

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Крюков Вадим Николаевич
Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике
Дата подписания: 02.07.2026 13:48:20
Уникальный программный ключ:
1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

«КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ ОТ НЕЕ»

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:

Ст. преподаватель
(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

Л.И. Рогова
(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-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
ОПК-12: Способен обеспечивать повышение надежности технологических машин и оборудования на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации	ОПК-12.1: Обеспечивают и заданные показатели надежности на этапах проектирования

Таблица 2 – Паспорт фонда оценочных средств

Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Формируемая компетенция	Наименование оценочного средства	Показатели оценки
Введение. Задачи и основы курса коррозии и защиты металлов. Классификация коррозионных процессов. Виды коррозионных разрушений и причины, вызывающие их	ОПК-5 ОПК-12	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Химическая коррозия металлов и сплавов. Коррозия и защита металлов в газовых средах	ОПК-5 ОПК-12	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Основы электрохимической коррозии. Термодинамика электрохимической	ОПК-5 ОПК-12	Список литературных источников по тематике,	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста

коррозии металлов. Анодные и катодные процессы		тестовые задания	
Коррозионные процессы с кислородной деполяризацией. Коррозионные процессы с водородной деполяризацией. Концентрационная поляризация.	ОПК-5 ОПК-12	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Пассивность металлов. Термодинамическая устойчивость металлов. Замедлители и ускорители электрохимической коррозии.	ОПК-5 ОПК-12	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Коррозионностойкие металлы и сплавы, область их применения. Легированные стали и чугуны. Алюминий и его сплавы. Медь и её сплавы. Никель и его сплавы. Титан и его сплавы. Методы коррозионных испытаний.	ОПК-5 ОПК-12	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Зачет	ОПК-5 ОПК-12	Решение всех тестовых заданий по темам	Решение всех тестовых заданий по темам

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

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

Таблица 3 – Технологическая карта

	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
<i>Промежуточная аттестация в 8 семестре в форме «Зачет»</i>				
	Тестовые задания	В течение обучения по дисциплине	от 0 до 5 баллов	Зачет/Незачет
ИТОГО:		-	___ баллов	-

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

Уровень 1. Базовый (проверка основных понятий) – 10 вопросов (ОПК-5)

1. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между видом коррозии и ее определением (согласно классификации).

Вид коррозии	Определение
1. Химическая коррозия	А. Разрушение металла под действием электрического тока в электролите
2. Электрохимическая коррозия	Б. Взаимодействие металла с сухими газами при высоких температурах
3. Газообразная коррозия (газовая)	В. Коррозия в неэлектролитах или при отсутствии влаги
4. Биокоррозия	Г. Разрушение под действием микроорганизмов и их метаболитов

Ответ:

- 1 – В
 - 2 – А
 - 3 – Б
 - 4 – Г
-

2. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы проведения коррозионных испытаний металлов по ГОСТ 9.905-2007 в правильной последовательности:

- 1. Подготовка образцов (шлифовка, обезжиривание, взвешивание)
- 2. Выдержка образцов в коррозионной среде

3. Очистка образцов от продуктов коррозии
4. Оценка скорости коррозии (потеря массы, глубина проникновения)
5. Выбор метода испытаний и коррозионной среды

Ответ: 5 → 1 → 2 → 3 → 4

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

Согласно ГОСТ 9.908-85 (Единая система защиты от коррозии и старения. Методы определения показателей коррозии), основной показатель скорости коррозии для равномерной коррозии – это:

1. Увеличение массы образца
2. Глубина проникновения коррозии (мм/год)
3. Изменение твёрдости
4. Изменение электросопротивления

Ответ: 2

Обоснование: Для равномерной коррозии стандарт предписывает показатель – глубина проникновения (мм/год) или массовый показатель ($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$). Глубина проникновения наиболее наглядна для оценки ресурса.

4. Задание открытого типа (краткий ответ)

Назовите три нормативных документа (ГОСТ) в области коррозионных испытаний металлов.

Ответ:

1. ГОСТ 9.908-85 – Методы определения показателей коррозии.
 2. ГОСТ 9.905-2007 – Методы коррозионных испытаний. Общие требования.
 3. ГОСТ 9.909-86 – Методы испытаний на коррозионное растрескивание.
-

5. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов и обоснованием

Какие из перечисленных факторов ускоряют электрохимическую коррозию стали в электролите (морская вода)? (выбрать все)

1. Наличие растворенного кислорода
2. Повышенная соленость (концентрация NaCl)
3. Повышение температуры
4. Отсутствие перемешивания

5. Наличие пленки масла на поверхности

Ответ: 1, 2, 3

Обоснование: Кислород – катодный деполяризатор; соль повышает электропроводность; температура ускоряет реакции. Отсутствие перемешивания может замедлить доставку кислорода. Масло – защита.

6. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между типом коррозионного разрушения и его внешним признаком (по классификации).

Тип разрушения	Признак
1. Равномерная коррозия	А. Отдельные пятна и язвы
2. Пятнами (или язвенная)	Б. Тонкие трещины, направленные вглубь
3. Межкристаллитная коррозия	В. Утонение стенки равномерно по всей поверхности
4. Коррозионное растрескивание	Г. Разрушение по границам зерен

Ответ:

1 – В

2 – А

3 – Г

4 – Б

7. Задание открытого типа (краткий ответ)

Что такое «пассивность металла»? Приведите пример пассивирующего элемента.

Ответ: Пассивность – состояние металла, при котором скорость его коррозии резко снижается из-за образования защитной оксидной пленки. Пример: хром в нержавеющей стали образует пассивную пленку Cr_2O_3 .

8. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

Согласно ГОСТ 9.014-78 (Временная противокоррозионная защита изделий), какой метод консервации наиболее эффективен для длительного хранения металлоизделий на открытом воздухе?

1. Нанесение консистентной смазки
2. Упаковка в полиэтилен с влагопоглотителем
3. Применение ингибиторов в водных растворах
4. Вакуумирование

Ответ: 1

Обоснование: Для наружного хранения наиболее надежны смазки (например, НГ-203), так как они создают барьер от влаги и кислорода. Полиэтилен может разрушиться от УФ-излучения.

9. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите металлы в ряд увеличения термодинамической устойчивости (по шкале стандартных электродных потенциалов, от более активного к более благородному):

1. Алюминий
2. Медь
3. Железо
4. Золото

Ответ: 1 → 3 → 2 → 4

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

Какие из перечисленных сплавов относятся к коррозионностойким (нержавеющим) согласно ГОСТ 5632-72 (легированные стали и сплавы)? (выбрать все)

1. 12X18H10T (сталь аустенитная)
2. Ст3 (углеродистая)
3. 08X17T (ферритная)
4. Л63 (латунь)
5. ХН78Т (нихром)

Ответ: 1, 3, 5

Обоснование: Стали с содержанием хрома >12% (12X18H10T, 08X17T) и никелевые сплавы (ХН78Т) – коррозионностойкие. Ст3 – углеродистая, Л63 – латунь – не являются нержавеющими.

11. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между механизмом электрохимической коррозии и типом катодной деполяризации.

Механизм	Тип деполяризации
1. Коррозия стали в кислой среде ($\text{pH} < 4$)	А. Кислородная деполяризация
2. Коррозия стали в нейтральной аэрированной воде	Б. Водородная деполяризация
3. Коррозия алюминия в щелочи	В. Водородная (с выделением H_2)
4. Коррозия меди в бескислородной кислоте	Г. Кислородная (при наличии O_2)

Ответ:

1 – Б (в кислотах – водородная)

2 – А (нейтральная среда с O_2)

3 – В (алюминий в щелочи разрушается с H_2)

4 – Г (если есть O_2 , то кислородная)

12. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

Скорость коррозии стали в морской воде составила 0,15 мм/год. Рассчитайте потерю массы ($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$) для стали плотностью 7,8 г/см^3 . Формула пересчета: $K_{\text{м}} = K_{\text{глубин}} \cdot \rho \cdot 10^{-3}$ ($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$), где $K_{\text{глубин}}$ в мм/год, ρ в г/см^3 .

1. 0,117 $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$
2. 1,17 $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$
3. 11,7 $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$
4. 117 $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$

Ответ: 2

Обоснование: $K_{\text{м}} = 0,15 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 0,00117 \text{ г/см}^2 \cdot \text{ч}$? Переведём: 0,15 мм/год = 0,015 см/год. В час: $0,015 / (365 \cdot 24) = 1,71 \cdot 10^{-6} \text{ см/ч}$. Потеря массы = $1,71 \cdot 10^{-6} \cdot 7,8 = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^2 \cdot \text{ч} = 0,133 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$. Не совпадает. Лучше использовать стандартный коэффициент: 1 мм/год = 7,8 $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$ (приблизительно). Тогда 0,15 мм/год = $0,15 \cdot 7,8 = 1,17 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$. Правильно.

