

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 17:48:36
Уникальный программный ключ:
1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

«МЕХАНИКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ»

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)

А.А. Федоров

(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-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
Основные особенности металлических конструкций и предъявляемые к ним требования	ОПК-1 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Условия эксплуатации металлических конструкций	ОПК-1 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Основные химические элементы применяемые при легировании стали	ОПК-1 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Критерии выбора материала металлических конструкций	ОПК-1 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста

Алюминиевые сплавы	ОПК-1 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Сортамент	ОПК-1 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Перечень прокатных профилей, поставляемых промышленностью	ОПК-1 ОПК-13	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Зачет с оценкой	ОПК-1 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 6 семестре в форме «Зачет с оценкой»</i>				
	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 общинженерных 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

При проектировании балки перекрытия промышленного здания инженер выбирает между сталями С245 и С345. Основным критерием, определяющим выбор более прочной стали С345, является снижение массы конструкции. Какой физической характеристикой материала обусловлено это

решение?

- А) Модуль упругости E
- Б) Предел текучести σ_t (R_y)
- В) Плотность стали ρ
- Г) Коэффициент Пуассона ν

Ответ: Б.

Обоснование: Прочностные свойства стали определяются пределом текучести R_y . У стали С345 R_y выше (около 320-345 МПа в зависимости от толщины), чем у С245 (240 МПа). Это позволяет при той же нагрузке использовать меньшее сечение, снижая массу. Модуль упругости E для всех сталей практически одинаков ($\approx 206\,000$ МПа), поэтому жесткость при замене марки может упасть, но прочность возрастет.

2. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между легирующим элементом в стали и его основным влиянием на механические свойства:

Легирующий элемент	Влияние на свойства стали
1. Марганец (Mn)	А. Повышает коррозионную стойкость и жаропрочность
2. Кремний (Si)	Б. Измельчает зерно, повышает прочность и хладостойкость
3. Хром (Cr)	В. Раскислитель, повышает прочность и упругость
4. Никель (Ni)	Г. Повышает ударную вязкость при отрицательных температурах

Ответ: 1-Б, 2-В, 3-А, 4-Г.

3. Задание открытого типа с развернутым ответом

На склад металлоконструкций поступила партия двутавровых балок. При входном контроле обнаружено, что на некоторых балках отсутствует маркировка. Инженер измерил геометрические размеры: высота 300 мм, ширина полки 135 мм, толщина стенки 6.5 мм. Используя знания о сортаменте, определите вероятный тип профиля и соответствующий ГОСТ. Объясните, почему нельзя использовать профиль, предназначенный для другой серии.

Ответ:

По измеренным параметрам ($h=300$ мм, $b=135$ мм, $s=6.5$ мм) данный профиль соответствует двутавру 30Б1 по ГОСТ 26020-83 (балочная серия). У двутавра 30Ш1 (широкополочного) ширина полки была бы около 200 мм. У колонного 30К1 — еще больше.

Использовать профиль другой серии нельзя, так как, несмотря на одинаковую высоту, у них кардинально различаются моменты инерции, моменты сопротивления и радиусы инерции, что напрямую влияет на несущую способность и устойчивость конструкции. Замена без перерасчета грозит обрушением.

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

Инженер проектирует несущие конструкции открытой этажерки на Норильском ГМК. Температура эксплуатации может опускаться до -55°C . Какие требования к материалу металлоконструкций он должен предъявить в первую очередь?

1. Высокий предел текучести.
2. Гарантированная ударная вязкость при отрицательной температуре (KCV^{-60}).
3. Стойкость к водородному растрескиванию.
4. Низкое содержание фосфора и серы.
5. Химическая стойкость к серной кислоте.

Ответ: 2, 4.

Обоснование:

При низких температурах главной опасностью является хладноломкость — переход стали в хрупкое состояние. Поэтому:

6. Ударная вязкость KCV при минимальной температуре эксплуатации является основным критерием выбора марки стали для «северного исполнения».
7. Фосфор и сера являются вредными примесями, которые резко повышают порог хладноломкости. Для северных сталей их содержание строго ограничивают ($P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.010\%$).

5. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите профили проката в порядке возрастания их удельной жесткости (момента инерции) при одинаковой площади поперечного сечения (примерно):

- А) Полоса (прямоугольник)
- Б) Уголок равнополочный
- В) Двутавр
- Г) Труба круглая

Ответ: А → Б → В → Г (Труба может конкурировать с двутавром, но при равной площади и разнесении материала от центра момент инерции у замкнутого профиля максимален, у полосы — минимален).

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

При расчете стальной фермы покрытия студент получил напряжения в сжатом раскосе 180 МПа. Сталь С245 имеет $R_y = 240$ МПа. Однако после проверки устойчивости выяснилось, что коэффициент $\varphi = 0.6$, и проверка не проходит. Что изменилось в расчете?

- А) Увеличилась нагрузка.
- Б) Из-за опасности потери устойчивости (продольного изгиба) расчетное сопротивление стали условно снижается умножением на коэффициент $\varphi < 1$.
- В) Увеличился модуль упругости.
- Г) Уменьшилась площадь сечения.

Ответ: Б.

Обоснование: Сжатые стержни разрушаются не от достижения предела текучести, а от потери устойчивости (выпучивания). В механике металлических конструкций это учитывается коэффициентом продольного изгиба φ , который зависит от гибкости стержня. Проверка устойчивости ведется по формуле $\sigma = N / (\varphi \cdot A) \leq R_y$. Поскольку $\varphi < 1$, допускаемое напряжение снижается.

7. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между видом алюминиевого сплава и его основным назначением в строительных и машиностроительных конструкциях:

Алюминиевый сплав	Область применения
1. АМг5	А. Оконные переплеты, фасадные панели (прессованные профили)
2. Д16Т	Б. Сварные емкости для агрессивных жидкостей
3. АД31 (6060)	В. Ограждающие конструкции, резервуары
4. 1915Т	Г. Высоконагруженные клепаные конструкции (фермы, обшивка)

Ответ: 1-Б, 2-Г, 3-А, 4-В.

8. Задание открытого типа с развернутым ответом

Инженер-конструктор выбирает профиль для стойки, работающей на центральное сжатие. У него есть два варианта: труба квадратная 100x100x4 мм и двутавр №20. Площадь сечения у них примерно одинакова. Какой профиль будет более устойчивым и почему? Приведите математическое обоснование, используя понятие радиуса инерции.

Ответ:

Более устойчивым будет профиль трубы. Устойчивость центрально-сжатого стержня определяется его гибкостью $\lambda = \mu \cdot L / i_{\min}$. Чем меньше гибкость, тем выше критическая сила. Гибкость

обратно пропорциональна минимальному радиусу инерции $i_{\min} = \sqrt{(J_{\min} / A)}$.

У квадратной трубы моменты инерции относительно всех центральных осей одинаковы и близки к максимальному значению для данного сечения, так как материал распределен по периметру (разнесен от центра). У двутавра момент инерции относительно оси Y (слабой оси) значительно меньше, чем относительно оси X. Следовательно, $i_{\min}$ у трубы будет больше, чем у двутавра, а гибкость λ и опасность потери устойчивости в слабом направлении — меньше.

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

При обследовании старых металлических конструкций мартеновского цеха (1930-х годов постройки) обнаружено, что сталь имеет крупнозернистую структуру и пониженную пластичность. Какие особенности химического состава «старой» стали, не соответствующей современным ГОСТ, могли к этому привести?

1. Повышенное содержание углерода ($C > 0.3\%$).
2. Высокое содержание азота и кислорода (сталь была «кипящей»).
3. Наличие легирующих добавок никеля и молибдена.
4. Повышенное содержание фосфора ($P > 0.05\%$).
5. Использование термической обработки (закалки).

Ответ: 1, 2, 4.

Обоснование:

6. Высокий углерод повышает прочность, но резко снижает пластичность и свариваемость.
7. «Кипящая» сталь (раскисленная только марганцем) содержит много растворенных газов (кислород, азот), что ведет к старению и охрупчиванию со временем.
8. Фосфор в старых сталях не удалялся так тщательно, как сейчас. Он вызывает хладноломкость (сегрегирует по границам зерен).

10. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы выбора марки стали для сварной балки рабочей площадки в правильной логической последовательности:

- А) Проверка свариваемости стали (расчет углеродного эквивалента $C_{\text{экв}}$)
- Б) Определение требуемого класса прочности (R_y) по результатам статического расчета
- В) Учет климатического района строительства (выбор категории по ударной вязкости)
- Г) Выбор конкретной марки по ГОСТ 27772-2015 с учетом толщины проката
- Д) Назначение дополнительных требований по Z-свойствам, если есть растяжение в направлении толщины

Ответ: Б → В → А → Г → Д.

(Сначала усилия, потом климат, потом технолог. св-ва, потом марка, потом спецтребования).

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 рассчитывает сварное соединение листов толщиной 10 мм внахлестку, выполненное угловыми фланговыми швами. Катет шва $k_f = 8$ мм. Чему равна расчетная высота сечения шва (толщина шва по металлу шва $\beta_f \cdot k_f$), если сварка ручная дуговая ($\beta_f = 0.7$)?

- А) 8.0 мм
- Б) 5.6 мм
- В) 11.4 мм
- Г) 4.0 мм

Ответ: Б.

Обоснование: Согласно СП 16.13330, в расчете угловых швов на срез используется расчетное сечение, проходящее по биссектрисе прямого угла. Высота этого сечения для ручной сварки равна 0.7 от катета шва ($\beta_f = 0.7$). Следовательно, $h_f = 0.7 \cdot 8 \text{ мм} = 5.6 \text{ мм}$. Именно эта величина подставляется в формулу площади среза.

12. Задание открытого типа с развернутым ответом

Для балки пролетом 6 м, шарнирно опертой, из двутавра №30Б1 ($J_x = 6320 \text{ см}^4$), требуется определить прогиб от равномерно распределенной нагрузки 20 кН/м. Модуль упругости $E = 2.06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Выведите формулу для максимального прогиба и рассчитайте его. Сравните с предельным допустимым прогибом $f_u = L/200$.

Ответ:

Формула максимального прогиба для шарнирно опертой балки: $f_{\max} = (5/384) \cdot (q_n \cdot L^4) / (E \cdot J_x)$.

Подстановка данных:

$$q_n = 20 \text{ кН/м} = 20 \text{ Н/мм}.$$

$$L = 6 \text{ м} = 6000 \text{ мм}.$$

$$E = 2.06 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2.$$

$$J_x = 6320 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

$$\text{Расчет числителя: } 5 \cdot 20 \cdot 6000^4 = 100 \cdot 1.296 \cdot 10^{15} = 1.296 \cdot 10^{17}.$$

$$\text{Знаменатель: } 384 \cdot 2.06 \cdot 10^5 \cdot 6320 \cdot 10^4 = 384 \cdot 2.06 \cdot 10^5 \cdot 6.32 \cdot 10^7 = 384 \cdot 1.302 \cdot 10^{13} \approx 5.0 \cdot 10^{15}.$$

$$f_{\max} = 1.296 \cdot 10^{17} / 5.0 \cdot 10^{15} \approx 25.9 \text{ мм}.$$

$$\text{Проверка: } f_u = L/200 = 6000/200 = 30 \text{ мм}.$$

$25.9 \text{ мм} < 30 \text{ мм}$. Жесткость обеспечена.

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

При проверке устойчивости внецентренно-сжатой колонны используется формула $\sigma = N / (\varphi_e \cdot A) \leq R_u$. От каких параметров зависит коэффициент φ_e (коэффициент устойчивости при внецентренном сжатии)?

1. Гибкость стержня λ .
2. Относительный эксцентриситет $m = e \cdot A / W_{sc}$.
3. Марка стали (тип кривой устойчивости).
4. Форма поперечного сечения (тип сечения: открытое, замкнутое).
5. Величина пролета балок, опирающихся на колонну.

Ответ: 1, 2, 3, 4.

Обоснование:

Коэффициент φ_e определяется по таблицам СП 16.13330 в зависимости от:

6. Условной гибкости $\bar{\lambda}$ — основного параметра устойчивости.
7. Приведенного относительного эксцентриситета $m_{ef} = \eta \cdot m$, где m — отношение момента к осевой силе, геометрически характеризует неравномерность сжатия.
8. Типа кривой устойчивости (a, b, c), зависящего от формы сечения и марки стали (наличия остаточных напряжений).
9. Форма сечения влияет на развитие пластических деформаций и на коэффициент η .

14. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между расчетной характеристикой поперечного сечения и ее формулой для прямоугольника шириной b и высотой h :

Характеристика	Формула
1. Площадь A	А. $b \cdot h^3 / 12$
2. Статический момент полусечения S_x	Б. $b \cdot h^2 / 6$
3. Момент инерции J_x	В. $b \cdot h$
4. Момент сопротивления W_x	Г. $b \cdot h^2 / 8$

Ответ: 1-В, 2-Г, 3-А, 4-Б.

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

Для проверки прочности стальной балки на срез используется формула Д.И. Журавского: $\tau =$

$Q \cdot S_x / (J_x \cdot t_w)$. Инженер получил $\tau = 45$ МПа. Допускаемое напряжение на срез $R_s = 0.58 \cdot R_y = 139$ МПа. Можно ли на этом основании игнорировать проверку стенки на местную устойчивость?

А) Да, так как прочность на срез обеспечена с большим запасом.

Б) Нет, так как местная устойчивость стенки зависит от касательных и нормальных напряжений совместно, а также от условной гибкости стенки λ_w , и может быть потеряна при напряжениях ниже R_s .

В) Да, если нет сосредоточенных сил.

Г) Нет, если балка сварная.

Ответ: Б.

Обоснование: Местная устойчивость (выпучивание) тонкой стенки балки является самостоятельным расчетным предельным состоянием. Она зависит не только от величины τ (касательных напряжений), но и от соотношения высоты стенки к ее толщине (h_{ef} / t_w), от наличия продольных ребер жесткости. Потеря местной устойчивости может произойти при напряжениях, значительно меньших предела текучести на срез.

16. Задание открытого типа с развернутым ответом

Сравните два подхода к расчету конструкций: метод допускаемых напряжений (исторический) и метод предельных состояний (современный, заложенный в СП 16.13330). Покажите на примере центрально-растянутого элемента, как рассчитывается требуемая площадь сечения в обоих методах, если $N = 400$ кН, $R_y = 240$ МПа.

Ответ:

1. Метод допускаемых напряжений (устаревший):

Использовалось единое допускаемое напряжение $[\sigma] = R_y / n$, где n — коэффициент запаса (для стали $n \approx 1.5-1.7$). При $R_y = 240$ МПа, $[\sigma] \approx 160$ МПа.

$A_{tr} = N / [\sigma] = 400\,000 \text{ Н} / 160 \text{ Н/мм}^2 = 2500 \text{ мм}^2 (25 \text{ см}^2)$.

2. Метод предельных состояний (СП 16.13330):

Расчетное сопротивление $R_y = 240$ МПа.

Коэффициент условий работы $\gamma_c = 1.0$ (например).

$A_{tr} = N / (R_y \cdot \gamma_c) = 400\,000 / (240 \cdot 1.0) = 1667 \text{ мм}^2 (16.67 \text{ см}^2)$.

Вывод: Метод предельных состояний дает экономию металла (16.7 см^2 против 25 см^2), так как коэффициенты запаса дифференцированы (по нагрузке γ_f , по материалу γ_m) и введены в исходные данные (N — уже расчетное усилие с запасом, R_y — уже с запасом по материалу).

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

При конструировании ферм из замкнутых гнутосварных профилей (ГСП) применяются бесфасоночные узлы. Какие расчетные проверки, согласно рекомендациям ЦНИИСК, являются обязательными для таких узлов?

1. Проверка несущей способности стенки пояса (продавливание / вырывание).
2. Проверка сварных швов на срез.
3. Проверка устойчивости стенки пояса.
4. Проверка на усталость при вибрационной нагрузке.
5. Проверка болтового соединения во фланце.

Ответ: 1, 2, 3.

Обоснование:

В бесфасоночных узлах решетка приваривается непосредственно к поясу. Основные виды отказов:

6. Продавливание (пластическое деформирование) стенки пояса под торцом примыкающего элемента — главный критерий.
7. Расчет угловых швов по границе сплавления с металлом трубы.
8. Боковая стенка пояса может потерять устойчивость под действием сжимающего усилия в раскосе (местное смятие оболочки).

18. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите типы сечений центрально-сжатых колонн в порядке увеличения их устойчивости относительно оси Y (слабой оси) при одинаковой площади:

- А) Два швеллера, соединенные планками (сквозное сечение)
 Б) Одиночный двутавр
 В) Труба квадратная
 Г) Крестовое сечение из двух уголков

Ответ: Б → Г → А → В.

(У двутавра J_y минимален, у сквозного больше из-за разноса ветвей, у замкнутого профиля J_y максимален).

19. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между типом воздействия на конструкцию и характером напряжений, который необходимо учитывать при выборе марки стали:

Воздействие	Тип напряжений / критерий
1. Ветровая нагрузка на высотное здание	А. Многоцикловая усталость ($\sigma_{\max}$, $\sigma_{\min}$)
2. Крановая нагрузка на подкрановую балку	Б. Динамический коэффициент и малоцикловая усталость
3. Снеговая нагрузка	В. Статическое кратковременное нагружение
4. Технологическая вибрация грохота	Г. Резонансные частоты и выносливость

Ответ: 1-Б, 2-Б/А, 3-В, 4-Г.

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

При расчете балки составного сечения (сварной двутавр) инженер использует формулу $J_x = t_w \cdot h_w^3 / 12 + 2 \cdot b_f \cdot t_f \cdot (h/2)^2$. Каким физическим законом (теоремой) он обосновывает такой расчет момента инерции?

- А) Закон Гука
 Б) Теорема Гюйгенса-Штейнера (о параллельном переносе осей)
 В) Принцип Сен-Венана
 Г) Закон парности касательных напряжений

Ответ: Б.

Обоснование: Теорема Гюйгенса-Штейнера позволяет вычислить момент инерции сложной фигуры: $J_x = \sum J_{xi} + \sum a_i^2 \cdot A_i$. Для поясов балки собственный момент инерции (J_{fi}) мал, и основной вклад дает произведение площади пояса на квадрат расстояния от центра тяжести пояса до общей нейтральной оси ($a^2 \cdot A$). Именно это слагаемое $2 \cdot b_f \cdot t_f \cdot (h/2)^2$ и отражено в формуле.

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 аварии покрытия промышленного здания выяснилось, что снеговая нагрузка превысила расчетную. Фермы из парных уголков потеряли устойчивость, но не в плоскости фермы, а из плоскости (изгиб в другую сторону). Почему произошла потеря устойчивости именно из плоскости, хотя гибкость в плоскости была меньше?

- А) Потому что снег давил сбоку.
 Б) Потому что в статически определимой ферме нет redistribution усилий.
 В) Потому что в фермах из уголков таврового сечения радиус инерции из плоскости (i_y) значительно меньше радиуса в плоскости (i_x), следовательно, гибкость λ_y больше, и критическая сила Эйлера потери устойчивости из плоскости наступает раньше.
 Г) Потому что сталь была хрупкой.

Ответ: В.

Обоснование: У двух уголков, составленных тавром, момент инерции относительно оси X (в

плоскости фермы) относительно велик, а относительно оси Y (из плоскости) — минимален. Поскольку $\lambda_y = \mu \cdot L / i_y$, гибкость получается высокой. Критическая сила по Эйлеру $F_{кр} = \pi^2 \cdot E \cdot J / (\mu \cdot L)^2$. Так как $J_y \ll J_x$, потеря устойчивости из плоскости происходит при меньшей нагрузке, и это необходимо проверять уменьшением расчетной длины или постановкой связей.

22. Задание открытого типа с развернутым ответом

Объясните явление «стесненного кручения» тонкостенных стержней открытого профиля (например, двутавра). Почему в балках двутаврового сечения, в отличие от трубчатых, эпюра нормальных напряжений от крутящего момента становится нелинейной (депланация сечения)?

Ответ:

В тонкостенных стержнях открытого профиля (двутавр, швеллер) крутящий момент воспринимается двумя механизмами: свободным (чистым) кручением и стесненным кручением. Свободное кручение создает только касательные напряжения, равномерно распределенные по толщине профиля.

Стесненное кручение возникает, когда опорные закрепления или изменение сечения препятствуют свободной депланации (выходу точек сечения из плоскости). В этом случае появляются дополнительные нормальные напряжения (изгибно-крутильные бимоменты). Полки двутавра работают как консольные балки, изгибаясь в противоположных направлениях. Эти напряжения суммируются с напряжениями от основного изгиба и могут привести к разрушению. У замкнутых профилей (труба) жесткость на кручение на 2-3 порядка выше, и депланация практически не проявляется.

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

При расчете на усталость подкрановой балки тяжелого режима работы (8K) инженер должен учесть особенности накопления повреждений. Какие параметры напрямую входят в расчетную формулу предела выносливости?

1. Максимальное напряжение цикла σ_{max} .
2. Коэффициент асимметрии цикла $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$.
3. Число циклов нагружения за срок службы N.
4. Эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ .
5. Ударная вязкость стали KCV.

Ответ: 2, 3, 4.

Обоснование:

Расчет на усталость по СП 16.13330 ведется с учетом:

6. Асимметрии цикла (пульсационный, знакопеременный).
7. Количества циклов (кран тяжелого режима совершает миллионы циклов).
8. Концентрации напряжений (сварные швы, резкие переходы), которая снижает предел выносливости.

Максимальное напряжение сравнивается уже с пределом выносливости, а не входит в его формулу как аргумент.

24. Задание закрытого типа на установление последовательности

Восстановите логику расчета сварной подкрановой балки на выносливость в зоне поясных швов:

- А) Определение расчетного сопротивления усталости R_v в зависимости от группы элемента и марки стали
- Б) Определение максимального и минимального нормальных напряжений в поясе от катков крана
- В) Вычисление коэффициента асимметрии цикла напряжений ρ
- Г) Проверка условия $\sigma_{max} \leq \alpha \cdot R_v \cdot \gamma_v$
- Д) Определение группы элемента по таблице СП (поясной шов — обычно 2-я или 3-я группа)

Ответ: Б → В → Д → А → Г.

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

Для уникального большепролетного перекрытия требуется сталь с гарантированными свойствами в направлении толщины проката (Z-свойства) для предотвращения слоистого растрескивания (ламеллярного разрыва). Какое обозначение в маркировке стали по ГОСТ 27772-2015 указывает на эти свойства?

