

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Крюков Вадим Николаевич
Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике
Дата подписания: 23.07.2026 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

«СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»

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)

Федоров А. А.

(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: Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ОПК-1.1: Способен применять методы математического анализа в профессиональной деятельности
	ОПК-1.2: Способен применять естественнонаучные знания в профессиональной деятельности
	ОПК-1.3: Способен применять инженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК-5: Способен работать с нормативно-технической документацией, связанной с профессиональной деятельностью, с учетом стандартов, норм и правил	ОПК-5.1: 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 курс «Сопротивление материалов».	ОПК-1 ОПК-5	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Центральное растяжение и сжатие прямого стержня.	ОПК-1 ОПК-5	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Кручение прямого стержня.	ОПК-1 ОПК-5	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Изгиб прямых стержней.	ОПК-1 ОПК-5	Список литературных источников по	Составление систематизированного списка использованных

		тематике, тестовые задания	источников, решение теста
Сложное сопротивление: изгиб с кручением.	ОПК-1 ОПК-5	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Устойчивость сжатых стержней.	ОПК-1 ОПК-5	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Действие динамических нагрузок.	ОПК-1 ОПК-5	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Действие периодически изменяющихся нагрузок.	ОПК-1 ОПК-5	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Зачет с оценкой, экзамен	ОПК-1 ОПК-5	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
Промежуточная аттестация в 4 семестре в форме «Зачет»				
	Тестовые задания	В течение обучения по дисциплине	от 0 до 5 баллов	Зачет/Незачет
ИТОГО:		-	___ баллов	-

Промежуточная аттестация в 5 семестре в форме «Экзамен»

	Тестовые задания	В течение обучения по 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 общетехнических 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 стержень фермы на растяжение. Ему необходимо определить напряжение в поперечном сечении. Какая гипотеза о распределении напряжений используется в сопротивлении материалов для этого расчета?

- А) Гипотеза наибольших касательных напряжений
- Б) Гипотеза плоских сечений (гипотеза Бернулли)
- В) Гипотеза Мора о хрупком разрушении
- Г) Гипотеза энергии формоизменения (Мизеса)

Ответ: Б.

Обоснование: Гипотеза плоских сечений (Я. Бернулли) утверждает, что поперечные сечения стержня, плоские до деформации, остаются плоскими и после деформации, перемещаясь поступательно. Из этой гипотезы следует равномерное распределение нормальных напряжений по площади сечения при центральном растяжении/сжатии ($\sigma = N / A$). Остальные гипотезы — это теории прочности, оценивающие переход в предельное состояние.

2. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между видом внутреннего усилия и буквенным обозначением, используемым при построении эпюр:

Внутреннее усилие	Стандартное обозначение на эпюре
1. Продольная сила	А. M_x (или M_y)
2. Поперечная сила	Б. $M_{кр}$ (или T)
3. Изгибающий момент	В. Q_y (или Q_z)
4. Крутящий момент	Г. N

Ответ: 1-Г, 2-В, 3-А, 4-Б.

3. Задание открытого типа с развернутым ответом

При испытании на растяжение цилиндрического образца из малоуглеродистой стали получена диаграмма условных напряжений (σ - ϵ). На диаграмме четко видна «площадка текучести». Объясните физическую природу этого явления с точки зрения движения дислокаций и укажите, какую механическую характеристику материала определяют по этой площадке.

Ответ:

Физическая природа: Площадка текучести на диаграмме малоуглеродистой стали связана с разблокировкой дислокаций от атмосфер Коттрелла (атомов углерода и азота). В исходном состоянии дислокации закреплены примесными атомами. При достижении верхнего предела текучести происходит лавинообразный отрыв дислокаций, и их движение продолжается при практически постоянном (нижнем) пределе текучести. Это проявляется в виде горизонтального участка на диаграмме. Механическая характеристика: По площадке текучести определяют физический предел текучести σ_t (σ_{yield}) — важнейший параметр для расчетов, так как он обозначает границу перехода от упругих деформаций к пластическим.

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

При построении эпюры изгибающих моментов для балки на двух опорах инженер использует правила проверки эпюр. Какие из перечисленных утверждений являются математически верными и используются для контроля правильности построений?

1. В точке приложения сосредоточенной силы на эпюре M наблюдается излом.
2. На участке с равномерно распределенной нагрузкой q эпюра M является прямой линией.
3. В сечении, где эпюра Q пересекает нулевую линию ($Q=0$), изгибающий момент принимает экстремальное значение.
4. В шарнирной опоре изгибающий момент всегда равен нулю (если нет приложенного сосредоточенного момента).
5. Скачок на эпюре Q равен величине распределенной нагрузки.

Ответ: 1, 3, 4.

Обоснование: Дифференциальные зависимости Д.И. Журавского при изгибе: $dM/dx = Q$, $dQ/dx = -q$.

6. Верно: Из-за скачка производной dM/dx (равной Q) происходит излом графика функции M .
7. Верно: Производная $dM/dx = 0$ — условие экстремума.
8. Верно: Шарнир допускает поворот, значит, момент сопротивления равен нулю.
Пункт 2 неверен: эпюра M на участке с q — квадратная парабола. Пункт 5 неверен: скачок Q равен сосредоточенной силе.

5. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите последовательность этапов проекторочного расчета вала на статическую прочность при совместном действии изгиба и кручения:

- А) Вычисление эквивалентного момента по гипотезе прочности ($M_{\text{экв}} = \sqrt{M_{\text{из}}^2 + M_{\text{кр}}^2}$)
- Б) Определение минимально допустимого диаметра вала из условия $\sigma_{\text{экв}} \leq [\sigma]$
- В) Составление расчетной схемы и определение опорных реакций
- Г) Построение эпюр изгибающих моментов ($M_{\text{верт}}$, $M_{\text{гор}}$) и крутящего момента ($M_{\text{кр}}$)
- Д) Расчет суммарного изгибающего момента $M_{\text{из}} = \sqrt{M_{\text{верт}}^2 + M_{\text{гор}}^2}$

Ответ: В → Г → Д → А → Б.

(Схема, усилия в опорах, эпюры, суммарный момент, эквивалент, диаметр).

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

Для круглого сплошного вала диаметром d рассчитывается максимальное касательное напряжение при кручении. Какая геометрическая характеристика сечения стоит в знаменателе формулы $\tau_{\max} = M_{\text{кр}} / W_p$?

- А) Осевой момент инерции J_x
- Б) Полярный момент сопротивления W_p
- В) Статический момент полусечения S_x
- Г) Центробежный момент инерции J_{xy}

Ответ: Б.

Обоснование: При кручении круглого вала касательные напряжения распределены по линейному закону, достигая максимума у поверхности. Формула $\tau_{\max} = M_{\text{кр}} / W_p$ вытекает из закона Гука при сдвиге и геометрии сечения. $W_p = J_p / (d/2)$ — это полярный момент сопротивления, зависящий только от размера и формы сечения. Для круга $W_p = \pi d^3/16$.

7. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между видом заклепочного (болтового) соединения и расчетной формулой условия прочности:

Вид расчета	Условие прочности
1. Расчет на срез заклепки	А. $\sigma_{\text{см}} = F / (d \cdot \sum \delta_{\min}) \leq [\sigma_{\text{см}}]$
2. Расчет на смятие листа	Б. $\tau_{\text{ср}} = F / (n \cdot \pi d^2/4) \leq [\tau_{\text{ср}}]$
3. Расчет листа на разрыв по ослабленному сечению	В. $\sigma_p = F / ((b - n \cdot d) \cdot \delta) \leq [\sigma_p]$

Ответ: 1-Б, 2-А, 3-В.

8. Задание открытого типа с развернутым ответом

При испытании на сжатие деревянного образца (сосна) вдоль волокон инженер заметил, что характер разрушения принципиально отличается от разрушения стали (образуется «складка» или скол под углом). Объясните разницу в механизмах разрушения этих двух материалов при сжатии, используя понятия о структурной неоднородности и механических характеристиках.

Ответ:

Разница в механизмах обусловлена структурой материалов:

1. Малоуглеродистая сталь: Однородна на макроуровне, изотропна, обладает высокой пластичностью. При сжатии образец бочкообразно деформируется (утолщается в средней части) без явного разделения на части из-за трения на торцах. Разрушение не наступает вплоть до очень больших деформаций, условно пределом прочности считается напряжение при заданной остаточной деформации.
2. Древесина (сосна): Анизотропный материал с трубчато-волокнистой структурой. При сжатии вдоль волокон происходит потеря устойчивости отдельных трубок-клеток (микропродольный изгиб). Макроскопически это выглядит как образование характерной складки (линии перелома) или скола под углом к оси нагружения из-за разрушения связующего (лигнина) между волокнами.

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

Инженеру необходимо повысить устойчивость центрально-сжатой стойки без изменения ее длины и материала. Какие изменения формы поперечного сечения приведут к повышению критической силы $F_{кр}$, согласно формуле Эйлера?

1. Увеличить площадь поперечного сечения A .
2. Увеличить минимальный момент инерции J_{min} .
3. Выбрать сечение, равноустойчивое во всех направлениях ($J_{min} = J_{max}$).
4. Заменить сплошное круглое сечение на трубчатое той же площади.
5. Уменьшить модуль упругости материала E .

Ответ: 2, 3, 4.

Обоснование:

Формула Эйлера для критической силы: $F_{кр} = \pi^2 \cdot E \cdot J_{min} / (\mu \cdot L)^2$.

6. Увеличение J_{min} напрямую повышает $F_{кр}$.
7. Равноустойчивость: если $J_{min} = J_{max}$, мы исключаем слабую ось, и потеря устойчивости происходит одновременно во всех направлениях при максимально возможной нагрузке.
8. Трубчатое сечение (кольцо) при той же площади (а значит, массе) имеет значительно больший момент инерции, чем сплошной круг, так как материал «разнесен» от центра.
Пункт 1 неверен: увеличение A без изменения J_{min} (например, вставка внутрь) не спасет от потери устойчивости в слабом направлении.

10. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите правильный порядок определения перемещения точки балки методом Мора (интеграл Мора) с использованием правила Верещагина:

- А) Перемножение площади грузовой эпюры на ординату единичной эпюры под ее центром тяжести
- Б) Построение эпюры изгибающих моментов от единичной безразмерной силы ($F=1$), приложенной в искомой точке по направлению искомого перемещения
- В) Построение «грузовой» эпюры изгибающих моментов от заданных внешних нагрузок
- Г) Суммирование результатов перемножения по участкам и деление на жесткость (EJ)
- Д) Разбиение сложной грузовой эпюры на простые фигуры (прямоугольник, треугольник, парабола)

Ответ: Б → В → Д → А → Г.

(Сначала единичное состояние, потом грузовое, разбиваем фигуры, перемножаем по правилу, суммируем и делим).

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

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

Абсолютно жесткий брус подвешен на трех стальных стержнях одинаковой длины и сечения (сталь Ст3). Крайние стержни нагрели на $\Delta t = 50^\circ\text{C}$. Возникнут ли напряжения в среднем (ненагретом) стержне, и как математически описать условие совместности деформаций?

- А) Нет, так как система статически определима.

Б) Да, условие совместности: $\Delta l_{\text{средн}} = \Delta l_{\text{крайн}}$ (абсолютные удлинения равны).

В) Да, условие совместности вытекает из подобия треугольников (геометрия деформирования бруса) и закона Гука: $N_1 \cdot l / (EA) = N_2 \cdot l / (EA) + \alpha \cdot \Delta t \cdot l$.

Г) Да, условие: $\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$.

Ответ: В.

Обоснование: Система статически неопределима (3 неизвестных усилия при 2 уравнениях равновесия). При нагреве крайние стержни удлиняются, но жесткий брус, поворачиваясь, заставляет средний стержень деформироваться. Условие совместности записывается из подобия треугольников перемещений: удлинение среднего стержня равно среднему арифметическому удлинений крайних (с учетом их температурного расширения). Подстановка физических уравнений (закон Гука) дает уравнение для раскрытия статической неопределимости.

12. Задание открытого типа с развернутым ответом

Стальной стержень круглого сечения диаметром 20 мм растягивается силой $F = 30$ кН. Модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$. Определите абсолютное уменьшение диаметра стержня. Поясните, какие физические допущения вы используете.

Ответ:

Дано: $d = 20$ мм, $A = \pi \cdot 20^2 / 4 = 100\pi \approx 314$ мм². $F = 30\,000$ Н.

1. Нормальное напряжение: $\sigma = F / A = 30000 / 314 \approx 95.5$ МПа.
2. Закон Гука для линейного напряженного состояния: $\epsilon_{\text{прод}} = \sigma / E = 95.5 / 2 \cdot 10^5 = 4.78 \cdot 10^{-4}$.
3. Поперечная деформация связана с продольной через коэффициент Пуассона: $\epsilon_{\text{попер}} = -\nu \cdot \epsilon_{\text{прод}} = -0.3 \cdot 4.78 \cdot 10^{-4} = -1.434 \cdot 10^{-4}$.
4. Абсолютное изменение диаметра: $\Delta d = \epsilon_{\text{попер}} \cdot d = -1.434 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \text{ мм} = -2.87 \cdot 10^{-3}$ мм.
Допущения: Материал изотропный, работает в пределах упругости (закон Гука справедлив), напряжения распределены равномерно.

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

На консольную балку прямоугольного сечения ($h > b$) действует вертикальная сила F , приложенная в центре тяжести торца, но под углом 30° к вертикали (в плоскости y - z). Какие виды сложного сопротивления испытывает балка, и по какой формуле вычисляется максимальное напряжение?