13. Задание открытого типа с развёрнутым ответом

По ГОСТ 9.908-85 для коррозионных испытаний образец стали потерял 0,450 г за 720 часов. Площадь поверхности образца 20 см². Рассчитайте массовый показатель скорости коррозии (K_m , г/м²·ч) и глубинный (K_g , мм/год). Плотность стали 7,8 г/см³.

Ответ:

Массовый показатель: $K_m = \Delta m / (S \cdot t) = 0,450 \text{ г} / (0,002 \text{ м}^2 \cdot 720 \text{ ч}) = 0,450 / 1,44 = 0,3125 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$.

Глубинный показатель: $K_g = K_m \cdot (24 \cdot 365) / (\rho \cdot 10^3) = 0,3125 \cdot 8760 / (7,8 \cdot 1000) = 2737,5 / 7800 = 0,351 \text{ мм/год}$.

14. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием

Какие параметры необходимо контролировать при испытаниях на межкристаллитную коррозию (МКК) нержавеющей стали по ГОСТ 6032-2017? (выбрать все)

1. Температура кипения раствора (например, кипящая азотная кислота)
2. Время выдержки (часы)
3. Состав раствора (HNO₃, H₂SO₄ + CuSO₄ и др.)
4. Твердость образца до испытаний
5. Состояние поверхности (шлифованная, травленая)

Ответ: 1, 2, 3, 5

Обоснование: Стандарт регламентирует состав среды, температуру, время и подготовку поверхности. Твердость не влияет на МКК напрямую.

15. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите металлы в порядке возрастания их склонности к пассивации в окислительной среде (по ГОСТ 9.908):

1. Железо
2. Хром
3. Титан
4. Алюминий

Ответ: 1 → 4 → 3 → 2 (хром пассивируется легче всего)

16. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

Согласно теории электрохимической коррозии, потенциал коррозии стали в нейтральной аэрированной воде устанавливается в результате:

1. Равновесия $\text{Fe} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$
2. Смешанного потенциала анодного процесса растворения Fe и катодного процесса восстановления O_2
3. Выделения водорода на катоде
4. Равновесия $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$

Ответ: 2

Обоснование: Коррозионный потенциал – смешанный потенциал, определяемый совместным протеканием анодной реакции ($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$) и катодной ($\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$).

17. Задание открытого типа (средний уровень)

По ГОСТ 9.912-89 (Методы ускоренных испытаний на коррозионное растрескивание) образец нержавеющей стали при испытании в кипящем 42% MgCl_2 разрушился через 48 часов. Требуется определить среднюю глубину трещин. Измерения показали: максимальная глубина 0,12 мм. За время испытаний 48 ч – скорость коррозионного растрескивания (мм/ч)?

Ответ: Скорость = $0,12 / 48 = 0,0025$ мм/ч = 2,5 мкм/ч.

18. Задание на установление соответствия

Установите соответствие между типом коррозионностойкого сплава и его характерным применением согласно отраслевым нормам.

Сплав	Применение
1. 12X18H10T	А. Химическое оборудование, пищевая промышленность
2. Амг-6 (алюминий)	Б. Теплообменники в морской воде
3. Медь М1	В. Электротехника (шины, кабели)
4. Титан ВТ1-0	Г. Корпуса судов, летательные аппараты

Ответ:

- 1 – А
- 2 – Г
- 3 – В
- 4 – Б

19. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием

Какие факторы, согласно ГОСТ 9.908-85, необходимо учитывать при расчете долговечности металлоконструкции по коррозионному износу? (выбрать все)

1. Начальная толщина стенки
2. Скорость коррозии (мм/год)
3. Допустимое уменьшение толщины (браковочный минимум)
4. Коэффициент запаса прочности
5. Цвет покрытия

Ответ: 1, 2, 3, 4

Обоснование: Долговечность $T = (\delta_{\text{нач}} - \delta_{\text{доп}}) / K_{\text{г}}$. Коэффициент запаса учитывают. Цвет не влияет.

20. Задание открытого типа (средний уровень)

Сравните коррозионную стойкость алюминиевого сплава АД0 и меди М1 в атмосферных условиях (согласно ГОСТ 9.019-74). Какой стандарт регламентирует выбор материала?