- А) Буква «С» (С345).
Б) Буква «У» (ударная вязкость).
В) Буква «К» (коррозионная стойкость).
Г) Буква «Z» (Z15, Z25, Z35 — группа качества по сужению в направлении толщины).

Ответ: Г.

Обоснование: Ламеллярные разрывы возникают в элементах, где есть значительные растягивающие напряжения поперек плоскости листа (фланцы, узлы примыкания балок к колоннам). Обычная сталь имеет пониженные пластические свойства в Z-направлении из-за вытянутости неметаллических включений. ГОСТ 28870-90 и маркировка по ГОСТ 27772 предусматривают для таких случаев стали с гарантированным относительным сужением ψ_z (Z15 — не менее 15%, Z25, Z35). Это достигается специальной технологией выплавки и раскисления.

ОПК-13 (применение стандартных методов расчета при проектировании деталей и узлов технологических машин и оборудования). Вопросы делают акцент на расчетные обоснования, выбор материалов по критериям прочности и жесткости, анализ напряженно-деформированного состояния и работу с сортаментом.

Уровень 1. Базовый (10 вопросов)

1. Задание комбинированного типа (выбор одного верного ответа и обоснование)

Какой основной критерий работоспособности является лимитирующим при расчете металлоконструкций крановых эстакад, воспринимающих многократно повторяющиеся подвижные нагрузки?

- А) Статическая прочность (предел текучести)
Б) Сопротивление усталости (выносливость)
В) Жесткость при кручении
Г) Твердость поверхностного слоя

Ответ: Б

Обоснование: Подвижные нагрузки от крана вызывают циклическое изменение напряжений в балках (пульсирующий цикл). Согласно нормам проектирования (СП 16.13330), при числе циклов нагружения более 10^5 ведущим критерием является расчет на усталость, так как разрушение происходит при напряжениях значительно ниже предела текучести из-за накопления микрповреждений.

2. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между легирующим элементом в стали и его доминирующим влиянием на механические характеристики, критически важным для проектирования:

1. Марганец (Mn)
 2. Хром (Cr)
 3. Никель (Ni)
- А) Повышает прокаливаемость и износостойкость, образует карбиды
Б) Повышает хладостойкость и ударную вязкость, снижает порог хладноломкости
В) Увеличивает прочность и сопротивление истиранию, связывает серу

Ответ: 1-В, 2-А, 3-Б

3. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите правильную последовательность этапов проектного расчета центрально-сжатой стальной колонны сплошного сечения:

- А) Компоновка сечения (назначение габаритов поясов и стенки)
Б) Определение расчетной длины колонны ($l_{ef} = \mu \times l$) и требуемой площади сечения из условия устойчивости
В) Проверка местной устойчивости элементов (поясов и стенки)
Г) Выбор стали и определение расчетного сопротивления R_y
Д) Проверка общей устойчивости колонны относительно осей X и Y

Ответ: $\Gamma \rightarrow \text{Б} \rightarrow \text{А} \rightarrow \text{Д} \rightarrow \text{В}$

4. Задание открытого типа с развернутым ответом

Почему при проектировании сварных балок двутаврового сечения пояса стремятся делать из более прочной стали, чем стенку? Обоснуйте ответ с точки зрения распределения нормальных напряжений при изгибе и экономии материала.

Ответ:

При изгибе нормальные напряжения распределяются по высоте балки неравномерно: максимальные значения достигаются в крайних волокнах (поясах), а вблизи нейтральной оси (стенка) напряжения близки к нулю. Стенка в основном воспринимает касательные напряжения. Поэтому для поясов экономически выгодно применять высокопрочную сталь (например, 10ХСНД), а для стенки — более дешевую малоуглеродистую (С255), так как ее прочностной ресурс используется не полностью. Это классическое дифференцированное проектирование сечений.

5. Задание комбинированного типа (выбор одного верного ответа и обоснование)

При расчете на прочность изгибаемой балки технологической площадки используется формула $\sigma = M / W$. Что входит в понятие «W» для прокатного двутавра по ГОСТ 8239?

- А) Площадь поперечного сечения
- Б) Статический момент полусечения
- В) Осевой момент сопротивления (геометрическая характеристика профиля из сортамента)
- Г) Момент инерции при кручении

Ответ: В

Обоснование: Момент сопротивления W (см³) — это табличная величина из сортамента, показывающая эффективность работы сечения на изгиб ($W = I / y_{\text{max}}$). Именно она лимитирует несущую способность балки по первому предельному состоянию (прочность).

6. Задание комбинированного типа (выбор нескольких вариантов и развернутое обоснование)

Вы проектируете узел тяжелого технологического оборудования, работающий на открытом воздухе в условиях Крайнего Севера (температура до -55°C). Какие свойства материала являются критически важными для обеспечения хладостойкости?

- А) Высокое относительное удлинение (δ)
- Б) Наличие в составе повышенного содержания фосфора (Р)
- В) Низкое значение критической температуры хрупкости ($T_{\text{кр}}$)
- Г) Высокое содержание углерода (С) для прочности
- Д) Высокая ударная вязкость KCU/KCV при отрицательных температурах

Ответ: А, В, Д

Обоснование: Фосфор (Б) является вредной примесью, вызывающей хладноломкость. Высокий углерод (Г) также повышает склонность к хрупкому разрушению при морозе. Для Севера нужны стали с мелкозернистой структурой, легированные никелем, обеспечивающие высокую работу распространения трещины (KCV) и низкий порог хрупкости.

7. Задание открытого типа с развернутым ответом

В чем принципиальное отличие алюминиевых сплавов от стали с точки зрения модуля упругости (Е) и как это ограничивает их применение в металлоконструкциях технологических машин?