1. Косой изгиб.
2. Плоский поперечный изгиб.
3. Изгиб с кручением.
4. Формула: $\sigma_{\text{max}} = M_y / W_y + M_z / W_z$.
5. Формула: $\sigma_{\text{max}} = M_{\text{изг}} / W_{\text{изг}}$.

Ответ: 1, 4.

Обоснование:

Сила, не лежащая в главной плоскости инерции, раскладывается на две составляющие вдоль осей y и z . Обе создают изгибающие моменты (M_y и M_z), плоскость действия которых не совпадает ни с одной из главных осей. Это классический случай косоугольного изгиба. Максимальное напряжение в опасной точке (угол сечения) определяется алгебраической суммой напряжений от двух плоских изгибов (п.4). Кручение (п.3) отсутствует, так как сила приложена в центре тяжести.

14. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между теорией прочности (критерием) и ее аналитическим выражением для эквивалентного напряжения в случае плоского напряженного состояния (σ_1, σ_2):

Теория прочности	Эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$
1. Теория наибольших нормальных напряжений (I)	A. $\sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2)}$
2. Теория наибольших касательных напряжений (III)	Б. $\sigma_1 - \nu \cdot \sigma_2$ (для хрупких)
3. Энергетическая теория (Мизеса, IV)	В. $\sigma_1 - \sigma_2$
4. Теория Мора (V)	Г. $\sigma_1 - k \cdot \sigma_2$, где $k = [\sigma_p] / [\sigma_{\text{сж}}]$

Ответ: 1-Б, 2-В, 3-А, 4-Г.

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

Стальной вал передает мощность $P = 50$ кВт при частоте вращения $n = 500$ об/мин. Допускаемое напряжение $[\tau] = 80$ МПа. Инженер рассчитывает диаметр вала. По какой формуле он определит крутящий момент, и чему приблизительно равен расчетный диаметр?

A) $M = P / \omega$, где $\omega = \pi n / 30$, $M \approx 955$ Н·м, $d \approx 40$ мм.

Б) $M = P \cdot n$, $M \approx 25000$ Н·м, $d \approx 120$ мм.

В) $M = P / n$, $M \approx 0.1$ Н·м, $d \approx 10$ мм.

Г) $M = P \cdot \omega$, где $\omega = 2\pi n$, $M \approx 9550$ Н·м, $d \approx 80$ мм.

Ответ: А.

Обоснование:

Угловая скорость: $\omega = \pi \cdot n / 30 = 3.14 \cdot 500 / 30 \approx 52.3$ рад/с.

Момент: $M_{\text{кр}} = P / \omega = 50\,000 \text{ Вт} / 52.3 \text{ рад/с} \approx 956$ Н·м.

Условие прочности: $\tau_{\text{max}} = M_{\text{кр}} / W_p \leq [\tau]$.

Для сплошного вала: $W_p = \pi d^3 / 16$.

$d \geq \sqrt[3]{(16 \cdot M_{\text{кр}} / (\pi \cdot [\tau]))} = \sqrt[3]{(16 \cdot 956 \cdot 10^3 \text{ Н·мм} / (3.14 \cdot 80))} = \sqrt[3]{(15296000 / 251.2)} = \sqrt[3]{60891} \approx 39.4$ мм. Округляем до 40 мм.

16. Задание открытого типа с развернутым ответом

На балку двутаврового сечения №20 (ГОСТ 8239-89) действует изгибающий момент $M = 60$ кН·м.

Момент сопротивления $W_x = 184$ см³. Рассчитайте максимальное нормальное напряжение.

Можно ли считать балку прочной, если сталь имеет предел текучести $\sigma_T = 245$ МПа? Почему расчет по допускаемым напряжениям устарел и заменен расчетом по предельным состояниям?

Ответ:

Расчет напряжения: $\sigma_{\text{max}} = M / W_x = 60 \cdot 10^6 \text{ Н·мм} / 184 \cdot 10^3 \text{ мм}^3 \approx 326$ МПа.

Оценка: $326 \text{ МПа} > 245 \text{ МПа}$ — напряжение превышает предел текучести. Балка не только не прочна, она работает в пластической зоне.

Почему устарел расчет по $[\sigma]$: Метод расчета по допускаемым напряжениям ($\sigma \leq [\sigma] = \sigma_{\text{оп}} / n$) использует единый коэффициент запаса n , что не отражает реальную неопределенность различных нагрузок и свойств материала. Современный метод предельных состояний (СП 16.13330) вводит

систему частных коэффициентов надежности по нагрузке (γ_f), по материалу (γ_m), по ответственности (γ_n), а также учитывает развитие пластических деформаций, что делает расчет более точным и экономичным.

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

При ударном нагружении (падение бойка на стержень) возникают динамические напряжения. Какие факторы влияют на величину динамического коэффициента $k_{\text{дин}}$ в формуле $\sigma_{\text{дин}} = k_{\text{дин}} \cdot \sigma_{\text{ст}}$?

1. Скорость падения груза в момент удара.
2. Модуль упругости материала стержня.
3. Жесткость пружины амортизатора (если она установлена).
4. Предел прочности материала σ_v .

5. Объем (длина и площадь) стержня.

Ответ: 1, 3, 5.

Обоснование: Коэффициент динамичности при ударе вычисляется на основе баланса энергии.

6. Скорость (или высота падения) определяет кинетическую энергию удара T_0 . Чем она выше, тем больше $k_{\text{дин}}$.
7. Амортизатор с малой жесткостью увеличивает податливость системы, уменьшая $k_{\text{дин}}$.
8. Объем стержня влияет на его жесткость при растяжении/сжатии ($c = EA/l$) и на потенциальную энергию упругой деформации, которую система способна накопить, снижая $k_{\text{дин}}$.
Пункт 2 (модуль E) влияет опосредованно через жесткость. Пункт 4 (σ_v) не входит в формулы динамики упругого удара.

18. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите алгоритм раскрытия статической неопределимости балки методом сил:

А) Вычисление коэффициентов канонических уравнений (δ_{ij}) перемножением единичных эпюр по правилу Верещагина

Б) Построение эпюр изгибающих моментов в основной системе от единичных «лишних» неизвестных ($X_1=1, X_2=1$)

В) Запись системы канонических уравнений метода сил ($\delta_{ij} \cdot X_j + \Delta_{ip} = 0$)

Г) Выбор основной системы путем отбрасывания «лишних» связей

Д) Построение окончательной эпюры изгибающих моментов $M_{\text{ок}} = M_p + \sum M_i \cdot X_i$

Ответ: Г → Б → А → В → Д.

(Сначала ОС, потом единичные эпюры, потом коэффициенты, потом система уравнений, потом результат).

19. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между характером изменения напряжений во времени (цикл) и параметром, используемым в расчетах на усталость:

Тип цикла нагружения	Характеристика цикла
1. Симметричный цикл	А. Коэффициент асимметрии $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = 0$
2. Отнулевой (пульсационный) цикл	Б. Амплитудное напряжение $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$
3. Асимметричный цикл	В. Коэффициент асимметрии $R = -1$
4. Для любого цикла	Г. Среднее напряжение $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2$

Ответ: 1-В, 2-А, 3-Б/Г, 4-Б/Г.

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

Чугунная колонна кольцевого сечения ($D=200$ мм, $d=160$ мм) внецентренно сжата силой F . Точка приложения силы лежит на наружном контуре. Почему для чугуна критически важно не допустить растягивающих напряжений, и по какому условию следует вести расчет?

- А) По условию прочности на сжатие, так как чугун прочен на сжатие.
- Б) По условию, чтобы нейтральная линия не пересекала ядро сечения, так как чугун плохо сопротивляется растяжению.
- В) По формуле Эйлера на устойчивость.
- Г) По деформациям укорочения.

Ответ: Б.

Обоснование: Чугун — хрупкий материал, у которого предел прочности на растяжение в 3–5 раз ниже, чем на сжатие. При внецентренной сжатии на одной стороне сечения возникают сжимающие напряжения, а на противоположной могут возникнуть растягивающие. Чтобы исключить растяжение (и гарантировать надежность хрупкого элемента), равнодействующая всех сжимающих сил должна находиться в пределах ядра сечения (для кольца — центральная зона). Если сила приложена на контуре, растяжения не избежать, и колонна треснет с растянутой стороны.

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 расчете на прочность балки переменного сечения (равного сопротивления изгибу) инженер получил, что в опасном сечении запас по текучести $n_t = 2.0$, а в соседнем сечении (с меньшим моментом, но и с резким переходом) — запас $n_t = 1.5$. Локальное повышение напряжений вызвано концентратором (галтелью). Каким фундаментальным противоречием классического сопротивления материалов это объясняется?

- А) Противоречием между изгибом и кручением.
- Б) Принципом Сен-Венана: в зоне концентрации гипотеза плоских сечений нарушается, эпюра

напряжений становится нелинейной, и расчет по формуле $\sigma = M/W$ дает заниженный запас.

В) Законом Гука для сдвига.

Г) Эффектом Баушингера.

Ответ: Б.

Обоснование: Классические формулы сопротивления материалов ($\sigma = M/W$) выведены из гипотезы плоских сечений, которая справедлива только на достаточном удалении от мест приложения сил и геометрических концентраторов. В зоне резкого перехода (галтель, шпоночный паз) распределение напряжений резко неравномерно: у поверхности возникает пик напряжений ($\sigma_{\max} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{\text{ном}}$), который не описывается элементарной теорией. Расчет по среднему напряжению дает ложное чувство безопасности — реальный запас прочности исчерпан.

22. Задание открытого типа с развернутым ответом

Опишите физический смысл и математическую процедуру определения перемещений методом Мора. Дана рама, в которой нужно найти горизонтальное перемещение точки А. Обоснуйте, почему интегрирование можно заменить «перемножением эпюр» по правилу Верещагина, и какие условия для этого необходимы. Приведите последовательность действий.

Ответ:

Физический смысл: Интеграл Мора вытекает из принципа возможных перемещений. Работа внешней единичной силы на искомом перемещении δ_A равна работе внутренних усилий (моментов) единичного состояния на деформациях грузового состояния: $1 \cdot \delta_A = \int M_1 \cdot (M_p / EJ) dx$.

Правило Верещагина: Если одна из эпюр (обычно единичная) линейна, а жесткость EJ постоянна на участке, интеграл заменяется произведением площади грузовой эпюры (Ω) на ординату единичной эпюры (y_c), взятую строго под центром тяжести площади грузовой эпюры: $\int M_p \cdot M_1 dx = \Omega \cdot y_c$.

Алгоритм:

1. Строим грузовую эпюру M_p .
2. В искомой точке по искомому направлению прикладываем силу $F=1$ (безразмерную).
3. Строим единичную эпюру M_1 (всегда состоит из прямых линий!).
4. Разбиваем грузовую эпюру на простейшие фигуры (прямоугольник, треугольник, параболический сегмент), для которых известны формулы площади и координат центра тяжести.
5. Вычисляем произведение $\Omega \cdot y_c$ для каждого участка, суммируем и делим на EJ .
Условия: участок должен быть прямым, жесткость $EJ = \text{const}$ на участке, одна из эпюр — прямая.

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

При продольном изгибе длинного гибкого стержня ($\lambda > \lambda_{\text{пред}}$) потеря устойчивости происходит по Эйлеру. Однако для коротких стержней ($\lambda < \lambda_0$) применяют формулу Ясинского или эксперимент. Какие физические причины делают формулу Эйлера неприменимой для стержней малой и средней гибкости?

1. Потеря устойчивости происходит за пределом пропорциональности ($\sigma_{\text{кр}} > \sigma_{\text{пл}}$), где модуль упругости E перестает быть константой.
2. В коротких стержнях касательные напряжения от поперечной силы сопоставимы с нормальными напряжениями.

3. Влияние начальных несовершенств (искривление оси, эксцентриситет нагрузки) на коротких стержнях проявляется сильнее.
4. Разрушение происходит от развития пластических деформаций сжатия (смятие), а не от потери устойчивости формы.
5. Формула Эйлера выведена для статической нагрузки, а короткие стержни чувствительны к динамике.

Ответ: 1, 4.

Обоснование:

Формула Эйлера $\sigma_{кр} = \pi^2 \cdot E / \lambda^2$ выведена в предположении линейно-упругого поведения материала (закон Гука).

6. Для коротких стержней критическое напряжение по Эйлеру превышает предел пропорциональности $\sigma_{пц}$ (или даже предел текучести). В этой зоне касательный модуль E_k (или секущий модуль) меньше начального E , и формула Эйлера дает завышенные результаты. Поэтому используется теория Энгессера-Кармана или эмпирическая формула Ясинского.
7. Для очень коротких стержней ($\lambda < 20-30$) лимитирующим фактором является не потеря устойчивости, а простое разрушение (текучесть или смятие) от нормальных напряжений.

24. Задание закрытого типа на установление последовательности

Восстановите логику вывода формулы касательных напряжений при поперечном изгибе (формулы Д.И. Журавского) $\tau = Q \cdot S_z / (b \cdot J_z)$:

- А) Принятие гипотезы о равномерном распределении касательных напряжений по ширине сечения
- Б) Составление уравнения равновесия отсеченной части продольного слоя балки: разность нормальных сил уравновешивается касательной силой
- В) Выражение нормальных напряжений через изгибающий момент ($\sigma = M \cdot y / J_z$) и подстановка в уравнение равновесия
- Г) Учет дифференциальной зависимости $dM/dx = Q$ и получение искомой формулы
- Д) Запись закона парности касательных напряжений ($\tau_{прод} = \tau_{попер}$)

Ответ: А → Б → В → Г → Д.