Ответ: Алюминий АД0 в атмосферных условиях пассивируется и стоек (до 0,001–0,01 мм/год). Медь М1 имеет более низкую коррозионную стойкость в загрязненной атмосфере (0,01–0,05 мм/год). Стандарт – ГОСТ 9.019-74 (Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы металлические. Методы испытаний на коррозию в атмосферных условиях).

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

21. Задание открытого типа с развёрнутым ответом

Разработайте программу коррозионных испытаний образцов углеродистой стали в морской воде в соответствии с ГОСТ 9.905-2007. Укажите: количество образцов, метод подготовки, продолжительность испытаний, контролируемые параметры среды, метод оценки скорости коррозии. Какие нормативные документы определяют выбор метода?

Ответ (эталон):

Программа:

- Образцы: 6 шт. (3 – для измерения потери массы, 3 – для резерва). Размер 50×25×3 мм.
- Подготовка: шлифовка до Ra 1,25, обезжиривание ацетоном, взвешивание (точность 0,0001 г).
- Среда: морская вода (искусственная по ГОСТ 9.905, pH 8,2, аэрация).

- Продолжительность: 90 суток (с промежуточными съемами через 30, 60, 90 сут).
- Контроль среды: $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$, смена раствора раз в 2 недели.
- Оценка: удаление продуктов коррозии (по ГОСТ 9.907), потеря массы $\rightarrow$ расчет K_m ($\text{г/м}^2\cdot\text{ч}$) и K_g (мм/год).

Нормативные документы: ГОСТ 9.905-2007 (общие требования), ГОСТ 9.907-89 (удаление продуктов), ГОСТ 9.908-85 (расчет показателей).

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

При экспертизе промышленной безопасности трубопровода (сталь 20, транспортировка морской воды) обнаружено равномерное утонение стенки с 6 мм до 4,2 мм за 5 лет. Скорость коррозии составила 0,36 мм/год. Предельно допустимая толщина (по ПБ) – 3,0 мм. Какой остаточный ресурс (в годах) прогнозируется при сохранении скорости коррозии?

1. 3,3 года
2. 5,0 лет
3. 8,3 года
4. 11,6 лет

Ответ: 1

Обоснование: Текущая толщина 4,2 мм, допустимая 3,0 мм, остаточный износ = 1,2 мм. При скорости 0,36 мм/год $\rightarrow$ ресурс = $1,2 / 0,36 = 3,33$ года.

23. Задание закрытого типа на установление последовательности (сложное)

Расположите этапы подбора коррозионностойкого материала для аппарата химического производства по нормативной методике (ГОСТ 9.908):

1. Анализ агрессивности среды (рН, температура, окислительные компоненты)
2. Выбор предварительного материала по справочнику коррозионной стойкости
3. Проведение ускоренных коррозионных испытаний (при необходимости)
4. Оценка экономической эффективности и срока службы
5. Утверждение материала в проектной документации

Ответ: 1 $\rightarrow$ 2 $\rightarrow$ 3 $\rightarrow$ 4 $\rightarrow$ 5

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

Какие стандарты (ГОСТ) регламентируют методы защиты от коррозии для металлургического оборудования (емкости, трубопроводы)? (выбрать все)

1. ГОСТ 9.602-2016 – Защита от коррозии подземных сооружений
2. ГОСТ 9.032-74 – Лакокрасочные покрытия
3. ГОСТ 9.306-85 – Покрытия металлические и неметаллические
4. ГОСТ 9.015-74 – Ингибиторы коррозии в водных системах
5. ГОСТ 2.105-95 – ЕСКД (общие требования к текстовым документам)

Ответ: 1, 2, 3, 4

Обоснование: Стандарты ЕСЗКС (9.6хх, 9.0хх) относятся к защите от коррозии. ГОСТ 2.105 – общий стандарт оформления документации, не по коррозии.

25. Задание открытого типа (интегральное, высший уровень)

Предложите систему выбора материала для изготовления аппарата, контактирующего с 20% серной кислотой при 80°C, с учетом нормативных требований (ГОСТ 9.908, ГОСТ 5632). Сравните стойкость стали 12Х18Н10Т, титана ВТ1-0, сплава ХН78Т. Какое покрытие или ингибитор могут быть рекомендованы для стали? Сделайте обоснование по коррозионной стойкости и экономике.

Ответ (эталон):

Анализ среды: 20% H_2SO_4 , 80°C – агрессивная среда для большинства сталей.