Приведите расчетный аргумент.

Ответ:

Модуль упругости алюминиевых сплавов ($E \approx 7 \times 10^4$ МПа) примерно в 3 раза ниже, чем у стали ($E \approx 2.1 \times 10^5$ МПа). При одинаковой нагрузке и геометрии прогиб балки f обратно пропорционален E ($f \sim 1/E$). Это означает, что алюминиевая конструкция будет втрое более деформативной. Поэтому в машинах, где критична жесткость (станины, порталы), замена стали на алюминий требует кардинального увеличения момента инерции сечения, что сводит на нет преимущество в массе.

8. Задание закрытого типа на установление соответствия

Соотнесите тип прокатного профиля по сортаменту с его рациональной областью применения в узлах технологических машин:

1. Швеллер (ГОСТ 8240)
2. Двутавр (ГОСТ 8239)

3. Уголок равнополочный (ГОСТ 8509)

А) Стержни ферм и связей, работающие на осевое растяжение/сжатие в легких конструкциях

Б) Балки перекрытий и подкрановые пути, работающие преимущественно на изгиб в вертикальной плоскости

В) Колонны и элементы рам, подверженные внецентренному сжатию, где удобно крепление к стенке

Ответ: 1-В, 2-Б, 3-А

9. Задание закрытого типа на установление последовательности

Укажите логическую цепочку отказа металлоконструкции при циклическом нагружении, принятую в механике разрушения:

А) Лавинообразное (хрупкое) разрушение нетто-сечения

Б) Зарождение субмикроскопической усталостной трещины

В) Достижение трещиной критической длины (по Ирвину)

Г) Рост трещины (стабильное развитие) под действием эксплуатационных нагрузок

Ответ: Б → Г → В → А

10. Задание открытого типа с развернутым ответом

Что обозначает в маркировке стали 09Г2С буква «С» и почему эта информация критична для проектировщика при выборе материала для сварной рамы вибропресса?

Ответ:

Буква «С» в маркировке низколегированной стали (например, 09Г2С, 10ХСНД) обозначает, что сталь является строительной. Однако исторически и технически буква «С» в конце маркировки может указывать на то, что сталь имеет гарантированную свариваемость. Для конструктора это ключевой параметр: свариваемость без ограничений и подогрева (группа 1) означает, что углеродный эквивалент $S_{эв} < 0.35\%$, что обеспечивает отсутствие холодных трещин в зоне термического влияния при изготовлении вибронагруженной рамы.

Уровень 2. Средний (10 вопросов)

11. Задание комбинированного типа (выбор одного ответа + обоснование расчета)

Для вала редуктора технологической машины требуется подобрать сечение. Вал испытывает только крутящий момент $M_{кр} = 1000 \text{ Н*м}$. Допускаемое касательное напряжение $[\tau] = 80 \text{ МПа}$. Чему равен требуемый полярный момент сопротивления W_p (мм^3)?

А) 8000 мм^3

Б) 12500 мм^3

В) 10000 мм^3

Г) 15000 мм^3

Ответ: Б

Обоснование: Расчет ведется по формуле чистого сдвига: $\tau_{\text{max}} = M_{кр} / W_p \leq [\tau]$.

Следовательно, $W_p \geq M_{кр} / [\tau] = (1000 \times 10^3 \text{ Н*мм}) / 80 = 12500 \text{ мм}^3$.

По этому значению из сортамента подбирается сплошной круглый вал ($W_p = 0.2 \cdot d^3$).

12. Задание закрытого типа на установление соответствия

Соотнесите понятие механики металлоконструкций с его математическим определением (формулой):

1. Гибкость стержня

2. Условие прочности при изгибе

3. Закон Гука

А) $\sigma = E \times \epsilon$

Б) $\lambda = l_{ef} / i_{\text{min}}$

В) $\sigma = M / W \leq R_y$

Ответ: 1-Б, 2-В, 3-А

13. Задание открытого типа с развернутым ответом (расчетная задача)

Конструктор назначает сечение стойки из прокатного уголка 50х50х5. Площадь сечения $A = 4.8 \text{ см}^2$, минимальный радиус инерции $i_{\text{min}} = 0.98 \text{ см}$. Расчетная длина стойки $l_{ef} = 1.8 \text{ м}$.

Рассчитайте гибкость стойки (λ) и сделайте вывод, можно ли применять этот профиль для основного несущего элемента, если предельная допустимая гибкость $[\lambda] = 150$.

Ответ:

1. Гибкость стержня $\lambda = l_{ef} / i_{min}$. Переводим l_{ef} в см: $1.8 \text{ м} = 180 \text{ см}$.
2. $\lambda = 180 / 0.98 \approx 183.7$.
3. Сравнение: $183.7 > 150$.

Вывод: Применять данный профиль нельзя. Стойка потеряет устойчивость при нагрузке значительно меньшей расчетной, так как ее гибкость превышает нормативное ограничение. Для снижения гибкости необходимо увеличить момент инерции (взять уголок большего калибра, либо уменьшить свободную длину лежня).

14. Задание комбинированного типа (выбор нескольких вариантов + развернутое обоснование)

При расчете сжатого элемента решетчатой фермы технологической эстакады используется коэффициент продольного изгиба φ . Какие параметры напрямую влияют на его величину, которую берут из таблиц СНиП?

- А) Марка стали (расчетное сопротивление R_y)
- Б) Расчетная длина стержня (l_{ef})
- В) Гибкость элемента (λ)
- Г) Вес стержня
- Д) Форма сечения (тип кривой устойчивости)

Ответ: А, В, Д

Обоснование: Коэффициент φ ($0 < \varphi \leq 1$) есть функция от условной гибкости $\bar{\lambda} = \lambda \times \sqrt{(R_y / E)}$. Таким образом, в таблицах φ завязан на тип сечения (кривая устойчивости а, б, с — пункт Д), гибкость λ (пункт В) и марку стали через R_y (пункт А). Расчетная длина (Б) влияет на λ , а вес (Г) не участвует в определении коэффициента потери несущей способности.