(Приняли допущение, рассмотрели равновесие кусочка, вставили сигму, сократили на dx , получили формулу для продольного, приравнивали к поперечному).

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

В механике разрушения существует понятие J-интеграла. При испытании на трехточечный изгиб образца с трещиной записывается диаграмма «нагрузка — перемещение». Как с помощью этой диаграммы и методов сопромата определяют энергетический параметр J , не прибегая к сложным расчетам поля напряжений?

- А) Вычисляют предел текучести материала по точке перелома на диаграмме.
- Б) Графически находят площадь под кривой (работу A), и $J_{IC} = (2 \cdot A) / (B \cdot (W - a))$, что связывает интеграл по контуру с изменением потенциальной энергии при подрастании трещины.
- В) Измеряют угол наклона упругого участка диаграммы, это и есть J .
- Г) Интеграл J равен произведению максимальной нагрузки на длину трещины.

Ответ: Б.

Обоснование: Джеймс Райс доказал эквивалентность контурного J-интеграла изменению потенциальной энергии тела при увеличении площади трещины (dU/dA). В эксперименте на изгиб податливость образца меняется с длиной трещины. Площадь под кривой «нагрузка-перемещение» (работа A) до определенной точки используется для расчета J по энергетической формуле,

связывающей сопротивление материалов (потенциальную энергию упругой деформации балки) с механикой разрушения. Множитель 2 и знаменатель — калибровочные функции геометрии.

ПК-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

Инженер-расчетчик оформляет пояснительную записку к проекту балки перекрытия. Ему необходимо указать расчетное сопротивление стали по пределу текучести. В каком нормативном документе он найдет значение R_u для стали марки С345 при толщине проката 20 мм?

- А) ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки»
- Б) СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*»
- В) ГОСТ 27772-2015 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия»
- Г) ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение»

Ответ: Б.

Обоснование: Хотя ГОСТ 27772-2015 устанавливает марки стали и их химический состав, а ГОСТ 1497-84 — методику испытаний, именно в СП 16.13330.2017 (Таблица В.5) приведены нормативные и расчетные сопротивления R_u для различных марок стали в зависимости от толщины проката. Расчетчик обязан брать допускаемые напряжения (расчетные сопротивления) из этого свода правил, так как он является основополагающим для проектирования.

2. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между видом испытания механических свойств материалов и стандартом, регламентирующим методику его проведения и форму образцов:

Вид испытания	Нормативный документ
1. Испытание на растяжение при комнатной температуре	А. ГОСТ 9454-78
2. Испытание на ударный изгиб (ударная вязкость)	Б. ГОСТ 1497-84 (ГОСТ Р ИСО 6892-1)
3. Измерение твердости по Бринеллю	В. ГОСТ 25.502-79
4. Испытание на усталость (построение кривой Вёлера)	Г. ГОСТ 9012-59

Ответ: 1-Б, 2-А, 3-Г, 4-В.

3. Задание открытого типа с развернутым ответом

При нормоконтроле чертежа сварной балки эксперт сделал замечание: «На поле чертежа не указан нормативный документ на сварные швы». Конструктор добавил надпись: «Сварные швы по ГОСТ

5264-80». Достаточно ли этой ссылки? Объясните, какую информацию содержит этот стандарт и какие еще параметры сварного шва должны быть отражены на чертеже согласно ЕСКД.

Ответ:

Ссылки только на ГОСТ 5264-80 недостаточно. Этот стандарт устанавливает типы и конструктивные элементы швов (условные обозначения, формы разделки кромок, катеты угловых швов). Однако, согласно ГОСТ 2.312-72 «Условные изображения и обозначения швов сварных соединений», на чертеже должны быть также указаны: катет шва (число), метод сварки, а также может потребоваться указание стандарта на сварочные материалы или группу конструкций. Кроме того, для ответственных конструкций дополнительно требуются указания по контролю качества швов (например, ГОСТ 23118-2012 или СП 70.13330). Таким образом, полная запись должна выглядеть примерно как: «Сварные швы по ГОСТ 5264-80, катет 6 мм, сварка ручная дуговая. Контроль УЗК по ГОСТ 14782-86».

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

При сдаче отчета по лабораторной работе «Определение модуля упругости стали» преподаватель требует указать допускаемое значение погрешности измерения. В каких документах студент найдет эталонные значения модуля упругости E для стали и нормы точности измерений?

1. Физические константы в учебнике по физике.
2. Справочник под редакцией Анурьева (допущенный как нормативное пособие).
3. ГОСТ 1497-84 (Методы испытаний на растяжение) — содержит требования к испытательным машинам и образцам.
4. СП 16.13330 (значение $E = 2.06 \cdot 10^5$ МПа принято как нормативное).
5. Технический паспорт разрывной машины Р-50.

Ответ: 3, 4, 5.

Обоснование:

6. ГОСТ 1497-84 регламентирует процедуру, класс точности экстензометров и допустимый разброс результатов.
7. СП 16.13330 фиксирует значение $E = 2.06 \cdot 10^5$ МПа как нормативное для стали, которое должно получаться при корректных испытаниях.
8. Паспорт машины удостоверяет ее класс точности и предел допускаемой погрешности силоизмерителя.
Справочник Анурьева (п.2) является вторичным источником. Учебник физики (п.1) не является нормативным документом.

5. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы проектного расчета стальной фермы по СП 16.13330.2017 в правильной технологической последовательности:

- А) Подбор сечения стержней по сортаменту (ГОСТ 8509-93, ГОСТ 8239-89) и проверка по предельной гибкости $[\lambda]$
- Б) Сбор нагрузок (постоянная, снеговая) и определение расчетных сочетаний усилий по СП 20.13330
- В) Проверка сварных швов в узлах на срез по металлу шва и границе сплавления
- Г) Расчет продольных сил в стержнях фермы (статический расчет)
- Д) Конструирование узлов и выпуск рабочих чертежей КМ (конструкции металлические)

Ответ: Б → Г → А → В → Д.

(Сначала считаем внешние силы, затем усилия в элементах, затем сечения, потом узлы, потом чертеж).

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

На чертеже вала указано обозначение поля допуска для посадочного места под подшипник качения: $\text{Ø}60k6$. Какой стандарт устанавливает систему допусков и посадок, на основании которой выбран этот квалитет и основное отклонение?

- А) ГОСТ 2.308-2011 (Указания допусков формы)
- Б) ГОСТ 25346-2013 (Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений)
- В) ГОСТ 24642-81 (Допуски формы и расположения поверхностей. Термины и определения)
- Г) ГОСТ 27772-2015 (Прокат для строительных конструкций)

Ответ: Б.

Обоснование: ГОСТ 25346-2013 (аналог ISO 286) является базовым стандартом Единой системы допусков и посадок (ЕСДП). Именно в нем приведены ряды квалитетов (IT), таблицы числовых значений допусков и основные отклонения для валов (k) и отверстий. Обозначение $\text{Ø}60k6$ означает: номинальный диаметр 60 мм, основное отклонение k (для переходной посадки), квалитет 6.

7. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между термином сопротивления материалов и его буквенным обозначением, принятым в СП 16.13330.2017 (Стальные конструкции):

Термин в сопроамате	Обозначение в СП 16.13330
1. Расчетное сопротивление стали растяжению/сжатию по пределу текучести	А. γ_c
2. Модуль упругости прокатной стали	Б. R_y
3. Коэффициент условий работы	В. $E = 2.06 \cdot 10^5$ МПа
4. Коэффициент надежности по материалу	Г. γ_m

Ответ: 1-Б, 2-В, 3-А, 4-Г.

8. Задание открытого типа с развернутым ответом

В курсовом проекте по деталям машин студент рассчитал болт на срез, используя допускаемое напряжение $[\tau_{cr}] = 80$ МПа. Преподаватель спросил: «Откуда взято это число?» Студент ответил: «Из учебника». Объясните, почему такой ответ недостаточен с точки зрения работы с нормативной документацией, и какой цепочкой стандартов определяется допускаемое напряжение для машиностроительного крепежа.

Ответ:

Ответ недостаточен, так как в современном машиностроении от расчетов по единому «допускаемому напряжению» отказались в пользу дифференцированного подхода. Цепочка стандартов для определения допускаемого напряжения болта:

1. ГОСТ 1759.4-87 устанавливает класс прочности болта (например, 8.8).

2. ГОСТ Р ИСО 898-1-2014 по классу прочности определяет номинальное временное сопротивление σ_w и предел текучести σ_t материала болта.
3. Коэффициент запаса прочности n выбирается не произвольно, а по отраслевым нормам (например, для грузоподъемных машин — ФНП «Правила безопасности...», для строительства — СП 16.13330).
4. Допускаемое напряжение $[\tau] = (0.2...0.4) \cdot \sigma_t$ в зависимости от вида нагружения и точности расчета. Таким образом, число 80 МПа должно быть обосновано классом прочности и коэффициентом запаса.

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

Инженер выполняет поверочный расчет сварного соединения по СП 16.13330. Какие нормативные величины должны быть подставлены в формулу для проверки прочности углового шва на срез по металлу шва: $N / (\beta_f \cdot k_f \cdot l_w) \leq R_{wf} \cdot \gamma_c$?

1. N — расчетное усилие, взятое из статического расчета.
2. k_f — катет шва, назначенный конструктором, но не менее минимального по СП 16.13330.
3. R_{wf} — расчетное сопротивление срезу металла шва, определяемое по таблице СП 16.13330 в зависимости от типа электрода.
4. β_f — коэффициент глубины проплавления, зависящий от вида сварки.
5. σ_w — временное сопротивление основного металла.

Ответ: 1, 2, 3, 4.

Обоснование:

Формула полностью регламентирована СП 16.13330.2017:

6. N — берется из расчетной схемы.
7. k_f — геометрический параметр, ограниченный нормами (не более $1.2 \cdot t_{\min}$ и не менее табличного значения).
8. R_{wf} — берется из таблиц СП в зависимости от марки сварочной проволоки или электрода (ГОСТ 9467).
9. β_f — коэффициент из таблицы СП (например, 0.7 для ручной дуговой сварки). Пункт 5 (σ_w) используется при расчете по границе сплавления.

10. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите последовательность действий при проведении проверки жесткости балки (определении прогиба) в соответствии с требованиями СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»:

- А) Сравнение полученного прогиба с предельно допустимым (f_u) из таблицы Е.1 СП 20.13330
- Б) Расчет прогиба $f_{\max}$ от действия нормативной нагрузки (без коэффициента надежности по нагрузке γ_f)
- В) Формулировка вывода: «Жесткость балки обеспечена (не обеспечена)»
- Г) Определение модуля упругости E и момента инерции J_x сечения из ГОСТа на сортамент
- Д) Составление расчетной схемы и определение изгибающего момента M_n от нормативных нагрузок

Ответ: Д → Г → Б → А → В.

(Схема, геометрия, прогиб, сравнение с таблицей, вывод).

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 проверяет прочность двутавровой балки №30Б1 (С245). Согласно ГОСТ 27772-2015, $R_y = 240$ МПа для толщины полки до 20 мм. Замеренная толщина полки — 12 мм. Однако момент сопротивления W_x реального профиля в спецификации занижен относительно сортамента из-за коррозии. Можно ли использовать табличное R_y из СП 16.13330?

А) Да, так как R_y зависит только от марки стали и толщины листа при изготовлении.

Б) Нет, так как коррозия снизила R_y .

В) Нет, нужно применить понижающий коэффициент к R_y согласно РД 34.

Г) Да, но только если увеличить коэффициент надежности γ_m .

Ответ: А.

Обоснование: Согласно методике СП 16.13330, расчетное сопротивление R_y является характеристикой материала, определяемой его химическим составом и пределом текучести, а не текущим геометрическим состоянием. Уменьшение несущей способности из-за коррозии учитывается введением в формулу фактического момента сопротивления W_x (измеренного остаточного), а не изменением R_y . R_y берется по таблице стандарта для исходного состояния металла (марка, толщина проката).

12. Задание открытого типа с развернутым ответом

При испытании на усталость по ГОСТ 25.502-79 получена кривая Вёлера для стали 45. Требуется определить предел выносливости σ_{-1} для базы $N_0 = 10^7$ циклов. Однако в зоне многоциклового усталости кривая не вышла на горизонталь. Какой математический прием и нормативное правило (согласно стандарту) используются для определения ограниченного предела выносливости?

Ответ:

Если кривая Вёлера в полулогарифмических координатах не имеет горизонтального участка, то согласно ГОСТ 25.502-79 определяется ограниченный предел выносливости на заданной базе ($N_{\text{баз}} = 10^7$ или 10^8 циклов). Математически это делается с помощью регрессионного анализа: наклонный участок кривой аппроксимируется прямой линией методом наименьших квадратов (уравнение вида $\sigma^m \cdot N = \text{const}$). Значение напряжения, соответствующее точке пересечения этой прямой с вертикалью $N = N_{\text{баз}}$, принимается за предел выносливости. Стандарт допускает это при условии, что наклонный участок содержит не менее 10–15 образцов и разброс не превышает допустимого.

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

При расчете пружины сжатия по ГОСТ 13765-86 инженер определяет касательные напряжения с учетом кривизны витка через коэффициент k . Какие нормативные проверки, согласно этому стандарту, являются обязательными для пружин сжатия?