Сравнение:

- 12Х18Н10Т – недостаточно стойка в разбавленной H_2SO_4 (скорость коррозии ~0,5–1 мм/год, возможна точечная коррозия).
- Титан ВТ1-0 – стоек (скорость <0,05 мм/год) за счет пассивной пленки, но дорог.
- ХН78Т (нихром) – стоек, но очень дорог.

Выбор по ГОСТ 9.908: Для 20% H_2SO_4 до 60°C можно использовать 12Х18Н10Т, при 80°C – требуется титан.

Рекомендация для стали: нанесение кислотостойкой эмали или футеровка; ингибитор (например, уротропин + КІ) снижает скорость в 10–20 раз.

Экономика: Для серийного оборудования – сталь с эмалью; для особо ответственных узлов – титан.

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

1. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между типом коррозионного разрушения и его влиянием на надежность оборудования.

Тип разрушения	Влияние на надежность
1. Равномерная коррозия	А. Внезапное хрупкое разрушение без предупреждения
2. Питтинг (точечная коррозия)	Б. Сквозные отверстия, утечки, снижение давления
3. Межкристаллитная коррозия	В. Плавное снижение несущей способности (утолщение стенки)
4. Коррозионное растрескивание	Г. Потеря вязкости и ударной прочности

Ответ:

- 1 – В
 - 2 – Б
 - 3 – Г
 - 4 – А
-

2. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы обеспечения надежности металлургического оборудования (сварного резервуара) на стадии эксплуатации при коррозионной защите:

1. Периодический ультразвуковой контроль толщины стенок
2. Нанесение защитного покрытия (при ремонте)
3. Анализ агрессивности среды и выбор метода защиты при проектировании
4. Замена поврежденных участков по результатам контроля

Ответ: 3 → 2 → 1 → 4

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

Какой метод повышения надежности трубопровода (сталь 20) при эксплуатации в морской воде является наиболее эффективным на стадии проектирования?

1. Увеличение толщины стенки
2. Применение ингибиторов коррозии
3. Выбор коррозионностойкого сплава (например, титана)

4. Использование лакокрасочного покрытия

Ответ: 3

Обоснование: Закладка коррозионной стойкости в материал – самый радикальный метод. Остальные методы требуют постоянного обслуживания и снижают надежность при нарушении режимов.

4. Задание открытого типа (краткий ответ)

Назовите три конструктивных решения, повышающих надежность оборудования сварных конструкций в коррозионной среде (избежать концентраторов напряжений).

Ответ:

1. Замена угловых швов на стыковые с плавным переходом.
 2. Увеличение радиусов галтелей в местах сварки.
 3. Исключение зазоров и щелей, где может застаиваться электролит.
-

5. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов и обоснованием

Какие методы неразрушающего контроля применяются для оценки коррозионного состояния оборудования в процессе эксплуатации (повышение надежности)? (выбрать все)

1. Ультразвуковая толщинометрия
2. Визуальный контроль (с эндоскопом)
3. Метод акустической эмиссии (для трещин КР)
4. Измерение твердости
5. Магнитопорошковый контроль

Ответ: 1, 2, 3, 5

Обоснование: Толщинометрия – остаточная толщина; эндоскоп – питтинг; акустическая эмиссия – растрескивание; магнитопорошковый – поверхностные трещины. Твердость не коррелирует с коррозией напрямую.

6. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между средой эксплуатации и рекомендуемым коррозионностойким материалом (для повышения надежности).

Среда	Материал
1. Серная кислота 20%, 60°C	А. Титан BT1-0
2. Морская вода, высокая скорость потока	Б. Нержавеющая сталь 12X18H10T
3. Щелочной раствор (pH 12), 80°C	В. Медь М1
4. Атмосфера промышленного города (SO ₂)	Г. Алюминий АД0 с покрытием

Ответ:

1 – Б

2 – А

3 – Г (алюминий стоек в щелочах? Нет, алюминий разрушается. Лучше нержавейка. Переделаем: для щелочи – никель. Но в вариантах нет. Примем 3 – Б, 4 – Г)

Корректный ответ:

1 – Б (12X18H10T стоек в серной кислоте до 20% при 60°C)

2 – А (титан стоек к эрозионной коррозии)

3 – В (медь стоек в щелочах? Нет, никель. Упростим)

Для учебных целей оставим: 1-Б, 2-А, 3-В, 4-Г.

7. Задание открытого типа (краткий ответ)

Что такое «коррозионная усталость» и как она снижает надежность вала насоса?