15. Задание комбинированного типа (выбор одного ответа + обоснование)

В условиях эксплуатации конструкция печного рольганга подвергается циклическому нагреву до 350°C . Какое явление обязательно должно быть учтено в стандартном расчете по предельным состояниям?

- А) Деформационное старение
- Б) Ползучесть материала и снижение расчетного сопротивления R_y
- В) Отпускная хрупкость
- Г) Водородное растрескивание

Ответ: Б

Обоснование: При температурах выше 300°C для углеродистых сталей начинается развитие деформаций ползучести, а предел текучести R_y существенно падает. Согласно СП 16.13330, для температур свыше 100°C в расчет вводятся понижающие коэффициенты к R_y или используют жаропрочные стали (12Х1МФ), что стандартизировано для проектирования.

16. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите алгоритм проверки несущей способности внецентренно-сжатой колонны:

- А) Определение ядрового момента или эксцентриситета ($e = M/N$)
- Б) Нахождение коэффициента влияния формы сечения η
- В) Вычисление приведенного относительного эксцентриситета (ηe_{ef})
- Г) Сбор нагрузок (N и M) на колонну
- Д) Определение коэффициента φ_e (коэффициент снижения при внецентренном сжатии) и проверка условия $N / (\varphi_e \times A) \leq R_y$

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

17. Задание открытого типа с развернутым ответом

В балке двутаврового сечения стенка потеряла местную устойчивость (выпучилась) до достижения предела текучести. Объясните физику этого явления и назовите стандартный конструктивный метод борьбы с потерей местной устойчивости без увеличения толщины всей стенки.

Ответ:

Потеря местной устойчивости стенки происходит из-за действия сжимающих нормальных или

касательных напряжений, когда гибкость пластинки (соотношение h_{ef} / t_w) превышает критическое значение.

Стандартный метод борьбы — установка поперечных (а при необходимости и продольных) ребер жесткости. Ребра разбивают стенку на отсеки меньших размеров, повышая критические напряжения Эйлера ($\sigma_{cr} \sim 1 / b^2$). Это позволяет обеспечить устойчивость без нерационального утолщения всей стенки, экономя массу конструкции.

18. Задание комбинированного типа (выбор нескольких вариантов + развернутое обоснование)

При расчете сварного соединения листов внахлестку на лобовой шов действует сила F . Какие напряжения оцениваются при стандартном расчете угловых швов по металлу шва (сечение по металлу шва)?

- А) Нормальные напряжения растяжения
- Б) Условные касательные напряжения по плоскости среза
- В) Напряжения смятия в отверстиях
- Г) Локальные контактные напряжения

Ответ: Б (А — условно, но по методике срез). В стандарте: расчет на условный срез.

Обоснование: Согласно формуле (СП 16.13330), расчет сварного соединения с угловыми швами при действии силы в плоскости стыка выполняют на условный срез по двум сечениям (по металлу шва и по границе сплавления). Условие прочности: $\tau_{wf} = F / (\beta_f \times k_f \times l_w) \leq R_{wf}$. Это исключает пункты В и Г.

19. Задание открытого типа с развернутым ответом (расчетная задача)

Спроектирован болт класса прочности 8.8. Расшифруйте эту маркировку. Рассчитайте предел прочности σ_v и предел текучести σ_t для этого болта, исходя из стандартной методики.

Ответ:

Маркировка 8.8 расшифровывается по ГОСТ ISO 898-1:

- Первая цифра (8) $\times 100 = 800$ МПа — минимальный предел прочности (временное сопротивление) σ_v .
- Вторая цифра (8) означает 80% (или 0.8) от предела прочности, что соответствует пределу текучести.

$$\sigma_t = 8 \times 8 \times 10 = 640 \text{ МПа (или } 800 \times 0.8 = 640 \text{ МПа)}.$$

Это основной расчетный параметр для проверки болта на срез и растяжение.

20. Задание комбинированного типа (выбор одного ответа + обоснование расчета)

Балка из стали С245 ($R_y = 240$ МПа) работает на изгиб. Требуемый момент сопротивления $W_{req} = 500 \text{ см}^3$. Можно ли использовать двутавр №30 ($W_x = 472 \text{ см}^3$) по критерию прочности?

- А) Можно, так как разница в пределах 6%, и это перекроется развитием пластических деформаций
- Б) Можно, если снизить нагрузку на балку на 10%
- В) Нельзя, так как W_x профиля меньше требуемого ($472 < 500$), условие $\sigma \leq R_y$ не будет выполнено при полной нагрузке
- Г) Можно, так как двутавр №30 весит меньше

Ответ: В

Обоснование: При стандартном расчете по упругой стадии работы (1-я группа предельных состояний) напряжение $\sigma = M / W$. Если $W_{факт} (472) < W_{треб} (500)$, то при том же моменте M напряжение σ станет больше расчетного сопротивления R_y (240 МПа), что является нарушением условия прочности. Поэтому необходимо выбрать двутавр №33 ($W_x = 597 \text{ см}^3$).

Уровень 3. Высокий (5 вопросов)

21. Задание открытого типа (комплексный анализ и синтез)

Вы проектируете мостовой кран грузоподъемностью 50 тонн. Есть выбор главной балки: коробчатое сечение (из листовой стали) и прокатный двутавр с усилением. Используя теорию сопротивления материалов и СНиП, обоснуйте, почему для тяжелых кранов коробчатая конструкция лучше прокатной по критерию крутильной жесткости.

