

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Крюков Вадим Николаевич

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 15.06.2026

Уникальный программный ключ:

1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования

«Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского»
ЗГУ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ¹
по дисциплине

«Расчет технологических схем»

Факультет: Горно-технологический (ГТФ)

Направление подготовки: 22.04.02 «Металлургия»

Направленность (профиль): Металлургия цветных металлов

Уровень образования: магистратура

Кафедра «Металлургии, машин и оборудования»
наименование кафедры

Разработчик ФОС:

К.С-Х.Н., ДОЦЕНТ

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

О.В. Носова

(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

¹ В данном документе представлены типовые оценочные средства. Полный комплект оценочных средств, включающий все варианты заданий (тестов, контрольных работ и др.), предлагаемых обучающемуся, хранится на кафедре в бумажном и электронном виде.

Фонд оценочных средств по дисциплине **Расчет технологических схем** для текущей/ промежуточной аттестации разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 22.04.02 **Металлургия** на основе Рабочей программы дисциплины **Расчет технологических схем**, 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, соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы

Профессиональные компетенции

ПК-1. Способен контролировать и корректировать заданные величины параметров и показателей процессов металлургического производства

- **ПК-1.3. (Знать)** методы стехиометрических расчетов, правила расчета теплоемкости, энтальпий и тепловых эффектов реакций, методики составления материальных, тепловых и электрических балансов пирометаллургических, гидromеталлургических и электрометаллургических процессов.
- **ПК-1.3. (Уметь)** осуществлять расчеты технологических схем и процессов на основании реальных технологических показателей, рассчитывать потребность в сырье, топливе, электроэнергии и определять габариты оборудования.
- **ПК-1.3. (Владеть)** навыками проверки сходимости балансов (оценки невязки), анализа погрешностей и интерпретации результатов расчетов для оптимизации технологических схем.

2. Паспорт фонда оценочных средств

Тема 1. Стехиометрические расчеты в металлургии

- Формируемая компетенция: ПК-1
- Оценочное средство: Расчетные задачи, тестирование
- Форма оценивания: Письменно

Тема 2. Расчёт теплоемкости и энтальпий веществ, тепловых эффектов реакций

- Формируемая компетенция: ПК-1
- Оценочное средство: Практическая работа, тестирование

- Форма оценивания: Письменно

Тема 3. Расчёт материального и теплового баланса пирометаллургических процессов

- Формируемая компетенция: ПК-1
- Оценочное средство: Курсовой проект (раздел), расчетные задачи
- Форма оценивания: Письменно (защита)

Тема 4. Расчёт материального и теплового баланса гидromеталлургических процессов

- Формируемая компетенция: ПК-1
- Оценочное средство: Практическая работа
- Форма оценивания: Письменно

Тема 5. Расчёт электрического баланса процесса электролиза и потребности оборудования

- Формируемая компетенция: ПК-1
- Оценочное средство: Практическая работа, тестирование
- Форма оценивания: Письменно

3. Перечень контрольно-оценочных средств (КОС)

Перечень и шкалы оценивания

1. Текущий контроль качества

- **Расчетные задачи и практические работы:** Шкала оценивания — «Зачтено / не зачтено». Критерии: верность выбранных уравнений реакций, корректность стехиометрических коэффициентов, сходимость балансов (невязка не более 1-2%).
- **Курсовой проект:** Шкала оценивания — «Допущен / не допущен к защите». Критерии: соответствие ГОСТ, полнота разделов, реалистичность технологических показателей.

2. Промежуточная аттестация (Экзамен / Зачет с оценкой)

- **Комплексный расчетный тест:** Шкала оценивания — 4-балльная (от 2 до 5).
- **Критерии выставления оценки:**
 - «Отлично» (5): 85–100% от максимально возможной суммы баллов. Безупречное выполнение теоретических и расчетных заданий, глубокое понимание физической сути процессов.
 - «Хорошо» (4): 75–84% баллов. Верные расчеты с незначительными арифметическими погрешностями, полное понимание методологии.