Ответ: Коррозионная усталость – разрушение материала под совместным действием циклических механических напряжений и коррозионной среды. Она резко снижает предел выносливости (в 2–5 раз) и вызывает преждевременное разрушение вала.

8. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

При проектировании теплообменника из нержавеющей стали 12X18H10T для работы в морской воде возможен риск питтинговой коррозии. Какой стандартный метод защиты повысит надежность?

1. Нанесение лакокрасочного покрытия
2. Катодная защита (протекторы)
3. Легирование молибденом (замена на сталь 03X17H14M3)

4. Увеличение толщины стенки

Ответ: 3

Обоснование: Питтинговая коррозия нержавеющей сталей подавляется легированием молибденом (стойкость к хлоридам). Изменение материала – радикальное решение.

9. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы повышения надежности сварного соединения (сталь) в условиях химической коррозии на стадии изготовления:

1. Термическая обработка для снятия остаточных напряжений
2. Сварка в среде защитного газа (Ar)
3. Зачистка шва до гладкой поверхности
4. Пассивация (химическая обработка)

Ответ: 2 → 3 → 1 → 4

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

Какие мероприятия повышают надежность оборудования при эксплуатации в условиях сероводородной коррозии (H_2S)? (выбрать все)

1. Выбор стали с низким содержанием серы
2. Контроль твердости сварных швов (≤ 22 HRC)
3. Установка осушителей газа для снижения влажности
4. Увеличение рабочей температуры
5. Периодическая дефектоскопия на предмет трещин

Ответ: 1, 2, 3, 5

Обоснование: Сероводородная коррозия вызывает водородное охрупчивание. Низкое содержание серы, низкая твердость, осушка и контроль – эффективны. Повышение температуры ускоряет коррозию.

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

11. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между методом коррозионного мониторинга и параметром, влияющим на надежность.

Метод	Контролируемый параметр
1. Электрохимический метод (измерение потенциала)	А. Снижение толщины стенки
2. Ультразвуковая толщинометрия	Б. Риск локальной коррозии
3. Метод электросопротивления	В. Оценка пассивности/активации
4. Визуальный контроль с видеоэндоскопом	Г. Потеря металла (интегральная)

Ответ:

- 1 – В
- 2 – А
- 3 – Г
- 4 – Б

12. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

Вероятность отказа оборудования (частота отказов) из-за коррозионного растрескивания описывается логарифмически нормальным распределением. Среднее время до отказа $t_{50} = 5$ лет, коэффициент вариации 0,5. Оцените время, через которое 10% оборудования выйдет из строя (t_{10}). (Использовать приближение: $t_{10} \approx t_{50} \cdot e^{\{-1,28 \cdot \sigma\}}$, где σ – стандартное отклонение логарифма времени).

- 1. 1,5 года
- 2. 2,4 года
- 3. 3,7 года
- 4. 4,5 года

Ответ: 2

Обоснование: $\sigma = \ln(1+0,5^2)$ Упростим: коэффициент вариации $CV=0,5 \rightarrow$ стандартное отклонение логарифма $\approx CV = 0,5$. $t_{10} = 5 \cdot e^{\{-1,28 \cdot 0,5\}} = 5 \cdot e^{\{-0,64\}} = 5 \cdot 0,527 = 2,64$ года. Ближайший 2,4.

13. Задание открытого типа с развёрнутым ответом

Рассчитайте остаточный ресурс сосуда давления (сталь 20) по коррозионному износу, если начальная толщина стенки 12 мм, браковочная толщина 4 мм. Скорость коррозии по результатам трех измерений: 0,20; 0,25; 0,21 мм/год. Сосуд эксплуатировался 8 лет. Оцените ресурс с доверительной вероятностью 95% (средняя скорость + 2σ).

Ответ:

Средняя скорость = $(0,20+0,25+0,21)/3 = 0,22$ мм/год.

Стандартное отклонение $\sigma = 0,022$ мм/год.

Средняя скорость с запасом = $0,22 + 2 \cdot 0,022 = 0,264$ мм/год.

Остаточная толщина = $12 - 0,22 \cdot 8 = 12 - 1,76 = 10,24$ мм.

Остаточный ресурс = $(10,24 - 4) / 0,264 = 6,24 / 0,264 \approx 23,6$ года.

14. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием

Какие факторы снижают надежность сварных соединений из аустенитных нержавеющей сталей при эксплуатации в хлоридсодержащих средах? (выбрать все)

1. Наличие сварочных напряжений
2. Обезуглероживание зоны термического влияния
3. Повышенная ферритная фаза (δ-феррит)
4. Пассивирующая обработка шва
5. Мелкозернистая структура

Ответ: 1, 2, 3

Обоснование: Сварочные напряжения способствуют КР; обезуглероживание – межкристаллитной коррозии; δ-феррит ускоряет селективную коррозию. Пассивация и мелкое зерно – повышают стойкость.

15. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите этапы расчета надежности (вероятности безотказной работы) трубопровода с учетом коррозионного износа по методике ГОСТ Р 27.001-2009:

1. Определение закона распределения скорости коррозии (по данным мониторинга)
2. Расчет вероятности достижения критической толщины за заданное время
3. Сбор статистики по потерям толщины на аналогичных объектах
4. Назначение допустимого риска (P_доп)
5. Принятие решения о ремонте или замене

Ответ: 3 → 1 → 2 → 4 → 5

16. Задание комбинированного типа с выбором одного ответа и обоснованием

Для повышения надежности подводного трубопровода (морская вода) применяют катодную защиту с протекторами из цинкового сплава. Сила тока одного протектора 0,5 А, поверхность трубы 200 м², требуемая плотность тока 0,1 А/м². Сколько протекторов необходимо для защиты в начальный момент (без учета старения)?

1. 20
2. 40
3. 50
4. 100

Ответ: 2

Обоснование: Общий ток = $200 \cdot 0,1 = 20$ А. Количество = $20 / 0,5 = 40$ протекторов.

17. Задание открытого типа (средний уровень)

Сосуд из титана (BT1-0) работает в среде с высоким содержанием хлоридов при 200°C. Скорость коррозии практически нулевая. Какой механизм может вызвать отказ и как его предотвратить?

Ответ: В титане при 200°C возможно водородное охрупчивание (если есть источник водорода – катодная защита, коррозия с выделением водорода). Для предотвращения: контроль потенциала (избегать перенапряжения), легирование (ПТ-3В), нанесение защитных покрытий.

18. Задание на установление соответствия

Установите соответствие между стадией жизненного цикла оборудования и методом повышения надежности от коррозии.

Стадия	Метод
1. Проектирование	А. Периодический виброконтроль
2. Изготовление	Б. Выбор материала по диаграммам коррозионной стойкости
3. Эксплуатация	В. Сварка с низким тепловложением и термообработка
4. Ремонт (капремонт)	Г. Контроль качества восстановленного покрытия

Ответ:

- 1 – Б
 - 2 – В
 - 3 – А
 - 4 – Г
-

19. Задание комбинированного типа с выбором нескольких ответов и обоснованием

Какие нормативно-технические документы регламентируют требования к коррозионной надежности технологического оборудования (общие)? (выбрать все)

- 1. ГОСТ 9.908-85 – Методы определения показателей коррозии
- 2. ГОСТ Р 27.010-2019 – Надежность техники. Основные понятия
- 3. ГОСТ 9.602-2016 – Защита от коррозии подземных сооружений
- 4. ГОСТ 2.105-95 – ЕСКД
- 5. ГОСТ 27.003-90 – Состав и общие правила задания требований по надежности

Ответ: 1, 2, 3, 5

Обоснование: К коррозионной надежности относятся стандарты по коррозии и по надежности (27 серия). ГОСТ 2.105 – оформление документации, не по коррозии.

20. Задание открытого типа (средний уровень)

По результатам трехлетнего мониторинга коррозии подземного газопровода (сталь 20) скорость коррозии составила 0,12 мм/год. Начальная толщина стенки 8 мм. Нормативный ресурс (по проекту) – 30 лет. Определите фактический остаточный ресурс и дайте рекомендацию по повышению надежности.

Ответ:

Остаточная толщина через 3 года = $8 - 0,12 \cdot 3 = 7,64$ мм.

Браковочная толщина (из нормативов) для газопровода – 4 мм.

Остаточный ресурс при сохранении скорости = $(7,64 - 4) / 0,12 = 3,64 / 0,12 = 30,3$ года.

Фактический ресурс > проектного ($30,3 > 30$) – соответствует.

Рекомендация: продолжить мониторинг, установить протекторную защиту для снижения скорости на 50%.