1. Проверка на прочность: $\tau = k \cdot 8 \cdot F \cdot D / (\pi \cdot d^3) \leq [\tau]$.
2. Проверка на жесткость (осадку) $s = F / \lambda$.
3. Проверка на устойчивость: $H_0 / D \leq [\text{предельное значение}]$ в зависимости от закрепления торцов.
4. Проверка на соударение витков при сжатии до соприкосновения.

5. Проверка на износ покрытия.

Ответ: 1, 3, 4.

Обоснование:

ГОСТ 13765-86 строго регламентирует:

6. Прочностной расчет с учетом поправочного коэффициента k (формула Валя).
7. Проверку продольной устойчивости пружины: если отношение свободной длины к диаметру превышает допустимый предел, пружина может «выпучиться».
8. Расчет длины пружины при полном сжатии ($L_{\text{бл}} = n \cdot d$) и проверку зазора между витками, чтобы избежать ударов и потери упругости.

14. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между видом механического напряжения и единицей его измерения в системе СИ, регламентированной ГОСТ 8.417-2002:

Вид напряжения	Единица в СИ
1. Нормальное напряжение (σ)	А. Н/м ² (Паскаль, Па)
2. Касательное напряжение (τ)	Б. Безразмерная (мм/мм)
3. Относительная деформация (ϵ)	В. Н/м ² (Паскаль, Па)
4. Интенсивность напряжений (σ_i)	Г. Н/м ² (Паскаль, Па)

Ответ: 1-А, 2-В, 3-Б, 4-Г.

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

На строительной площадке обнаружено, что партия арматурных стержней периодического профиля класса А500С имеет нечеткую маркировку. Для проверки соответствия ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций» инженер проводит испытания. Какой механической характеристикой подтверждается класс А500С?

А) Временное сопротивление разрыву $\sigma_{\text{в}} = 500$ МПа.

Б) Предел текучести условный $\sigma_{0.2} \geq 500$ Н/мм².

В) Относительное удлинение $\delta_5 \geq 25\%$.

Г) Ударная вязкость КСЧ ≥ 60 Дж/см².

Ответ: Б.

Обоснование: Согласно ГОСТ 34028-2016, обозначение класса арматуры (А500С)

расшифровывается: А — арматура, 500 — гарантированное значение условного предела текучести $\sigma_{0.2}$ (или физического $\sigma_{\text{т}}$) в Н/мм², С — свариваемая. Следовательно, именно $\sigma_{0.2} \geq 500$ МПа является ключевым идентификатором класса.

16. Задание открытого типа с развернутым ответом

В лаборатории на разрывной машине испытывается образец из стали 20 согласно ГОСТ 1497-84.

На диаграмме растяжения получена площадка текучести. Оператор записывает показания силоизмерителя на площадке: $F_{\text{т_верх}} = 42.0$ кН, $F_{\text{т_ниж}} = 39.6$ кН. Диаметр образца $d_0 = 10$ мм. Какое значение следует подставить в протокол как предел текучести физический $\sigma_{\text{т}}$, согласно

требованию стандарта?

Ответ:

Согласно ГОСТ 1497-84, за физический предел текучести $\sigma_{\text{т}}$ принимается напряжение, соответствующее **нижнему** значению нагрузки на площадке текучести ($F_{\text{т_ниж}}$), деленное на начальную площадь поперечного сечения образца A_0 .

Расчет: $A_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4 = 3.14 \cdot 100 / 4 = 78.5 \text{ мм}^2$.

$\sigma_{\text{т}} = F_{\text{т_ниж}} / A_0 = 39600 \text{ Н} / 78.5 \text{ мм}^2 \approx 504.5 \text{ МПа}$.

Использование верхнего предела или среднего значения является методической ошибкой.

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

При расчете рессоры по ГОСТ 1425-93 получено напряжение изгиба 1200 МПа, что выше R_y .

Инженер утверждает, что это допустимо. Какие аргументы, основанные на стандарте и принципе работы рессоры, позволяют использовать такие высокие напряжения?

1. Для рессорно-пружинных сталей (60С2А) допускаемые напряжения по ГОСТ 1425-93 значительно выше (до $[\sigma] = 1300\text{--}1400 \text{ МПа}$) за счет высокой твердости и упрочнения дробью.
2. Расчет ведется не по R_y , а по пределу выносливости τ_{-1} , так как нагрузка циклическая.
3. В рессоре реализуется концентрация напряжений, которую не учитывают.
4. Используется предел прочности $\sigma_{\text{в}}$, деленный на малый запас ($n=1.1\text{--}1.5$).
5. Допускаемое напряжение берется из условия отсутствия остаточных деформаций по Шпренгелю.

Ответ: 1, 4.

Обоснование:

Рессорные стали специально термообработываются на высокую твердость (HRC 40-48), и для них в отраслевых стандартах (ГОСТ 1425-93 и справочниках к нему) установлены повышенные допускаемые напряжения, значительно превосходящие строительные R_y .

6. Запас прочности для рессор принимается небольшим ($n \approx 1.2\text{--}1.5$) относительно предела прочности $\sigma_{\text{в}}$ (а не текучести R_y), потому что допускается работа в упруго-пластической зоне и не требуется запас по жесткости, характерный для балок зданий.

18. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите алгоритм действий при определении критической силы и подборе сечения

центрально-сжатой стойки по СП 16.13330.2017 методом последовательных приближений:

А) Определение фактической гибкости $\lambda = \mu \cdot L / i_x$ и коэффициента продольного изгиба φ по таблице

Б) Задание начальным приближением $\varphi_0 = 0.7$

В) Проверка устойчивости: $\sigma = N / (\varphi \cdot A) \leq R_y \cdot \gamma_c$

Г) Из условия устойчивости вычисление требуемой площади $A_{\text{тр}} = N / (\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c)$

Д) Подбор по сортаменту профиля с $A > A_{\text{тр}}$ и минимальным радиусом инерции i_x

Ответ: Б $\rightarrow$ Г $\rightarrow$ Д $\rightarrow$ А $\rightarrow$ В.

19. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между типом нагрузки на строительную конструкцию и коэффициентом надежности по нагрузке γ_f , регламентированным СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»:

Тип нагрузки	Значение γ_f
1. Собственный вес металлических конструкций	А. 1.3
2. Собственный вес железобетонных конструкций	Б. 1.05
3. Полезная нагрузка на перекрытия (офисы)	В. 1.4
4. Ветровая нагрузка	Г. 1.1

Ответ: 1-Б, 2-Г, 3-А, 4-В.

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

В старом расчете 1985 года указано допускаемое напряжение $[\sigma] = 160$ МПа для Ст3. Сейчас требуется провести поверочный расчет по СП 16.13330.2017. Инженер находит, что для стали С255 (аналог Ст3) $R_y = 230$ МПа при толщине проката до 10 мм. Почему произошло такое повышение нормативного сопротивления?

