**

Нарушено правило однозначности обозначений, установленное ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам» и рекомендациями международных стандартов (ISO 80000-4). Символ М в технической механике является многозначным: он может означать и момент пары сил, и изгибающий момент. Если в тексте одновременно встречаются вращающий момент на валу и изгибающий момент в балке, для исключения путаницы необходимо использовать разные индексы или символы. Например, вращающий (крутящий) момент обозначается Т или М<sub>кр</sub>, а изгибающий момент — М<sub>и</sub> (или М<sub>х</sub>). В некоторых отраслевых стандартах (судостроение, станкостроение) приняты свои жесткие обозначения.

## 4. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

Инженер оформляет расчетную записку к проекту фермы покрытия цеха. Какие разделы, согласно ГОСТ 2.106-96 или общим требованиям к текстовым документам (ГОСТ 2.105-95), должны быть в обязательном порядке представлены в записке?

1. Расчетная схема с указанием всех размеров, нагрузок и обозначений опор.
2. Ссылка на использованный программный комплекс (например, SCAD, ANSYS) с версией и сертификатом.
3. Исходные данные: нормативные нагрузки с указанием СНиП/СП (например, СП 20.13330).
4. Экспертное заключение о сейсмостойкости района строительства.
5. Результаты расчета (усилия в стержнях, перемещения узлов) в табличной форме.

**Ответ:** 1, 3, 5.

**Обоснование:**

Согласно ГОСТ 2.105-95 и ГОСТ 2.106-96, любая текстовая конструкторская или расчетная

документация должна содержать:

6. Схему — без нее чтение расчета невозможно.
  7. Исходные данные — включая нормативные ссылки (без них нельзя проверить обоснованность цифр).
  8. Результаты расчета — выводы, подлежащие проверке.
- Ссылка на ПО (п.2) желательна, но не всегда обязательна (если это не оговорено в ТЗ).  
Экспертиза (п.4) — самостоятельный документ, не входит в текст расчетной записки.

#### 5. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы оформления студенческой расчетно-графической работы (РГР) по статике в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95 и методических указаний кафедры:

- А) Выполнение чертежа расчетной схемы с соблюдением масштабов и типов линий
- Б) Запись исходных данных согласно варианту и расшифровка обозначений
- В) Формулировка конечного ответа с указанием размерности и проверка по  $\Sigma Y=0$
- Г) Написание заголовка «Задача №1. Определение реакций опор...»
- Д) Аналитический расчет: запись уравнений равновесия в общем виде, затем с подстановкой чисел

**Ответ:** Г → Б → А → Д → В.

(Сначала заголовок, затем что дано, затем чертеж, затем решение, затем ответ).

#### 6. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

На расчетной схеме балки двутаврового сечения нагружена распределенной нагрузкой  $q$ . Инженер в спецификации ссылается на ГОСТ 8239-89. На что именно указывает этот стандарт?

- А) На методику расчета на прочность двутавровых балок.
- Б) На сортамент горячекатаных двутавров (размеры, моменты инерции, масса).
- В) На предельные отклонения формы поверхности катаных балок.
- Г) На правила обозначения стали 45.

**Ответ:** Б.

**Обоснование:** ГОСТ 8239-89 — это стандарт на сортамент двутавров стальных горячекатаных. В нем приведены геометрические характеристики профилей: высота, ширина полки, площадь сечения, осевые моменты инерции  $J_x$ ,  $J_y$ , моменты сопротивления  $W_x$ ,  $W_y$ . Эти данные берутся из ГОСТа и подставляются в формулы сопротивления материалов (проверка нормальных и касательных напряжений), которые регламентируются СП 16.13330 (СНиП II-23-81).

#### 7. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между типом единиц измерения физических величин в теоретической механике и их наименованием в Международной системе единиц (СИ), регламентированной ГОСТ 8.417-2002:

| Обозначение величины        | Размерность в СИ (выражение)                                |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1. Сила (F)                 | А. $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$ (Ньютон)         |
| 2. Момент силы (M)          | Б. $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ (килограмм-метр в квадрате) |
| 3. Работа (A) / Энергия (T) | В. $\text{Н} \cdot \text{м}$ (Ньютон-метр)                  |
| 4. Момент инерции (J)       | Г. Дж (Джоуль)                                              |

**Ответ:** 1-А, 2-В, 3-Г, 4-Б.

#### 8. Задание открытого типа с развернутым ответом

При расчете статически определимой балки студент в пояснительной записке написал: « $\Sigma M_A = 0$ , следовательно,  $R_B = 15 \text{ кН}$ ». Преподаватель, сославшись на нормоконтроль, требует «расшифровать уравнение». Какие обязательные элементы записи уравнения по правилам оформления технической документации пропущены?

