

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Крюков Вадим Николаевич
Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике
Дата подписания: 25.06.2026 10:51:27
Уникальный программный ключ:
1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

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

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

«Производство элементарной серы»

Факультет: ГТФ

Направление подготовки: 22.03.02 «Металлургия»

Направленность (профиль): «Прогрессивные методы получения цветных металлов»

Уровень образования: бакалавриат

Кафедра «Металлургии, машин и оборудования»
наименование кафедры

Разработчик ФОС:

К.х.н., доцент

(должность, степень, ученое звание)

**Николаева
Ю.А.**

(подпись)

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ММиО, протокол № 11 от 10.06.2026

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

Фонд оценочных средств по дисциплине Производство элементарной серы разработан для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия на основе Рабочей программы дисциплины Производство элементарной серы, Положения о формировании Фонда оценочных средств по дисциплине (ФОС), Положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ЗГУ, Положения о государственной итоговой аттестации (ГИА) выпускников по образовательным программам высшего образования в ЗГУ им. Н.М. Федоровского.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Код компетенции: ПК-1 Содержание: Способен осуществлять и корректировать технологические процессы в металлургии. Индикатор достижения: ПК-1.3. Осуществляет расчет технологических схем и процессов на основании реальных технологических показателей.

Код компетенции: ПК-3 Содержание: Использует физико-химическую сущность процессов при производстве цветных металлов. Индикатор достижения: ПК-3.1. Применяет знания о термодинамических и кинетических факторах, влияющих на протекание металлургического процесса.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: физико-химические свойства элементарной серы и ее аллотропных модификаций; методы получения серы из природных месторождений (метод Фраша) и из серосодержащих газов металлургических и нефтегазовых производств (процесс Клауса).

Уметь: рассчитывать материальные балансы процессов восстановления диоксида серы сероводородом; выбирать оптимальные температурные режимы для предотвращения полимеризации расплавленной серы; оценивать экологическую эффективность утилизации сероводорода.

Владеть: навыками анализа технологических схем получения комковой и гранулированной серы; приемами обеспечения промышленной безопасности при работе с расплавленной серой и сероводородом.

2. Паспорт фонда оценочных средств

Раздел 1. Сера. Положение в таблице, строение атома, аллотропия. Нахождение в природе.

- Формируемая компетенция: ПК-1, ПК-3
- Оценочные средства: Конспект, тестовые задания.

Раздел 2. Попутная сера. Физические свойства серы. Аллотропные модификации.

- Формируемая компетенция: ПК-1, ПК-3
- Оценочные средства: Тестовые задания.

Раздел 3. Химические свойства серы. Термохимические и термодинамические свойства.

- Формируемая компетенция: ПК-1, ПК-3
- Оценочные средства: Тестовые задания, расчетные задачи.

Раздел 4. Технология получения элементарной серы (Процесс Клауса, метод Фраша).

- Формируемая компетенция: ПК-1, ПК-3
- Оценочные средства: Собеседование, тестовые задания, ситуационные кейсы.

Раздел 5. Товарные виды серы. Проблемы экологии и утилизации.

- Формируемая компетенция: ПК-1, ПК-3
- Оценочные средства: Реферат, тестовые задания.

Промежуточная аттестация (Зачет).

- Оценочные средства: Решение всех тестовых заданий по темам.

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания (Технологическая карта)
Форма промежуточной аттестации: Зачет. Сроки выполнения: В течение обучения по дисциплине.
Шкала оценивания и критерии (процент от максимальной суммы баллов):

- 0 – 64 % – «неудовлетворительно».
- 65 – 74 % – «удовлетворительно» (пороговый минимальный уровень).
- 75 – 84 % – «хорошо» (средний уровень).
- 85 – 100 % – «отлично» (высокий максимальный уровень).

4. Типовые контрольные задания (Тестовые задания)

Инструкция: Выберите один правильный ответ.