Ответ:

При работе крана неизбежно возникают перекосы и боковые силы (от разгона тележки),

вызывающие стесненное кручение балки.

Прокатные двутавры имеют очень низкий момент инерции при кручении ($I_t \sim \sum h \cdot b^3/3$), их профиль открытый и практически не сопротивляется кручению.

Коробчатое сечение является замкнутым контуром. Согласно формуле Бредта для тонкостенных замкнутых профилей, касательные напряжения и угол закручивания обратно пропорциональны квадрату площади контура, заключенного внутри средней линии. Жесткость замкнутого короба на кручение в сотни раз выше, чем у открытого двутавра той же площади. Это исключает кривой изгиб и вибрации пролетной балки, что делает короб стандартом в тяжелом краностроении.

22. Задание комбинированного типа (выбор одного ответа + развернутое аналитическое обоснование)

При расчете фланцевого соединения дымовой трубы большого диаметра выбирается класс прочности болтов. Какой фактор, связанный с условиями эксплуатации, является решающим для назначения запаса прочности против хрупкого разрушения?

- А) Атмосферная коррозия (ржавление)
- Б) Наличие водорода (H_2S) в очищаемых газах
- В) Низкая температура окружающего воздуха (зимой) и ударная вязкость
- Г) Усталостное нагружение от пульсации дыма

Ответ: В

Обоснование: Для высотных сооружений (дымовые трубы) в холодных климатических зонах главный риск — переход стали из вязкого состояния в хрупкое при температурах ниже критической температуры хрупкости. При стандартном проектировании в расчете болтовых соединений категория стали по ударной вязкости (KCV при $-40^\circ C$ или $-60^\circ C$) важнее, чем временное сопротивление. Пункт В определяет выбор марок стали с гарантией хладостойкости (09Г2С, а не С255), чтобы избежать лавинного разрушения.

23. Задание открытого типа (расчетно-аналитическая задача)

Центрально-сжатая трубчатая стойка имеет наружный диаметр $D = 102$ мм, толщину стенки $t = 4$ мм. Материал С345 ($R_y = 320$ МПа). Длина стойки $l = 4.2$ м, закрепление шарнирное ($\mu = 1$). Определите несущую способность стойки. Алгоритм: 1) Геометрические характеристики, 2) Гибкость, 3) Коэффициент продольного изгиба φ .

Ответ:

1. Площадь сечения трубы: $A = \pi(D^2 - d^2)/4$. Внутренний диаметр $d = 102 - 2 \cdot 4 = 94$ мм.
 $A = 3.14 \cdot (102^2 - 94^2)/4 = 3.14 \cdot (10404 - 8836)/4 = 3.14 \cdot 1568/4 \approx 1231 \text{ мм}^2 = 12.31 \text{ см}^2$.
Момент инерции: $I = \pi(D^4 - d^4)/64 = 3.14 \cdot (10404^2 - 8836^2)/64 \approx 150 \text{ см}^4$ (оценочно).
Радиус инерции $i = \sqrt{I/A} \approx \sqrt{150/12.3} \approx 3.49 \text{ см}$.
2. Гибкость $\lambda = \mu \cdot l / i = 1 \cdot 420 / 3.49 \approx 120$.
3. Для стали С345 и $\lambda = 120$ коэффициент $\varphi \approx 0.41$ (по таблице СНиП).
4. Несущая способность $N = \varphi \times A \times R_y = 0.41 \times 12.31 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \times 320 \times 10^6 \text{ Па} \approx 161 \text{ кН}$.

24. Задание закрытого типа на установление последовательности (стратегия устойчивости)

Постройте алгоритм действий инженера-расчетчика, если проверка местной устойчивости стенки высокого двутавра не выполняется (стенка «дышит»):

- А) Переход на более толстый лист стенки (увеличение t_w)
- Б) Установка продольных ребер жесткости в сжатую зону
- В) Назначение уменьшенного расстояния между поперечными ребрами (уменьшение отсека a)
- Г) Проверка возможности учета закритической работы (редуцирование сечения и учет пластических шарниров)
- Д) Анализ отношения h_{ef} / t_w и сравнение с предельным по СП

Ответ: Д → В → Б → А → Г

(Логика: сначала диагностика и анализ возможности частыми ребрами укрепить конструкцию, потом сложная установка продольных ребер, потом утолщение — самое невыгодное по массе, и только для тонкостенных балок — закритическая работа).

25. Задание открытого типа (синтез и доказательство)

При проектировании антенно-мачтового устройства (высотная конструкция) на заводе вам предлагают заменить дорогую низколегированную сталь 10ХСНД на более дешевую малоуглеродистую СтЗсп с более низким расчетным сопротивлением, но большим сечением

(чтобы выполнить условия прочности). Докажите расчетом или логикой норм, почему этот путь неприемлем для высотных гибких конструкций.

Ответ:

Замена неправомерна из-за «парадокса гибких конструкций».

При расчете высоких мачт ветровая нагрузка зависит не только от площади, но и от динамики (пульсационная составляющая). При одинаковой прочности жесткость конструкции (модуль упругости E) у СтЗсп и 10ХСНД почти одинакова (2.1×10^5 МПа). Однако период собственных колебаний конструкции, спроектированной из более слабой стали с увеличенным сечением, может измениться.

Главная ловушка: для обеспечения прочности на более слабой стали придется сильно увеличить площадь сечения. Это увеличит парусность (ветровую нагрузку), что потребует еще большего усиления. Кроме того, крупные сечения из кипящей или полуспокойной стали (СтЗпс) склонны к хрупкому разрушению в толстых листах при отрицательных температурах, что недопустимо по требованиям хладостойкости для высотных сооружений. Низколегированная сталь 10ХСНД имеет коррозионную стойкость (легирование медью и хромом), что критично для мачты, обслуживание которой затруднено.