**Ответ:**

В соответствии с требованиями к текстовым документам (ГОСТ 2.105-95), при записи расчетов

недостаточно просто привести символьное выражение. Пропущены следующие обязательные элементы:

1. Текстовое обоснование: «Составим сумму моментов всех сил относительно точки А.  
Уравнение равновесия: ...»
2. Уравнение моментов в общем виде с плечами:  $\Sigma M_A = -F_1 \cdot a + q \cdot b \cdot (b/2) + R_B \cdot L = 0$ .
3. Аналитическое выражение для искомой реакции:  $R_B = (F_1 \cdot a - 0.5 \cdot q \cdot b^2) / L$ .
4. Подстановка чисел с единицами измерений:  $R_B = (10 \text{ кН} \cdot 2 \text{ м} - 0.5 \cdot 5 \text{ кН/м} \cdot (3 \text{ м})^2) / 5 \text{ м}$ .  
Без этих шагов расчет непроверяем и не соответствует культуре оформления инженерного документа.

### 9. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

При чтении лекции по кинематике сложного движения точки преподаватель использует терминологию государственного стандарта. Какие из перечисленных терминов являются стандартизованными для описания сложного движения (по ГОСТ 24346-80 и аналогам)?

1. Абсолютное движение.
2. Кориолисово ускорение.
3. Вращательная скорость.
4. Переносное движение.
5. Реактивное движение.

**Ответ:** 1, 2, 4.

**Обоснование:**

В теории сложного движения точки, изучаемой в курсе теоретической механики, стандартными являются термины:

6. Абсолютное движение — движение точки относительно неподвижной системы отсчета.
7. Кориолисово (или поворотное) ускорение — составляющая абсолютного ускорения, возникающая при изменении вектора относительной скорости из-за вращения переносной среды.
8. Переносное движение — движение подвижной системы отсчета вместе с точкой.  
Термин «Вращательная скорость» (3) — жаргонизм, правильно «угловая скорость».  
«Реактивное движение» (5) — раздел физики/гидравлики.

### 10. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите правильную последовательность чтения и анализа нормативного документа «СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия» для определения коэффициента надежности по нагрузке ( $\gamma_f$ ) от веса стационарного оборудования:

- А) Открыть раздел «Термины и определения», найти понятие «постоянная нагрузка»
- Б) Найти в оглавлении раздел, касающийся веса оборудования и полезных нагрузок
- В) Убедиться, что актуализированная редакция СНиП является действующей на текущий год
- Г) В таблице нормативных значений найти коэффициент  $\gamma_f$  для металлургического оборудования
- Д) Умножить нормативную массу станка на найденный коэффициент для получения расчетной силы

**Ответ:** В → Б → А → Г → Д.

(Сначала валидность документа, затем структурный поиск раздела, затем уточнение терминов, затем данные, затем использование).

## Уровень 2. Средний (анализ, расчёт, применение формул) – 10 вопросов

### 11. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

Инженер определяет момент инерции сложного сварного сечения балки относительно центральной оси. Он использует формулу  $J_x = \Sigma J_{x_i} + \Sigma a_i^2 \cdot A_i$ . В каком документе он найдет значения  $J_{x_i}$  для стандартных профилей (швеллер, уголок), чтобы не вычислять их интегрированием?

- А) ГОСТ 2.307-2011 «Нанесение размеров»

Б) ГОСТ 8509-93 «Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент»

В) СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»

Г) Технический регламент Таможенного союза «О безопасности машин»

**Ответ:** Б.

**Обоснование:** Сортамент — это стандарт, содержащий точные геометрические характеристики профилей. Для равнополочного уголка по ГОСТ 8509-93 в таблицах приведены не только размеры, но и справочные величины: площадь сечения, осевые моменты инерции  $J_x$ ,  $J_y$ , радиусы инерции. Эти данные являются официальными справочными значениями, разрешенными к использованию в расчетах без дополнительного вывода. СП (вариант В) содержит методику расчета, но не таблицы профилей.