1. Какая аллотропная модификация серы является наиболее устойчивой при комнатной температуре? А) Моноклинная; Б) Ромбическая; В) Пластическая; Г) Аморфная.
2. В каком растворителе сера хорошо растворяется при обычных условиях? А) В воде; Б) В этиловом спирте; В) В сероуглероде (CS₂); Г) В соляной кислоте.
3. При какой температуре плавится ромбическая сера? А) 44 °С; Б) 119 °С; В) 190 °С; Г) 445 °С.
4. Какую форму имеют молекулы серы в ее наиболее устойчивом кристаллическом состоянии? А) Линейную; Б) Плоский треугольник; В) Восьмичленные циклы (S₈); Г) Пространственную сетку.
5. Как называется основной промышленный метод получения элементарной серы из сероводорода и диоксида серы? А) Процесс контактирования; Б) Процесс Клауса; В) Процесс Фраша; Г) Процесс Габера.
6. Какова химическая суть процесса Клауса? А) Окисление серы кислородом; Б) Взаимодействие H₂S с SO₂ с образованием серы и воды; В) Восстановление серы водородом; Г) Электролиз сульфидов.
7. Для чего применяется метод Фраша? А) Для очистки хвостовых газов металлургических печей; Б) Для добычи самородной серы из подземных месторождений путем выплавления; В) Для производства серной кислоты; Г) Для грануляции расплавленной серы.
8. Какая температура поддерживается в печи на первой (термической) стадии процесса Клауса? А) 200–300 °С; Б) 400–500 °С; В) 1000–1400 °С; Г) Выше 2000 °С.
9. Какой катализатор чаще всего используется на второй (каталитической) стадии процесса Клауса? А) Ванадиевый ангидрид (V₂O₅); Б) Оксид алюминия (Al₂O₃) или активированный уголь; В) Железо (Fe); Г) Платина (Pt).
10. Какое свойство приобретает расплавленная сера при нагревании выше 190 °С? А) Становится идеально жидкой и текучей; Б) Резко возрастает ее вязкость из-за полимеризации циклов S₈ в длинные цепи; В) Начинает кипеть; Г) Меняет цвет на белый.
11. В каком виде сера выступает в роли окислителя при взаимодействии с простыми веществами? А) С кислородом; Б) С галогенами; В) С металлами и водородом; Г) С азотной кислотой.
12. Какой газ выделяется при горении серы на воздухе? А) Сероводород (H₂S); Б) Триоксид серы (SO₃); В) Диоксид серы (SO₂); Г) Угарный газ (CO).
13. Как получают пластическую серу? А) Нагреванием ромбической серы до 119 °С; Б) Выливанием расплавленной серы тонкой струей в холодную воду; В) Растворением серы в щелочи; Г) Сублимацией паров серы.
14. Какое агрегатное состояние имеет сероводород (H₂S) при нормальных условиях? А) Желтая жидкость; Б) Бесцветный газ с запахом тухлых яиц; В) Кристаллическое вещество; Г) Бесцветный газ без запаха.
15. Какова степень окисления серы в гексафториде серы (SF₆)? А) +4; Б) -2; В) +6; Г) 0.
16. Почему расплавленную серу на заводах хранят и транспортируют при температуре строго 130–140 °С? А) Чтобы она не застыла; Б) Чтобы избежать ее полимеризации и резкого роста вязкости; В) Чтобы ускорить химические реакции; Г) Чтобы предотвратить выделение газа.
17. Какое основное экологическое преимущество процесса Клауса для металлургических предприятий? А) Позволяет получить товарную серную кислоту; Б) Позволяет

- утилизировать токсичный H₂S и SO₂, предотвращая выбросы в атмосферу; В) Не требует затрат энергии; Г) Позволяет извлекать драгоценные металлы.
18. Какой продукт образуется при взаимодействии серы с концентрированной азотной кислотой при нагревании? А) Сероводород; Б) Сернистый газ; В) Серная кислота; Г) Сульфид азота.
 19. Какое вещество используется для хемосорбционной очистки газов от сероводорода с целью последующего получения элементарной серы? А) Растворы этаноламинов (МЭА, ДЭА); Б) Расплав соды; В) Активированный уголь; Г) Силикагель.
 20. Какова массовая доля серы в пирите (FeS₂)? (Округлите до целых). А) 26 %; Б) 47 %; В) 53 %; Г) 73 %.
 21. При взаимодействии серы с натрием образуется: А) Na₂S; Б) Na₂SO₃; В) Na₂SO₄; Г) Na₂S₂O₃.
 22. Какое свойство элементарной серы позволяет использовать ее в производстве спичек и пороха? А) Окислительная способность; Б) Горючесть; В) Растворимость в CS₂; Г) Аллотропия.
 23. Какой вид транспортировки товарной серы является наиболее экономичным для больших объемов? А) В бумажных мешках; Б) В железнодорожных цистернах в расплавленном виде; В) В стальных баллонах под давлением; Г) По трубопроводам в виде водной суспензии.
 24. Что является основным источником получения попутной серы в современной промышленности? А) Природные месторождения самородной серы; Б) Сероводород, выделяемый при очистке природных газов и на нефтеперерабатывающих заводах; В) Обжиг гипса; Г) Отходы производства суперфосфата.
 25. Какое уравнение отражает реакцию взаимодействия сероводорода с диоксидом серы (процесс Клауса)? А) H₂S + SO₂ → 2S + H₂O; Б) 2H₂S + 3SO₂ → 2S + 2H₂O; В) H₂S + 2SO₂ → 3S + H₂O; Г) 2H₂S + SO₂ → 3S + 2H₂O.