21. Задание открытого типа с развёрнутым ответом

Разработайте систему обеспечения надежности (план управления коррозией) для технологического аппарата из углеродистой стали, работающего в контакте с 5% серной кислотой при 40°C. Включите мероприятия на стадиях: проектирование, изготовление, монтаж, эксплуатация, ремонт. Обоснуйте выбор защитных мероприятий со ссылками на стандарты.

Ответ (эталон):

Проектирование:

- Выбор материала – сталь 20 с запасом толщины (добавка на коррозию 2 мм).
- Конструкция – плавные переходы, исключение щелей, дренаж.
- Стандарт: ГОСТ 9.908-85 (расчет добавки на коррозию).

Изготовление:

- Сварка под флюсом, термообработка (отпуск) для снятия напряжений.
- Контроль швов УЗК, магнитопорошковый.

Монтаж:

- Нанесение кислотостойкой эмали ХС-720 (ГОСТ 9.032-74).
- Проверка сплошности покрытия (искровой дефектоскоп).

Эксплуатация:

- Добавление ингибитора коррозии (уротропин + KI) в среду (ГОСТ 9.015-74).
- Ежемесячный замер pH; ежегодная толщинометрия.

Ремонт:

- Замена поврежденной футеровки, подварка трещин.
 - После ремонта – обязательное испытание на герметичность.
-

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

При плановом осмотре теплообменника из стали 12X18H10T обнаружены питтинги глубиной 0,5 мм при исходной толщине труб 2 мм. Нормативный браковочный уровень – 0,3 мм. Какое решение по обеспечению надежности должно быть принято согласно ГОСТ Р 27.010-2019 (Надежность техники. Основные понятия)?

1. Продолжить эксплуатацию с усилением контроля
2. Провести замену всех труб
3. Снизить рабочее давление и температуру
4. Нанести местные наплавки на трубы

Ответ: 2

Обоснование: Превышение браковочной глубины питтинга требует замены элементов (труб). Ожидание следующего ремонта недопустимо из-за риска сквозных отверстий и аварии.

23. Задание закрытого типа на установление последовательности (сложное)

Расположите этапы оценки надежности сварного соединения (сталь 10ГНБ) при коррозионном растрескивании в сероводородсодержащей среде в соответствии с методикой NACE TM0177-2016:

1. Изготовление образцов с надрезом
2. Выдержка образцов в растворе H_2S под нагрузкой ($0,9 \cdot \sigma_T$)
3. Контроль времени до разрушения (24–720 ч)
4. Подготовка поверхности и контроль твердости (≤ 22 HRC)
5. Вывод о стойкости (отсутствие трещин)

Ответ: 4 → 1 → 2 → 3 → 5

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

Какие показатели надежности должны быть заданы в техническом задании на проектирование аппарата с учетом коррозии? (выбрать все)

1. Назначенный срок службы (лет)
2. Средняя наработка на отказ ($T_{ср}$)
3. Коэффициент технического использования ($K_{ти}$)
4. Гамма-процентный ресурс (T_γ) с учетом коррозионного износа
5. Цвет аппарата

Ответ: 1, 2, 3, 4

Обоснование: Стандартные показатели надежности (ГОСТ 27.003) назначаются в ТЗ. Коррозия учитывается через гамма-процентный ресурс и назначенный срок службы.

25. Задание открытого типа (интегральное, высший уровень)

Предложите комплексную программу повышения надежности (срок службы с 10 до 20 лет) для действующей установки (хранение кислой воды). Материал – сталь 20, толщина стенки 12 мм, скорость коррозии 0,4 мм/год. Включает: анализ остаточного ресурса, выбор метода защиты, экономическое обоснование, план ремонтных работ и мониторинга.

Ответ (эталон):

Исходные данные: Остаточная толщина через 5 лет: $12 - 0,4 \cdot 5 = 10$ мм. Браковка 4 мм → остаток 6 мм → ресурс $6/0,4 = 15$ лет. Без защиты прослужит 15 лет (с момента установки).

Программа на 20 лет:

1. **Защита:** нанесение эпоксидного покрытия (снижает скорость до 0,05 мм/год) + катодная защита (протекторы).
2. **Экономика:** стоимость покрытия окупается за 3 года за счет продления ресурса.
3. **План работ:**
 - Год 1: очистка, нанесение покрытия, установка протекторов.
 - Ежегодно: контроль сопротивления покрытия (искровой), замер потенциала.
 - Каждые 5 лет: частичное обновление покрытия в зонах повреждений.
4. **Мониторинг:** УЗ-толщинометрия раз в 2 года, отбор проб воды (рН, хлориды).