- «Удовлетворительно» (3): 65–74% баллов. Знание базовых формул, наличие ошибок в сложных комплексных расчетах, требующих помощи преподавателя.
- «Неудовлетворительно» (2): менее 65% баллов. Незнание законов сохранения массы и энергии, принципиальные ошибки в стехиометрии и термодинамике.

4. Типовые контрольные задания и материалы для оценки знаний

4.1 Задания для текущего контроля успеваемости

Примеры расчетных задач для практических занятий:

Задача 1 (Стехиометрия и термохимия). Рассчитать тепловой эффект реакции восстановления оксида цинка углеродом: $ZnO(тв) + C(тв) = Zn(г) + CO(г)$. Использовать стандартные энтальпии образования компонентов. Определить, является ли реакция экзо- или эндотермической.

Задача 2 (Материальный баланс пирометаллургии). На плавку поступило 1000 кг медного концентрата. Состав: 25% Cu, 30% S, 28% Fe. Извлечение меди в штейн составляет 95%. Содержание меди в штейне по технологическим замерам равно 40%. Определить массу штейна и количество серы, перешедшей в газовую фазу (принять, что остальная сера находится в штейне в виде FeS и Cu₂S).

Задача 3 (Электрический баланс). Рассчитать теоретический и фактический расход электроэнергии на получение 1 тонны катодного цинка. Выход по току составляет 90%. Напряжение на ванне – 3,4 В. Электрохимический эквивалент цинка принять равным 1,22 г/(А·ч).

4.2 Задания для промежуточной аттестации (Экзамен)

Спецификация комплекта оценочных материалов

- Общее количество заданий: 15.
- Распределение по типам и уровням сложности:
 - Задания с выбором одного верного ответа (Базовый уровень): 3 шт.
 - Задания с выбором нескольких верных ответов (Продвинутый уровень): 3 шт.
 - Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень): 3 шт.
 - Задания на установление последовательности (Экспертный уровень): 2 шт.
 - Задания открытого типа / Расчетные кейсы (Экспертный уровень): 4 шт.

Тестовые задания

Блок А. Задания с выбором одного верного ответа (Базовый уровень)

1. Какой фундаментальный закон лежит в основе составления материального баланса любого металлургического процесса? а) Закон сохранения энергии б) Закон

- сохранения массы вещества в) Закон постоянства состава соединений г) Закон Фарадея
2. Какая физическая величина представляет собой количество теплоты, необходимое для нагревания 1 моля вещества на 1 градус? а) Энтальпия б) Энтропия в) Молярная теплоемкость г) Тепловой эффект реакции
 3. Что такое «невязка» в материальном или тепловом балансе, и каково ее допустимое значение в инженерных расчетах? а) Разница между приходом и расходом, допустимо до 1-3% б) Сумма всех примесей в концентрате, допустимо до 10% в) Погрешность весового оборудования, допустимо до 5% г) Потери металла с пылью, допустимо до 20%

Блок Б. Задания с выбором нескольких верных ответов (Продвинутый уровень)

4. Какие статьи прихода учитываются при составлении теплового баланса пирометаллургической печи (например, отражательной или шахтной)? (Выберите 3 верных варианта) а) Теплота экзотермических химических реакций б) Физическое тепло шихты и дутья в) Теплота сгорания топлива (если печь с внешним нагревом) г) Эндотермические эффекты диссоциации карбонатов
5. Какие факторы напрямую влияют на расчет необходимого объема флотационных машин или гидроциклонов при проектировании обогатительных фабрик? (Выберите 2 верных варианта) а) Плотность пульпы и время флотации/классификации б) Производительность фабрики по руде и содержание металла в) Температура окружающей среды в цехе г) Химический состав флюсов
6. Какие параметры входят в уравнение электрического баланса процесса электролиза? (Выберите 3 верных варианта) а) Полезная энергия, затрачиваемая на электрохимические реакции б) Тепловые потери в окружающую среду через стенки ванны в) Потери напряжения в контактах и электролите г) