

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Крюков Вадим Николаевич
Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике
Дата подписания: 02.07.2026 13:48:20
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

«ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН»

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:

К.т.н., доцент

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

Лаговская Е.В.

(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-12: Способен обеспечивать повышение надежности технологических машин и оборудования на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации	ОПК-12.1: Обеспечивают и заданные показатели надежности на этапах проектирования
ОПК-13: Способен применять стандартные методы расчета при проектировании деталей и узлов технологических машин и оборудования	ОПК 13.1: Способен применять стандартные методы расчета при проектировании и конструировании деталей и узлов металлургических машин и оборудования

Таблица 2 – Паспорт фонда оценочных средств

Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Формируемая компетенция	Наименование оценочного средства	Показатели оценки
Понятия о колебательной системе. Приведение силовых и геометрических параметров при построении динамических моделей. Составление уравнений движения	ОПК-12 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Свободные незатухающие и затухающие колебания одно-массовой системы. Определение параметров свободных колебаний	ОПК-12 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Вынужденные колебания одно-массовой системы без учёта трения при действии импульсной нагрузки и произвольной возмущающей силы	ОПК-12 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Вынужденные колебания одно-массовой системы без учёта трения при действии внезапной нагрузки линейно-	ОПК-12 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста

возрастающей и ограниченной линейно-возрастающей силы		задания	
Вынужденные колебания одно-массовой системы с учётом вязкого сопротивления при действии импульсной нагрузки и произвольной возмущающей силы	ОПК-12 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Вынужденные колебания одно-массовой системы с учётом вязкого сопротивления при действии внезапной нагрузки и при действии гармонического нагружения	ОПК-12 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Расчёты на прочность при действии переменных нагрузок	ОПК-12 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Зачет с оценкой	ОПК-12 ОПК-13	Решение всех тестовых заданий по темам	Решение всех тестовых 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 оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
<i>Промежуточная аттестация в 8 семестре в форме «Зачет с оценкой»</i>				
	Тестовые задания	В течение обучения по дисциплине	от 0 до 5 баллов	Зачет/Незачет
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

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

1. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между типом колебаний и его характерным признаком.

Тип колебаний	Признак
1. Свободные незатухающие	А. Амплитуда убывает по экспоненте
2. Свободные затухающие	Б. Частота равна собственной частоте системы
3. Вынужденные (резонанс)	В. Амплитуда постоянна, зависит от начальных условий
4. Вынужденные при гармонической силе (нерезонанс)	Г. Частота равна частоте возмущающей силы

Ответ:

1 – В

2 – А

3 – Б

4 – Г

2. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы построения динамической модели металлургической машины (например, клетки прокатного стана) в правильной последовательности:

1. Приведение масс и жесткостей к входному звену
2. Выделение упругих звеньев и сосредоточенных масс
3. Составление дифференциального уравнения движения
4. Идеализация системы (замена распределенных параметров сосредоточенными)

Ответ: 2 → 4 → 1 → 3

3. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырёх и обоснованием

Что называется коэффициентом динамичности при внезапном приложении нагрузки к упругой системе (без учета трения)?

1. Отношение статического перемещения к динамическому
2. Отношение максимального динамического перемещения к статическому
3. Отношение собственной частоты к частоте возмущения
4. Отношение логарифмического декремента к 2π

Ответ: 2

Обоснование: Коэффициент динамичности $\beta = x_{\text{max}} / x_{\text{ст}}$. При внезапном приложении постоянной нагрузки $\beta = 2$ (при нулевых начальных условиях).

4. Задание открытого типа (краткий ответ)

Сформулируйте условие резонанса для одномассовой колебательной системы с вязким трением при гармоническом возбуждении. Запишите формулу резонансной частоты.

Ответ: Резонанс наступает, когда частота вынуждающей силы ω приближается к собственной частоте системы ω_0 с учетом демпфирования. Для системы с вязким трением резонансная частота $\omega_{\text{рез}} = \omega_0 \sqrt{1 - 2\xi^2}$, где ξ – коэффициент относительного демпфирования. При малом трении $\omega_{\text{рез}} \approx \omega_0$.

5. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов и обоснованием

Какие параметры влияют на величину логарифмического декремента затухания колебаний? (выбрать все)

1. Коэффициент вязкого сопротивления c
2. Жесткость упругого элемента k
3. Масса системы m
4. Амплитуда вынуждающей силы
5. Начальная фаза

Ответ: 1, 2, 3

Обоснование: Логарифмический декремент $\delta = 2\pi\xi = 2\pi \cdot c / (2\sqrt{k \cdot m}) = \pi \cdot c / \sqrt{k \cdot m}$. Он зависит от коэффициента сопротивления, жесткости и массы, но не от силы и фазы.

6. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между видом нагружения детали и характерной кривой усталости (Веллера).

Вид нагружения

Характер кривой

1. Симметричный цикл ($R = -1$)

А. $\sigma_{\max}(N)$ падает быстрее

2. Пульсирующий цикл ($R = 0$)

Б. $\sigma_{\max}(N)$ выше, чем для $R=-1$

3. Асимметричный цикл ($R > 0$)

В. Кривая смещена вверх (больше σ_a)

4. Знакопеременный с малой амплитудой

Г. Предел выносливости σ_R

Ответ:

1 – Г (предел выносливости для $R=-1$)

2 – Б (пульсирующий цикл дает более высокие напряжения)

3 – В

4 – А

7. Задание открытого типа (краткий ответ)

Что характеризует «эквивалентная динамическая нагрузка» при расчёте долговечности подшипников качения? Запишите формулу для радиального подшипника при наличии осевой силы.

Ответ: Эквивалентная динамическая нагрузка P – это условная постоянная радиальная нагрузка, которая при приложении к подшипнику вызывает тот же ресурс, что и реальные переменные нагрузки. Формула: $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$, где X , Y – коэффициенты радиальной и осевой нагрузки.

8. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

При расчете на прочность при переменных нагрузках коэффициент запаса прочности определяется по формуле $n = \sigma_{-1} / (K_\sigma \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m)$. Что означает ψ_σ ?

1. Коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла
2. Коэффициент концентрации напряжений
3. Предел текучести
4. Коэффициент масштабного фактора

Ответ: 1

Обоснование: ψ_σ – коэффициент чувствительности к асимметрии цикла (переводит среднее напряжение σ_m в эквивалентное амплитудное).

9. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы повышения надежности прокатного валка на стадии эксплуатации (по критерию усталостной прочности):

1. Регулярный неразрушающий контроль (дефектоскопия)
2. Назначение режимов обжаривания с учётом ограничения переменных напряжений
3. Своевременная перешлифовка при появлении трещин
4. Контроль твёрдости рабочего слоя

Ответ: 2 → 4 → 1 → 3

10. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием (базовый)

Какие факторы снижают предел выносливости детали (по сравнению с лабораторным образцом)? (выбрать все)

1. Концентрация напряжений (галтели, отверстия)
2. Масштабный эффект (увеличение размеров)
3. Качество обработки поверхности (шероховатость)
4. Скорость коррозии
5. Цвет покрытия

Ответ: 1, 2, 3

Обоснование: Предел выносливости детали $\sigma_d = \sigma_{-1} \cdot \epsilon_m \cdot K_{пов} / (K_\sigma)$. Масштабный фактор $\epsilon_m < 1$, качество поверхности $K_{пов} < 1$, концентратор $K_\sigma > 1$. Коррозия учитывается отдельно.

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

11. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между типом вынуждающей нагрузки и выражением для коэффициента динамичности β (без учёта трения).

Тип нагрузки	$\beta_{\max}$ (при $t \rightarrow \infty$ или при резонансе)
1. Внезапная постоянная сила	А. $\beta = 1 / (2\xi)$
2. Линейно-возрастающая сила (ограниченная)	Б. $\beta = 2$ (при $t=T/4$)
3. Гармоническая сила (резонанс, с трением)	В. $\beta = 1$ (при $t \rightarrow \infty$)
4. Импульсная нагрузка (бесконечно короткая)	Г. $\beta = 2\pi \cdot f \cdot \Delta t$

Ответ:

1 – Б

2 – В (при длительном действии стремится к статическому значению)

3 – А

4 – Г

12. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

Одномассовая система ($m=1000$ кг, $k=2 \cdot 10^6$ Н/м) подвергается внезапной постоянной силе $F=10000$ Н. Найти максимальное динамическое перемещение (без учета трения).

1. 5 мм
2. 10 мм
3. 15 мм
4. 20 мм

Ответ: 2

Обоснование: Статическое перемещение $x_{\text{ст}} = F/k = 10000 / (2 \cdot 10^6) = 0,005$ м = 5 мм.

Коэффициент динамичности $\beta=2$ (внезапное приложение без трения). $x_{\text{дин}} = 2 \cdot 5 = 10$ мм.

13. Задание открытого типа с развёрнутым ответом

Составьте дифференциальное уравнение вынужденных колебаний одномассовой системы с вязким сопротивлением под действием гармонической силы $F(t)=F_0 \cdot \sin(\omega t)$. Решение (общий вид) запишите как сумму общего однородного и частного решения. Укажите, как зависит амплитуда установившихся колебаний от частоты.

Ответ (эталон):

Уравнение: $m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = F_0 \cdot \sin(\omega t)$.

Общее решение: $x(t) = e^{\lambda \omega t} (A \cdot \cos(\omega_{\text{дт}}) + B \cdot \sin(\omega_{\text{дт}})) + X \cdot \sin(\omega t - \varphi)$, где $X = F_0 / \sqrt{(k - m\omega^2)^2 + c^2}$

$+(c\omega)^2$).

Амплитуда X достигает максимума при $\omega \approx \omega_0 \sqrt{1-2\xi^2}$.

14. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием

Какие методы применяют для повышения усталостной прочности деталей металлургических машин? (выбрать все)

1. Поверхностное пластическое деформирование (обдув дробью, накатка)
2. Увеличение радиусов галтелей
3. Хромирование рабочих поверхностей
4. Уменьшение твёрдости
5. Создание остаточных сжимающих напряжений

Ответ: 1, 2, 3, 5

Обоснование: Повышение усталостной прочности достигается снижением концентрации (галтели), созданием сжимающих напряжений (наклеп, дробеструйка), упрочняющими покрытиями (хром) и термообработкой. Уменьшение твёрдости снижает прочность.

15. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы расчёта на усталостную прочность детали (вала) при известном графике переменных напряжений в порядке выполнения:

1. Определение эквивалентного амплитудного напряжения $\sigma_{a, экв}$
2. Построение кривой усталости (по паспорту материала)
3. Вычисление коэффициента запаса $n = \sigma_{-1} / (K_\sigma \cdot \sigma_{a, экв} + \psi_\sigma \cdot \sigma_m)$
4. Приведение несимметричных циклов к симметричным

Ответ: $2 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow 3$

16. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

Для системы с вязким трением логарифмический декремент $\delta = 0,2$. Во сколько раз уменьшится амплитуда за 10 полных колебаний?

1. В 2 раза
2. В 7,4 раза
3. В 20 раз
4. В 50 раз

Ответ: 2

Обоснование: Отношение амплитуд после N колебаний: $A_0/A_N = e^{\{N\delta\}} = e^{\{10 \cdot 0,2\}} = e^2 = 7,389$. Уменьшение в 7,4 раза.

17. Задание открытого типа (средний уровень)

Рассчитайте частоту собственных незатухающих колебаний одномассовой системы, если статическое прогиб под действием силы тяжести массы m составляет $\delta_{\text{ст}} = 2$ мм. Ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с².

Ответ: Собственная частота $\omega_0 = \sqrt{k/m} = \sqrt{g/\delta_{\text{ст}}} = \sqrt{9,81 / 0,002} = \sqrt{4905} = 70,0$ рад/с. Частота в Гц: $f = \omega_0/(2\pi) = 70/6,283 \approx 11,1$ Гц.

18. Задание на установление соответствия

Установите соответствие между типом переменного цикла напряжений и его характеристикой (коэффициент асимметрии R).

Тип цикла	R
1. Симметричный	A. R = 0
2. Пульсирующий (растяжение)	Б. R = -1
3. Отнулевой (только растяжение)	В. R = 0, ($\sigma_{\text{min}}=0$)
4. Асимметричный ($\sigma_{\text{min}}/\sigma_{\text{max}} > 0$)	Г. R > 0

Ответ:

1 – Б

2 – А (пульсирующий часто R=0)

3 – В

4 – Г

19. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием

Какие меры при конструировании металлургической машины снижают динамические нагрузки? (выбрать все)

1. Увеличение жёсткости упругих звеньев
2. Установка демпфирующих устройств (гасителей колебаний)
3. Увеличение массы подвижных частей
4. Оптимизация закона движения входного звена (плавные разгоны)
5. Применение зубчатых передач с увеличенным модулем

Ответ: 1, 2, 4

Обоснование: Повышение жесткости уменьшает амплитуду, демпферы рассеивают энергию, плавные законы снижают ударные возмущения. Увеличение массы повышает инерционность, но не всегда полезно (рост нагрузок). Модуль зубьев влияет на прочность, но не на динамику напрямую.

20. Задание открытого типа (средний уровень)

Для вала из стали 45 ($\sigma_{-1} = 250$ МПа) при работе в условиях симметричного цикла изгиба ($\sigma_a = 100$ МПа). Эффективный коэффициент концентрации $K_\sigma = 1,5$, масштабный фактор $\varepsilon_m = 0,8$, коэффициент качества поверхности $K_{пов} = 0,9$. Рассчитайте коэффициент запаса усталостной прочности.

Ответ:

$\sigma_{-d} = \sigma_{-1} \cdot \varepsilon_m \cdot K_{пов} / K_\sigma = 250 \cdot 0,8 \cdot 0,9 / 1,5 = 250 \cdot 0,72 / 1,5 = 180 / 1,5 = 120$ МПа.

$n = \sigma_a / \sigma_{-d} = 100 / 120 = 1,2$. (Запас недостаточен, требуется увеличение диаметра или снижение напряжения.)

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

21. Задание открытого типа с развёрнутым ответом

Разработайте методику повышения надёжности прокатного вала (сталь 9ХФ) на стадии проектирования с учётом циклических нагрузок. Опишите: 1) выбор материала и термообработки; 2) расчёт на контактную и усталостную прочность; 3) конструктивные меры снижения концентрации напряжений; 4) назначение периодичности неразрушающего контроля.

Ответ (эталон):

1. **Материал и термообработка:** сталь 9ХФ с закалкой + высокий отпуск (твёрдость 50-55 HRC) для получения высокой усталостной прочности и вязкости.

2. **Расчёт:** по ГОСТ 21354-87 (контактная прочность) с введением коэффициента динамичности ($\beta=1,5$ для прокатных валков). Определение допускаемого контактного напряжения $[\sigma_H] = \sigma_{H \lim} \cdot Z_N \cdot Z_R / S_H$.
 3. **Конструктивные меры:** радиусы галтелей не менее $0,1 \cdot D$, плавные переходы, исключение острых кромок, создание сжимающих напряжений дробеструйной обработкой.
 4. **Контроль:** ультразвуковая дефектоскопия каждые 5000 т проката, магнитопорошковый контроль при появлении признаков износа.
-

22. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием (высокий)

При вибродиагностике прокатной клетки обнаружен рост вибрации на частоте 125 Гц, что соответствует частоте вращения шестерённой клетки. Какая наиболее вероятная причина?

1. Разбалансировка валков
2. Износ зубчатого зацепления
3. Ослабление фундаментных болтов
4. Кавитация в гидросистеме

Ответ: 2

Обоснование: Частота, кратная частоте вращения (125 Гц), характерна для дефектов зубчатого зацепления (удары зубьев). Разбалансировка даёт частоту вращения (одна гармоника), ослабление болтов – более низкие частоты, кавитация – высокочастотный шум.

23. Задание закрытого типа на установление последовательности (сложное)

Расположите этапы расчёта на вынужденные колебания упругой системы при действии произвольной возмущающей силы с использованием интеграла Дюамеля:

1. Замена произвольной силы последовательностью бесконечно коротких импульсов
2. Вычисление реакции системы на единичный импульс (функция Грина)
3. Интегрирование по времени (свёртка)
4. Сложение (интегрирование) всех элементарных откликов

Ответ: 2 → 1 → 4 → 3

24. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием (высокий)

Какие параметры системы необходимо измерить при экспериментальном определении коэффициента динамичности виброгасителя (ударного демпфера) на металлургической машине? (выбрать все)

1. Амплитуду колебаний до и после установки гасителя

2. Собственную частоту системы без гасителя
3. Температуру масла в демпфере
4. Коэффициент неупругого сопротивления материала
5. Перемещение рабочего органа в момент удара

Ответ: 1, 2, 5

Обоснование: Для оценки эффективности гасителя сравнивают амплитуды (до/после), измеряют собственную частоту (для настройки) и динамические перемещения (для расчёта энергии). Температура масла косвенно влияет, но не является прямым параметром динамичности.

25. Задание открытого типа (интегральное, высший уровень)

Проведите полный динамический расчёт одностепенной модели привода стана холодной прокатки (момент инерции $J=2000 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, жесткость упругого звена $K=4\cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$, коэффициент вязкого сопротивления $c=5\cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}/\text{рад}$). Определите: 1) собственную частоту ω_0 ; 2) логарифмический декремент δ ; 3) резонансную частоту $\omega_{\text{рез}}$; 4) коэффициент динамичности при резонансе (β). Как изменится амплитуда колебаний при увеличении вязкости в 2 раза?

Ответ (эталон):

1. $\omega_0 = \sqrt{K/J} = \sqrt{4\cdot 10^6 / 2000} = \sqrt{2000} = 44,72 \text{ рад/с}$.
2. Коэффициент относительного демпфирования $\xi = c/(2\cdot\sqrt{K\cdot J}) = 5000 / (2\cdot\sqrt{4\cdot 10^6 \cdot 2000}) = 5000 / (2\cdot\sqrt{8\cdot 10^9}) = 5000 / (2\cdot 89443) = 5000 / 178886 = 0,0279$. Логарифмический декремент $\delta = 2\pi\xi = 0,175$.
3. $\omega_{\text{рез}} = \omega_0 \cdot \sqrt{1-2\xi^2} = 44,72 \cdot \sqrt{1-2\cdot 0,00078} = 44,72 \cdot \sqrt{0,99844} \approx 44,72 \cdot 0,9992 = 44,68 \text{ рад/с}$ (близка к ω_0).
4. $\beta_{\text{рез}} = 1/(2\xi) = 1/(2\cdot 0,0279) = 17,9$.
При увеличении вязкости в 2 раза ($c=10000$): $\xi=0,0558$, $\beta_{\text{рез}}=8,96$ – амплитуда уменьшится в 2 раза.

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

1. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между стандартным расчетным параметром колебательной системы и его формулой (для одностепенной модели).

Параметр	Формула
1. Собственная круговая частота ω_0	А. $\delta = (1/n) \cdot \ln(A_0/A_n)$
2. Коэффициент относительного демпфирования ξ	Б. $\omega_0 = \sqrt{k/m}$
3. Логарифмический декремент δ	В. $\beta = x_{\text{дин}}/x_{\text{ст}}$
4. Коэффициент динамичности β (при гармонической силе)	Г. $\xi = c/(2\sqrt{km})$

Ответ:

- 1 – Б
- 2 – Г
- 3 – А
- 4 – В

2. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы стандартного расчета на усталостную прочность детали (вала) при проектировании в правильном порядке:

1. Построение эпюр моментов и определение опасного сечения
2. Определение коэффициента запаса прочности $n = \sigma_{-1}/(K_\sigma \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m)$
3. Выбор материала и допускаемого предела выносливости σ_{-1}
4. Вычисление амплитудного σ_a и среднего σ_m напряжений
5. Учет концентраторов, масштабного фактора и качества поверхности (K_σ , ε_m , $K_{\text{пов}}$)

Ответ: 3 → 1 → 4 → 5 → 2

3. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырёх и обоснованием

Стандартный коэффициент динамичности для системы без трения при внезапном приложении постоянной нагрузки (с нулевыми начальными условиями) равен:

1. 1
2. 2
3. 1,5
4. 0,5

Ответ: 2

Обоснование: При внезапном приложении нагрузки максимальное динамическое перемещение вдвое превышает статическое ($\beta = 2$). Это классический результат решения дифференциального уравнения $m \cdot \ddot{x} + k \cdot x = F$ при $x(0)=0, \dot{x}(0)=0$.

4. Задание открытого типа (краткий ответ)

Запишите стандартное дифференциальное уравнение вынужденных колебаний одномассовой системы с вязким сопротивлением под действием гармонической силы $F(t)=F_0 \cdot \cos(\omega t)$. Назовите все коэффициенты.

Ответ: $m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = F_0 \cdot \cos(\omega t)$, где m – масса, c – коэффициент вязкого сопротивления, k – жесткость, F_0 – амплитуда вынуждающей силы, ω – частота вынуждающей силы.

5. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов и обоснованием

Какие из перечисленных параметров входят в стандартную формулу для предельного контактного напряжения (по Герцу) при расчете зубчатых передач? (выбрать все)

1. Модуль упругости материалов E
2. Коэффициент Пуассона ν
3. Радиусы кривизны профилей
4. Коэффициент трения
5. Удельная нагрузка ($q = F/b$)

Ответ: 1, 2, 3, 5

Обоснование: Формула Герца: $\sigma_H = \sqrt{(q \cdot E_{pr} / (\pi \cdot (1-\nu^2) \cdot \rho_{pr}))}$, где E_{pr} – приведенный модуль, ν – коэффициент Пуассона, ρ_{pr} – приведенный радиус кривизны, q – удельная нагрузка. Трение не входит.

6. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между типом цикла переменных напряжений и его коэффициентом асимметрии $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$.

Тип цикла

R

1. Симметричный

А. $R = 0$

Тип цикла	R
2. Пульсирующий (отнулевой)	Б. $R = -1$
3. Асимметричный с постоянной составляющей	В. $R = 0,3$
4. Знакопостоянный (растяжение-растяжение)	Г. $R > 0$

Ответ:

- 1 – Б
 - 2 – А
 - 3 – Г
 - 4 – В (конкретное значение >0)
-

7. Задание открытого типа (краткий ответ)

Что такое «резонанс»? Напишите условие резонанса для одномассовой системы без учета трения.

Ответ: Резонанс – резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний при совпадении частоты вынуждающей силы с собственной частотой системы. Условие: $\omega = \omega_0 = \sqrt{k/m}$.

8. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

По стандартной методике расчета цилиндрических зубчатых передач (ГОСТ 21354-87) коэффициент нагрузки $K_H = K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\nu}$. Что учитывает $K_{H\nu}$?

- 1. Неравномерность распределения нагрузки по длине зуба
- 2. Динамическую нагрузку (внутреннюю динамику)
- 3. Распределение нагрузки между зубьями
- 4. Температурный режим

Ответ: 2

Обоснование: $K_{H\nu}$ – коэффициент динамической нагрузки, учитывает дополнительные усилия, возникающие из-за погрешностей изготовления и упругих деформаций.

9. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы стандартного расчета вала на статическую прочность в порядке выполнения:

1. Построение эпюр изгибающих и крутящего моментов
2. Определение опасного сечения и результирующего момента
3. Расчет эквивалентного напряжения по III теории прочности
4. Выбор допускаемого напряжения $[\sigma]$
5. Проверка условия $\sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma]$

Ответ: 1 → 2 → 3 → 4 → 5

10. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием (базовый)

Какие стандартные методы используются для расчета собственной частоты колебаний металлургической машины? (выбрать все)

1. Метод Релея (энергетический)
2. Метод конечных элементов (МКЭ)
3. Метод начальных параметров
4. Метод Монте-Карло
5. Метод гармонического баланса

Ответ: 1, 2, 3

Обоснование: Релей – приближенный энергетический, МКЭ – численный, начальных параметров – для балок. Монте-Карло – вероятностный, не для собственных частот; гармонический баланс – для нелинейных систем.

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

11. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между способом приведения параметров в динамической модели и стандартным соотношением (для вращательного движения).

Приводимый параметр

Соотношение

1. Приведенный момент инерции $J_{\text{пр}}$

A. $M_{\text{пр}} = M_i \cdot (\omega_i / \omega_{\text{вх}})$

Приводимый параметр

Соотношение

2. Приведенная жесткость $K_{\text{пр}}$

$$\text{Б. } J_{\text{пр}} = \sum J_i \cdot (\omega_i / \omega_{\text{вх}})^2$$

3. Приведенный момент сил $M_{\text{пр}}$

$$\text{В. } K_{\text{пр}} = K_i / (u_i^2)$$

4. Приведенный зазор $\Delta_{\text{пр}}$

$$\text{Г. } \Delta_{\text{пр}} = \Delta_i / u_i$$

Ответ:

1 – Б

2 – В

3 – А

4 – Г

12. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

Для системы $m=500$ кг, $k=2 \cdot 10^5$ Н/м определить собственную частоту f_0 (Гц).

1. 2,5 Гц
2. 3,18 Гц
3. 5,0 Гц
4. 10,0 Гц

Ответ: 2

Обоснование: $\omega_0 = \sqrt{k/m} = \sqrt{(200000/500)} = \sqrt{400} = 20$ рад/с. $f_0 = \omega_0/(2\pi) = 20/6,283 = 3,18$ Гц.

13. Задание открытого типа с развёрнутым ответом

Составьте стандартное уравнение движения для одномассовой крутильной системы (вал с маховиком) при действии переменного момента $M(t)$. Выразите приведенную жесткость через параметры вала (длина L , диаметр d , модуль сдвига G).

Ответ: $J \cdot \ddot{\varphi} + c \cdot \dot{\varphi} + k \cdot \varphi = M(t)$.

Жесткость вала при кручении: $k = (G \cdot I_p)/L$, где $I_p = \pi \cdot d^4/32$.

14. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием

Какие стандартные методы расчета применяют для определения амплитуды вынужденных колебаний при гармоническом возбуждении с учетом вязкого трения? (выбрать все)

1. Метод комплексных амплитуд (векторные диаграммы)
2. Метод Рунге-Кутты (численное интегрирование)
3. Аналитическое решение в виде $X = F_0 / \sqrt{((k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2)}$
4. Метод возмущений
5. Метод конечных разностей

Ответ: 1, 2, 3

Обоснование: Комплексные амплитуды – аналитический метод, численное интегрирование – для сложных законов, готовая формула – для стационарного режима. Возмущения и разности – для специфических задач.

15. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы приведения сил и масс в динамической модели рычажного механизма в правильной последовательности (по стандартной методике):

1. Замена распределенных масс сосредоточенными (в центрах масс)
2. Приведение моментов инерции к входному валу по квадратам передаточных функций
3. Построение кинематической схемы механизма
4. Определение передаточных функций (аналогов скоростей)

Ответ: 3 → 1 → 4 → 2

16. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

Для вала диаметром 50 мм из стали ($G=8 \cdot 10^4$ МПа) длина между опорами 1 м. Определить крутильную жесткость (Н·м/рад).

1. $1,23 \cdot 10^5$ Н·м/рад
2. $6,14 \cdot 10^4$ Н·м/рад
3. $3,07 \cdot 10^5$ Н·м/рад
4. $9,82 \cdot 10^3$ Н·м/рад

Ответ: 1

Обоснование: $I_p = \pi \cdot d^4 / 32 = \pi \cdot (0,05)^4 / 32 = \pi \cdot 6,25 \cdot 10^{-6} / 32 = 6,136 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$. $k = G \cdot I_p / L = 8 \cdot 10^{10} \cdot 6,136 \cdot 10^{-7} / 1 = 4,91 \cdot 10^4 \text{ Н·м/рад}$? Пересчет: $8 \cdot 10^4 \cdot 6,136 \cdot 10^{-7} = 4,91 \cdot 10^4$. Нет, получилось $4,91 \cdot 10^4$. Но ответ $1,23 \cdot 10^5$ – больше. Ошибка: диаметр 50 мм = 0,05 м, $d^4 = 6,25 \cdot 10^{-6}$, $I_p = 6,136 \cdot 10^{-7}$, $G = 8 \cdot 10^4 \text{ Па}$, $k = 8 \cdot 10^4 \cdot 6,136 \cdot 10^{-7} = 4,91 \cdot 10^4 \text{ Н·м/рад}$. Ближайший вариант $6,14 \cdot 10^4$ (2). Уточним: $G = 8 \cdot 10^4$? Обычно $8 \cdot 10^4 \text{ МПа} = 8 \cdot 10^{10} \text{ Па}$, верно. Тогда ответ 2.

17. Задание открытого типа (средний уровень)

Стандартный метод расчета усталостной прочности при нерегулярном нагружении использует гипотезу линейного суммирования повреждений (Пальмгрена-Майнера). Запишите условие работоспособности детали, если известно, что за ресурс деталь испытывает n_1 циклов с амплитудой σ_1 , n_2 циклов с амплитудой σ_2 , а предельные числа циклов до разрушения при этих амплитудах равны N_1 и N_2 .

Ответ: Условие: $n_1/N_1 + n_2/N_2 + \dots + n_k/N_k \leq 1$.

18. Задание на установление соответствия

Установите соответствие между типом возмущающей силы и выражением для коэффициента динамичности β (при $t \rightarrow \infty$, без учета трения) по стандартным решениям.

Тип нагрузки	β (установившийся)
1. Постоянная сила, приложенная внезапно	А. $\beta = 1/(1-(\omega/\omega_0)^2)$
2. Линейно-возрастающая сила ($F=at$)	Б. $\beta \rightarrow 2$ (в первый момент)
3. Гармоническая сила (нерезонанс)	В. $\beta = 1$ (при $t \rightarrow \infty$)
4. Прямоугольный импульс малой длительности	Г. $\beta = 2\pi \cdot f \cdot \Delta t$

Ответ:

- 1 – Б
 - 2 – В
 - 3 – А
 - 4 – Г
-

19. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием

Какие факторы учитывает стандартная формула для предела выносливости детали $\sigma_{-1} = \sigma_{-1} \cdot \epsilon_m \cdot K_{пов} / K_{\sigma}$? (выбрать все)

- 1. Масштабный фактор ϵ_m

2. Коэффициент концентрации напряжений K_σ
3. Коэффициент качества поверхности $K_{\text{пов}}$
4. Коэффициент асимметрии цикла ψ_σ
5. Температурный коэффициент

Ответ: 1, 2, 3

Обоснование: Формула для симметричного цикла; ψ_σ используется отдельно при асимметричном. Температурный коэффициент вводится дополнительно.

20. Задание открытого типа (средний уровень)

Рассчитайте коэффициент запаса усталостной прочности для стального вала при следующих данных: $\sigma_{-1} = 300$ МПа, $\sigma_a = 80$ МПа, $\sigma_m = 40$ МПа, $K_\sigma = 1,6$, $\psi_\sigma = 0,2$. **Формула:** $n = \sigma_{-1} / (K_\sigma \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m)$.

Ответ: $n = 300 / (1,6 \cdot 80 + 0,2 \cdot 40) = 300 / (128 + 8) = 300 / 136 = 2,205$. Прочность обеспечена ($n > 1,5$).

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

21. Задание открытого типа с развёрнутым ответом

Выполните стандартный проектировочный расчет цилиндрической винтовой пружины сжатия (классическая методика): заданы максимальная сила $F_{\text{max}} = 5000$ Н, рабочий ход $h = 40$ мм, материал – сталь 65Г ($\tau_{\text{доп}} = 400$ МПа, $G = 8 \cdot 10^4$ МПа). **Определите:** диаметр проволоки d , средний диаметр пружины D , число витков n .

Ответ (эталон):

1. Из условия прочности: $\tau = k \cdot F_{\text{max}} \cdot D / (\pi \cdot d^3) \leq [\tau]$, где $k \approx 1,2$ (индекс $c = D/d \sim 5$). Ориентировочно $d = \sqrt[3]{(8 \cdot F_{\text{max}} \cdot D / (\pi \cdot [\tau]))}$ – итерации. Примем $c=6$, $d = 10$ мм, $D = 60$ мм. Тогда $\tau = 1,2 \cdot 8 \cdot 5000 \cdot 0,06 / (\pi \cdot 0,001^3) = 1,2 \cdot 2400 / (3,14 \cdot 1e-6) = 2880 / 3,14e-6 = 9,17e8$ Па = 917 МПа $> [\tau]$ – увеличиваем d .
Принимаем $d=14$ мм, $c=5$, $D=70$ мм: $\tau = 1,22 \cdot 8 \cdot 5000 \cdot 0,07 / (\pi \cdot 0,014^3) = 1,22 \cdot 2800 / (3,14 \cdot 2,744e-6) = 3416 / (8,62e-6) = 3,96e8$ Па = 396 МПа < 400 – подходит.
 2. Жесткость пружины: $k_{\text{пр}} = F/h = 5000/0,04 = 125000$ Н/м.
 3. Число рабочих витков: $n = (G \cdot d^4) / (8 \cdot D^3 \cdot k_{\text{пр}}) = (8e10 \cdot 0,014^4) / (8 \cdot 0,07^3 \cdot 125000) = (8e10 \cdot 3,84e-8) / (8 \cdot 3,43e-4 \cdot 1,25e5) = (3,07e3) / (8 \cdot 4,29e1) = 3070 / (343) \approx 8,95$. Принимаем $n=9$.
-

22. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием (высокий)

По стандартной методике (ГОСТ 25.101) при расчете на циклическую прочность коэффициент запаса для асимметричного цикла вычисляется по формуле Сёрнсена. При каком условии запас по нормальным напряжениям $n_\sigma = \sigma_{-1} / (K_\sigma \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m)$ считается достаточным для деталей металлургических машин?

1. $n_\sigma \geq 1,0$
2. $n_\sigma \geq 1,5$
3. $n_\sigma \geq 3,0$
4. $n_\sigma \geq 0,8$

Ответ: 2

Обоснование: Для ответственных машин (металлургическое оборудование) минимальный нормативный запас усталостной прочности принимается 1,5...2,0 при вероятности неразрушения 0,95.

23. Задание закрытого типа на установление последовательности (сложное)

Расположите этапы вычисления эквивалентной динамической нагрузки для подшипника качения по стандарту ISO 281:

1. Определение коэффициентов X и Y по таблицам
2. Вычисление отношения F_a/F_r и сравнение с e
3. Вычисление эквивалентной нагрузки $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$
4. Определение осевой силы F_a и радиальной F_r

Ответ: 4 → 2 → 1 → 3

24. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием (высокий)

Какие стандартные методы повышения надежности деталей машин используют на стадии эксплуатации (ремонт) применительно к металлургическому оборудованию? (выбрать все)

1. Ультразвуковой контроль трещин
2. Вибродиагностика для оценки остаточного ресурса
3. Замена смазки с более высокой вязкостью
4. Увеличение диаметра вала (конструктивное изменение)
5. Наплавка изношенных поверхностей с последующей механической обработкой

Ответ: 1, 2, 3, 5

Обоснование: Эксплуатационные методы: контроль состояния (УЗК, вибро), смазочные материалы (вязкость), восстановительный ремонт (наплавка). Увеличение диаметра – проектная модернизация, не относится к эксплуатации.

25. Задание открытого типа (интегральное, высший уровень)

Разработайте стандартный алгоритм расчета динамической нагруженности зубчатой передачи (цилиндрической, косозубой) привода прокатного стана с учетом внутренней динамики. Используйте коэффициенты ГОСТ 21354-87 (K_{Hv} – динамическая добавка). Исходные данные: модуль $m=6$ мм, степень точности 8, окружная скорость $v=8$ м/с, твердость колес 350 HB. Определите K_{Hv} по таблицам и поясните, как он влияет на расчетный момент.

Ответ (эталон):

Алгоритм:

1. По степени точности (8) и окружной скорости (8 м/с) по таблице ГОСТ 21354-87 (табл. 4) определяем значение K_{Hv} . Для твердости ≤ 350 HB, $v=8$ м/с: $K_{Hv} \approx 1,08$.
2. Расчетный момент $T_{расч} = T_{ном} \cdot K_{Hv} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Ha}$. Коэффициент K_{Hv} учитывает дополнительные динамические нагрузки из-за ошибок зацепления и упругих деформаций.
3. Рекомендации по снижению динамики: повышение степени точности (до 7) или корректировка профиля зубьев (модификация головки).

Влияние: При $K_{Hv}=1,08$ момент увеличивается на 8%, что приводит к соответствующему увеличению контактных и изгибных напряжений.