5. Задания повышенного уровня сложности (Аналитический и эвристический уровень)

Данные задания предназначены для оценки сформированности компетенций ПК-1 и ПК-3 на высшем уровне, с учетом реальной практики металлургических и газоперерабатывающих предприятий.

Блок А. Задания на установление соответствия

Задание 1. Установите соответствие между аллотропной модификацией/состоянием серы и ее характеристикой:

1. Ромбическая сера.
2. Моноклинная сера.
3. Пластическая сера.
4. Расплавленная сера (при 160 °С).

А) Устойчива при температуре выше 96 °С, представляет собой темно-желтые игольчатые кристаллы. Б) Представляет собой циклические молекулы S₈, обладает высокой текучестью, оптимальна для транспортировки. В) Наиболее устойчивая модификация при комнатной температуре, желтые кристаллы, хрупкая. Г) Представляет собой аморфную резиноподобную массу, состоящую из полимерных цепей, неустойчива.

Блок Б. Ситуационные задачи (Кейсы для металлургов)

Кейс 1. Оптимизация процесса Клауса на газоперерабатывающем заводе На установке получения элементарной серы методом Клауса операторы заметили, что степень конверсии сероводорода (H₂S) в серу на второй (каталитической) стадии резко упала. Анализ показал, что температура в реакторе с оксидом алюминия случайно поднялась до 450 °С вместо регламентных 250 °С. При этом на выходе из печи термической стадии (при 1100 °С) конверсия была высокой. *Вопросы:*

1. Объясните с позиций химической термодинамики и кинетики, почему повышение температуры на каталитической стадии снизило выход серы? (Учтите, что реакция 2H₂S + SO₂ ↔ 3S + 2H₂O экзотермическая).
2. Какую роль играет термическая стадия (1100 °С) и какую — каталитическая (250 °С)?
3. Какие технологические меры необходимо предпринять для стабилизации процесса?

Кейс 2. Авария на складе расплавленной серы На серном складе предприятия произошла разгерметизация паропровода, обогревающего емкость с расплавленной серой. Температура серы в

резервуаре упала до 110 °С, и она начала кристаллизоваться, забивая трубопровод. Диспетчер принял решение экстренно прогреть трубопровод открытым паровым пламенем (горелкой), чтобы расплавить пробку. *Вопросы:*

1. Какую критическую ошибку совершил диспетчер с точки зрения пожарной безопасности серы?
2. Какова температура вспышки и самовоспламенения серной пыли и расплавленной серы?
3. Какими средствами и методами необходимо тушить горящую серу, и почему нельзя использовать сплошную струю воды?

6. Ключи и критерии оценивания

Ответы к тестовым заданиям (1-25): 1-Б; 2-В; 3-Б; 4-В; 5-Б; 6-Б; 7-Б; 8-В; 9-Б; 10-Б; 11-В; 12-В; 13-Б; 14-Б; 15-В; 16-Б; 17-Б; 18-В; 19-А; 20-В; 21-А; 22-Б; 23-Б; 24-Б; 25-Г. (*Оценивание: 1 балл за каждый верный ответ. Максимум 25 баллов*).

Ответы к заданию на соответствие:

- Задание 1: 1-В, 2-А, 3-Г, 4-Б. (*Оценивание: 2 балла за полностью верное соответствие, 1 балл за одну ошибку*).

Критерии оценивания Ситуационных задач (Кейсов): Максимум — 15 баллов за каждый кейс.

- 12-15 баллов (Отлично): Студент демонстрирует глубокое понимание физико-химии серы. В Кейсе 1 верно объясняет, что согласно принципу Ле Шателье, для экзотермической реакции повышение температуры смещает равновесие влево (в сторону реагентов H_2S и SO_2), снижая выход серы, хотя кинетически скорость растет. Указывает на необходимость двухстадийности (термическая для разложения, каталитическая для сдвига равновесия). В Кейсе 2 четко указывает на опасность возгорания серы от открытого огня (температура вспышки ~ 207 °С, самовоспламенения ~ 250 °С). Указывает, что тушить нужно распыленной водой, песком или пеной, а сплошная струя воды вызывает бурное вскипание и разбрызгивание горячей серы.
- 8-11 баллов (Хорошо): Студент понимает суть проблемы, предлагает верные пути решения, но допускает неточности в термодинамическом обосновании (путает кинетику и термодинамику) или не знает точных параметров пожарной безопасности серы.
- 5-7 баллов (Удовлетворительно): Понимание проблемы поверхностное. Решения носят общий характер («нужно охладить реактор», «нельзя греть огнем») без химического и технологического обоснования.
- 0-4 баллов (Неудовлетворительно): Неверное понимание сути кейса, предложение решений, которые приведут к аварии или взрыву.