## **12. Задание открытого типа с развернутым ответом**

В поверочном расчете на усталостную прочность вала редуктора инженер определяет коэффициенты запаса. Формула имеет вид  $n = n_\sigma \cdot n_\tau / \sqrt{(n_\sigma^2 + n_\tau^2)}$ . Нормоконтролер требует указать ссылку на методику расчета. Назовите стандарт, регламентирующий данный расчет, и объясните, почему в формулу подставляются пределы выносливости, взятые из ГОСТ 25.504-82, а не предел прочности.

**Ответ:**

Стандарт, регламентирующий расчет валов на усталость — ГОСТ 25.504-82 (Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости). Для машиностроительных деталей также используется РД 50-83 (или ГОСТ Р 50779).

Почему не предел прочности: Вал работает при циклических нагрузках (изгиб с вращением, кручение). При циклическом нагружении разрушение происходит при напряжениях, значительно меньших статического предела прочности ( $\sigma_B$ ), из-за накопления микроскопических повреждений. Предел выносливости ( $\sigma_{-1}$ ) — это максимальное напряжение, которое материал выдерживает бесконечно долгое число циклов. Именно это значение, регламентированное ГОСТ 25.504-82 для стандартных образцов, корректируется с учетом концентрации напряжений, масштабного фактора и шероховатости, и подставляется в формулу запаса.

## **13. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора**

При защите курсового проекта по расчету фермы студент предъявил распечатку из программы, где усилия в стержнях даны в «Н» (Ньютонах). Для стали С345 инженер-консультант требует подбора сечения по СП 16.13330. Какие нормативные величины должны быть подставлены в формулу проверки устойчивости  $N / (\varphi \cdot A) \leq R_y \cdot \gamma_c$ , и откуда они берутся?

1.  $N$  — продольная сила из программы (но в кН, а не Н).
2.  $\varphi$  — коэффициент продольного изгиба, берется из таблицы СП 16.13330 в зависимости от гибкости  $\lambda$  и типа кривой устойчивости.
3.  $\gamma_c$  — коэффициент условий работы, берется из таблицы 1 СП 16.13330.
4.  $E$  — модуль упругости, берется из ГОСТ 1050-88.
5.  $R_y$  — расчетное сопротивление стали, берется из таблицы СП 16.13330 для стали С345.

**Ответ:** 2, 3, 5.

**Обоснование:**

Для проверки стального стержня по нормам проектирования (СП 16.13330 «Стальные конструкции») необходимо:

6. Коэффициент продольного изгиба  $\varphi$  — зависит от гибкости стержня и типа сечения (кривая устойчивости а, б, в). Его значения приведены в приложении СП.
7. Коэффициент условий работы  $\gamma_c$  — для сжатых элементов ферм обычно 0.9 или 1.0, строго регламентирован таблицей 1 СП.
8. Расчетное сопротивление  $R_y$  — не равно пределу текучести из ГОСТа на сталь, а назначается по таблице В.5 СП в зависимости от толщины проката и марки стали (С345 имеет  $R_y = 300-320$  МПа для тонкого листа).

Модуль упругости  $E$  — физическая константа (п.4 не из ГОСТа на сталь, а из физики).  $N$  в кН (п.1) — вопрос оформления.

## **14. Задание закрытого типа на установление соответствия**

Установите соответствие между типом механического движения в кинематике и



стандартизованным математическим способом его задания, применяемым в технической документации:

| Тип движения                                    | Способ задания                                                                                        |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Поступательное движение твердого тела        | А. Уравнение траектории точки $y = f(x)$ и закон движения $S(t)$                                      |
| 2. Вращательное движение вокруг неподвижной оси | Б. Уравнения движения полюса $X_c(t)$ , $Y_c(t)$ и уравнение вращения $\varphi(t)$                    |
| 3. Плоскопараллельное движение                  | В. Задание движения точки координатным способом $x(t)$ , $y(t)$ , $z(t)$                              |
| 4. Движение точки в пространстве                | Г. Уравнение вращения $\varphi = \varphi(t)$ и алгебраические значения $\omega(t)$ , $\varepsilon(t)$ |

**Ответ:** 1-В (или А для частного случая), 2-Г, 3-Б, 4-В.

**15. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора**

В техническом задании на спутниковую антенну указано: «Собственная частота конструкции должна быть не ниже 15 Гц». Инженер проверяет это требование через формулу  $\omega = \sqrt{c/m}$ . Какой нормативный документ регламентирует отстройку от резонанса и допустимые частоты собственных колебаний для антенных систем?

А) ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность»

Б) ГОСТ Р 51371-99 «Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам»

В) ОСТ на несущие конструкции антенн (или общие технические условия)

Г) Правила устройства электроустановок (ПУЭ)

**Ответ:** В.

**Обоснование:** Требования к жесткости и динамическим характеристикам специфического оборудования, такого как антенные посты, металлургические манипуляторы или опоры трубопроводов, обычно прописываются в отраслевых стандартах (ОСТ) или Общих технических условиях (ОТУ). ГОСТ 12.1.012-90 (вариант А) касается общей вибробезопасности труда человека, а ГОСТ Р 51371-99 — методик испытаний, а не проектных норм. Инженер должен поднять ОСТ на данный класс устройств.

**16. Задание открытого типа с развернутым ответом**

При расчете крутильных колебаний валопровода прокатного стана инженер использовал формулу для собственной частоты  $f = (1/2\pi) \cdot \sqrt{C/J}$ , где  $C$  — крутильная жесткость. Нормоконтролер запросил обоснование размерности и перевода единиц. Выведите единицу измерения частоты  $f$  в системе СИ (ГОСТ 8.417), если  $C$  измеряется в Н·м/рад, а  $J$  — в кг·м<sup>2</sup>.

**Ответ:**

Проверка размерности:

1. Крутильная жесткость  $C = M / \varphi$ . Единица измерения: [Н·м / рад]. Радиан — величина безразмерная, следовательно  $[C] = \text{Н} \cdot \text{м} = (\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2) \cdot \text{м} = \text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$ .
2. Момент инерции  $J$ :  $[J] = \text{кг} \cdot \text{м}^2$ .
3. Отношение  $C/J$ :  $(\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2) / (\text{кг} \cdot \text{м}^2) = 1/\text{с}^2$ .
4. Корень квадратный:  $\sqrt{1/\text{с}^2} = 1/\text{с}$ .
5. Частота  $f = (1/2\pi) \cdot \sqrt{C/J}$ . Коэффициент  $(1/2\pi)$  безразмерный. Размерность  $f = 1/\text{с} = \text{Гц}$  (Герц).

Вывод: Использование формулы с  $C$  в Н·м/рад и  $J$  в кг·м<sup>2</sup> дает частоту в Герцах, что соответствует стандартной единице измерения частоты периодических процессов по ГОСТ 8.417.

**17. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора**

Для оформления отчета по обследованию и поверочному расчету мостового крана инженер готовит раздел «Исходные нормативы». Какие документы из перечня являются обязательными для расчета металлоконструкции крана?

1. Федеральные нормы и правила (ФНП) «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения».
2. ГОСТ 32579-2013 «Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагружений».
3. ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки».
4. Инструкция по эксплуатации конкретного крана (паспорт).
5. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (для здания цеха).

**Ответ:** 1, 2, 4.

**Обоснование:**

Для расчета крана как технического устройства необходимо:

6. ФНП — основной нормативный акт, определяющий требования безопасности. Без него невозможен расчет по критериям предельных состояний.
  7. ГОСТ 32579-2013 — профильный межгосударственный стандарт, где прямо указаны коэффициенты динамичности, схемы нагружения, сочетания нагрузок именно для мостовых кранов.
  8. Паспорт крана — содержит уникальные данные (вес тележки, моста, схему базирования), без которых расчет невозможен.
- ГОСТ 380 (п.3) устарел (сортамент сейчас в ГОСТ 27772), СП 20.13330 (п.5) — для здания цеха, а не для самого крана.

#### 18. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите шаги подбора сечения центрально-сжатой стойки из двутавра по СП 16.13330.2017 (Стальные конструкции) в правильной логике итерационного процесса:

- А) По найденной площади  $A_{тр}$  подобрать по сортаменту (ГОСТ) профиль с  $A > A_{тр}$  и фактическим радиусом инерции  $i_{min}$
- Б) Проверить подобранное сечение на устойчивость:  $\sigma = N / (\varphi \cdot A) \leq R_y \cdot \gamma_c$
- В) Задаться начальным значением коэффициента продольного изгиба  $\varphi \approx 0.7-0.8$
- Г) Из условия устойчивости определить требуемую площадь  $A_{тр} = N / (\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c)$
- Д) Определить фактическую гибкость  $\lambda = \mu \cdot L / i_{min}$  и по таблице найти соответствующее  $\varphi$