- А) Качество стали за 30 лет выросло, и предел текучести поднялся с 230 до 300 МПа.
- Б) В старых нормах использовался метод допускаемых напряжений с общим запасом $n > 1.5$ ($240/160 = 1.5$). В новом методе предельных состояний запас разделен на коэффициенты γ_f , γ_m , γ_s , и $R_y \approx \sigma_t$, а не σ_t/n .
- В) Изменились единицы измерения.
- Г) Просто изменили цифру для унификации с Еврокодом.

Ответ: Б.

Обоснование: Раньше (в методе допускаемых напряжений) из предела текучести (≈ 240 МПа) вычитали общий запас ($n \approx 1.5$), получая $[\sigma] = 160$ МПа. Сейчас (метод предельных состояний) $R_y = \sigma_t / \gamma_m$. Коэффициент надежности по материалу γ_m для стали обычно составляет 1.025–1.05, поэтому R_y максимально приближен к физическому пределу текучести ($R_y = 240/1.05 \approx 230$ МПа). Запас по нагрузке вынесен отдельно в γ_f . В итоге расчет стал точнее и экономичнее.

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 старого мостового крана (1965 г.в.) обнаружено, что его металлоконструкции выполнены из кипящей стали. Современные ФНП «Правила безопасности ПС» требуют применения спокойных или полуспокойных сталей для кранов, работающих на открытом воздухе. Почему с точки зрения физики разрушения и норм запрещена кипящая сталь?

- А) Она дороже спокойной.
- Б) Она имеет пониженную хладостойкость из-за крупного зерна и высокого содержания вредных примесей (кислорода, фосфора), что недопустимо для безопасности при отрицательных температурах.
- В) Она не сваривается.

Г) У неё низкая твердость.

Ответ: Б.

Обоснование: Кипящая сталь при застывании слитка насыщена пузырями, имеет сильно развитую химическую неоднородность (сегрегацию) и пониженное содержание кремния. Из-за этого она склонна к хладноломкости: порог хрупкости у нее может лежать в области $-10...0^{\circ}\text{C}$. Для кранов, работающих на Севере или просто на улице, это чревато внезапным хрупким разрушением. Именно поэтому ГОСТ 32579-2013 и ФНП прямо предписывают использование спокойных (или полуспокойных) сталей для обеспечения трещиностойкости.

22. Задание открытого типа с развернутым ответом

При проверке расчета балки покрытия, выполненного по СП 16.13330, эксперт заметил, что в формуле $M / (W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c) \leq 1$ отсутствует коэффициент надежности по ответственности γ_n . В каком нормативном документе прописан этот коэффициент и почему его отсутствие является ошибкой, даже если сечение проходит проверку?

Ответ:

Коэффициент надежности по ответственности γ_n регламентирован ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения». Его отсутствие является грубой методической ошибкой, так как этот коэффициент учитывает социально-экономический ущерб от отказа конструкции. Для зданий и сооружений нормального уровня ответственности $\gamma_n = 1.0$, для повышенного (большепролетные цеха, стадионы) $\gamma_n = 1.1$, для особо высокого (объекты атомной энергетики) $\gamma_n = 1.2$. Формула должна выглядеть: $\sigma / (R_y \cdot \gamma_c) \leq 1/\gamma_n$. Если сечение «проходит на пределе» (0.98), а $\gamma_n = 1.1$, то с учетом ответственности оно не проходит ($0.98 \cdot 1.1 = 1.078 > 1$), что означает риск аварии.

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

В отдел технического контроля поступила партия двутавровых балок №20Б1 с сертификатом. Нормоконтролер должен провести входной контроль геометрических параметров по ГОСТ 26020-83. Какие параметры из перечня являются обязательными для проверки, чтобы профиль считался годным к ответственному применению в перекрытии?

1. Высота балки (h), ширина полки (b), толщина полки (t_f), толщина стенки (t_w).
2. Масса погонного метра (или взвешивание образца).
3. Серповидность (отклонение от прямолинейности в плоскости стенки).
4. Химический состав по ковшевой пробе.
5. Шероховатость поверхности катания.

Ответ: 1, 2, 3.

Обоснование:

ГОСТ 26020-83 (Двутавры стальные горячекатаные) и общие технические условия к прокату регламентируют:

6. Геометрические размеры и предельные отклонения от них (форма).
7. Массу 1 метра (является интегральным показателем правильности формы и толщин, легко проверяется взвешиванием).
8. Кривизну и серповидность — важны для сборки конструкций без предварительного напряжения.
Химический анализ (п.4) уже проведен заводом-изготовителем и проверяется по сертификату, а не геометрическим обмером. Шероховатость (п.5) для горячекатаного профиля не нормируется столь жестко, как для холоднокатаного.

24. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите последовательность разработки и утверждения специальных технических условий (СТУ) на проектирование уникального большепролетного купола из стали, для которого недостаточно требований СП 16.13330:

- А) Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по натурным испытаниям узлов
- Б) Согласование СТУ в профильном институте (ЦНИИСК им. Кучеренко) и утверждение в Минстрое РФ
- В) Разработка первой редакции СТУ с детальным расчетом по численным моделям (МКЭ) и данными испытаний
- Г) Выявление отступлений от действующих норм (СП) и формулирование «вынужденных» нестандартных решений
- Д) Авторский надзор и мониторинг несущих конструкций на стадии монтажа и эксплуатации

Ответ: Г → А → В → Б → Д.

(Сначала видим нестыковки с ГОСТ, потом исследуем, пишем нормы, согласуем, применяем).

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

Студент-дипломник рассчитал коэффициент запаса усталостной прочности вала $n = 2.1$ и посчитал его достаточным. Рецензент, ссылаясь на РД 50-83 (или ОСТ 92-1510), спросил: «А учтена ли вероятность неразрушения 99%?» Какая математическая процедура, регламентированная стандартами по надежности, связывает детерминированный коэффициент запаса n с вероятностью отказа?

- А) Интеграл Мора
- Б) Правило Верещагина
- В) Квантиль нормального распределения (гауссовский подход), где требуемый коэффициент запаса $n = [n] \cdot K_{\text{вариации}}$
- Г) Уравнение Эйлера

Ответ: В.

Обоснование: В классическом детерминированном расчете $n=2.1$ ничего не говорит о проценте бракованных изделий. Современные стандарты (ГОСТ 27.002, РД 50-83, ISO 12100) требуют вероятностной оценки. Если напряжения и предел выносливости распределены по нормальному закону с коэффициентами вариации V_{σ} и $V_{\text{пч}}$, то для обеспечения вероятности неразрушения 99% необходимо, чтобы детерминированный коэффициент запаса был не просто «больше 1», а больше значения, полученного через квантиль функции Лапласа (уравнение связи): $n_{\text{треб}} = (1 + z \cdot V_{\text{пч}}) / (1 - z \cdot V_{\sigma})$. При больших разбросах свойств требуемый «безопасный» запас может составлять 3–4.