**Ответ:** В → Г → А → Д → Б.

#### 19. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между коэффициентом, используемым в расчетах по теоретической механике и сопротивлению материалов, и его нормативным названием:

| Коэффициент                                               | Нормативное наименование                                   |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1. $f$ (в силе трения $F = f \cdot N$ )                   | А. Коэффициент динамичности (по СП 20.13330)               |
| 2. $\delta$ (в силе трения качения $M = \delta \cdot N$ ) | Б. Коэффициент трения скольжения (ГОСТ 27674-88)           |
| 3. $k_{дин}$ (в ударе)                                    | В. Плечо трения качения (метр), коэффициент трения качения |
| 4. $\varphi$ (в формуле Эйлера $F_{кр}$ )                 | Г. Коэффициент приведения длины (зависит от закрепления)   |

**Ответ:** 1-Б, 2-В, 3-А, 4-Г.

#### 20. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

При расчете заклепочного соединения фермы инженер использовал формулу на срез  $\tau = F / (n \cdot A_{ср}) \leq R_{bs}$ . Молодой специалист спрашивает, откуда взят показатель  $R_{bs}$ . Где его найти в

нормативной документации?

А) В технических условиях на заклепки (ГОСТ 10299-80).

Б) В таблице расчетных сопротивлений одноболтовых и заклепочных соединений (СП 16.13330).

В) Рассчитать, разделив предел прочности стали заклепки на коэффициент запаса 2.0.

Г) В ГОСТ 1497-84 (Методы испытаний на растяжение).

**Ответ:** Б.

**Обоснование:**  $R_{bs}$  — это расчетное сопротивление срезу заклепки. Согласно методике расчета стальных конструкций по предельным состояниям, все расчетные сопротивления ( $R_y$ ,  $R_s$ ,  $R_{bs}$ ,  $R_{bp}$ ) назначаются не «по ГОСТу на материал», а сведены в единые таблицы в актуализированной редакции СНиП II-23-81, то есть в СП 16.13330. Там учтены статистические данные о прочности и коэффициенты надежности.

---

## Уровень 3. Высокий (комплексный анализ, синтез, доказательства) – 5 вопросов

### 21. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

При экспертизе промышленной безопасности здания цеха обнаружено, что прогиб подкрановой балки превышает значения, указанные в старом чертеже. В чертеже стоит допуск « $f/L \leq 1/500$ » без ссылки на ГОСТ. Требуется определить, является ли это нарушением современных норм. Какой документ регламентирует вертикальные предельные прогибы подкрановых балок сегодня?

А) ГОСТ 23118-2012 «Конструкции стальные строительные».

Б) СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (Приложение Е).

В) ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований».

Г) Технический паспорт крана.

**Ответ:** Б.

**Обоснование:** В старой документации часто указывали допуски без ссылок. Современные нормы по жесткости (прогибам) изложены в разделе 15 и Приложении Е СП 20.13330.2016. Там приведена таблица Е.1 «Вертикальные предельные прогибы элементов конструкций». Для подкрановых балок под электрические краны режима 1К-6К предельный прогиб от одного крана составляет  $1/400$  или  $1/500$  в зависимости от режима работы. Именно СП 20.13330, а не стандарт на изготовление конструкций (ГОСТ 23118), определяет критерии пригодности по деформациям.

### 22. Задание открытого типа с развернутым ответом

При динамическом расчете виброплощадки для уплотнения бетонной смеси инженер получил амплитуду колебаний 1.8 мм. Санитарный врач требует оценки по ГОСТ 12.1.012-90. Объясните, как пересчитать амплитуду перемещения в амплитуду виброскорости (мм/с) для частоты 50 Гц, используя кинематические соотношения, и укажите, какой параметр нормируется для технологической вибрации, исходя из гигиенических требований.

**Ответ:**

Пересчет: При гармонических колебаниях перемещение  $x = A \cdot \sin(\omega t)$ . Скорость  $V = dx/dt = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$ . Амплитуда скорости  $V_{\max} = A \cdot \omega$ .

Расчет:  $A = 1.8 \text{ мм} = 0.0018 \text{ м}$ .  $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}$ .

$V_{\max} = 0.0018 \cdot 314 = 0.565 \text{ м/с} = 565 \text{ мм/с}$ .

Нормируемый параметр: ГОСТ 12.1.012-90 (Вибробезопасность) для технологической вибрации в производственных условиях нормирует логарифмический уровень виброскорости (в дБ) и скорректированное значение виброускорения ( $\text{м/с}^2$ ). Предельно допустимый уровень (ПДУ) для локальной вибраторы 50 Гц составляет примерно 2–4 мм/с по скорости или 100 дБ. Значение 565 мм/с является катастрофически высоким для человека и требует полной изоляции рабочего места от виброплощадки.

### 23. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

При составлении сметы на демонтаж старого пресса инженер должен определить вес металлолома. Используя чертеж общего вида, он находит массу маховика ( $m$ ), момент инерции ( $J$ ), толщину обода и диаметр. Какие данные из ГОСТа на сортамент или из правил черчения позволят ему

точно посчитать массу, если в спецификации нет веса маховика?

1. Плотность чугуна СЧ20 ( $\rho = 7100 \text{ кг/м}^3$ ) из справочника под редакцией Анурьева (том 1), допущенного как нормативное пособие.
2. Указание на чертеже «Неуказанные предельные отклонения по ГОСТ 30893.1 — H14, h14,  $\pm IT14/2$ ».
3. Ссылка на ГОСТ 1412-85 «Чугун с пластинчатым графитом» в штампе чертежа.
4. Формула объема цилиндра для упрощенного расчета без учета спиц.
5. Указание в технических требованиях чертежа: «Допускается отклонение массы детали не более 5%».

**Ответ:** 1, 5.

**Обоснование:**

6. Плотность материала не указывается в чертеже (она определяется маркой материала). Инженер обязан взять справочное значение плотности для СЧ20 по ГОСТ 1412-85 либо из авторитетного технического справочника (Анурьев, т.1), который де-факто используется как нормативный источник для расчетов массы в КБ.
7. Пункт ТТ «Допускается отклонение массы» дает прямое нормативное право рассчитать теоретическую массу по номинальным геометрическим размерам и не учитывать допуски (плюс/минус) при расчете. Формально масса должна быть проверена по взвешиванию, но для демонтажа допустима расчетная с учетом заявленного процента.

#### **24. Задание закрытого типа на установление последовательности**

Установите алгоритм поверочного расчета на прочность трубопровода, находящегося под действием внутреннего давления и изгиба (комплексное нагружение), согласно требованиям СТО ЦКТИ 10.001-2005 (Котлонадзор):

- А) Определение эквивалентного напряжения по теории прочности ( $\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{(\sigma_{\text{изг}}^2 + 3 \cdot \tau^2)}$ )
- Б) Расчет кольцевых и осевых напряжений от внутреннего давления (мембранные напряжения)
- В) Расчет номинальных допускаемых напряжений  $[\sigma]$  по РД 10-249-98 в зависимости от марки стали и температуры стенки
- Г) Проверка условия статической прочности ( $\sigma_{\text{экв}} \leq 1.1 \cdot [\sigma]$ )
- Д) Определение напряжений изгиба от веса трубы и продукта ( $\sigma_{\text{изг}} = M_{\text{изг}} / W$ )

**Ответ:** В → Б → Д → А → Г.

(Сначала находим допуск, затем основные напряжения от давления, затем дополнительные от самокомпенсации/веса, суммируем в эквивалент, проверяем запас).

#### **25. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора**

В конструкторском бюро при расчете болтового соединения фланцев муфты используется формула VDI 2230 (немецкий стандарт). В отечественном ГОСТ Р ИСО 898-1 даны механические свойства болтов. Инженер проставляет на чертеже момент затяжки  $M_{\text{зат}}$ . Нормоконтролер требует заменить значением «Момент затяжки по РД 24-200». Почему нельзя руководствоваться только VDI?

- А) VDI 2230 не учитывает пластические деформации.
- Б) В РФ стандарт VDI не является национальным или межгосударственным, и при экспертизе промышленной безопасности техническое решение должно быть обосновано ссылкой на ГОСТ Р или уполномоченный руководящий документ (РД).
- В) VDI 2230 дает завышенные коэффициенты трения.
- Г) РД 24-200 требует использования только метрической резьбы.

**Ответ:** Б.

**Обоснование:** Система технического регулирования в РФ и ЕАЭС требует, чтобы конструкторская документация, особенно на объекты, поднадзорные Ростехнадзору, опиралась на национальные стандарты (ГОСТ, ГОСТ Р) или утвержденные руководящие документы (РД). VDI 2230 — признанный инженерный инструмент, но с юридической точки зрения он не входит в «Перечень нормативных документов» к Техническому регламенту ТР ТС 010/2011. Поэтому в чертеже (КД) обязательно должна быть ссылка на отечественный аналог (ГОСТ Р 50779 или РД), а VDI может использоваться как вспомогательный справочник, не заменяя нормированный документ.

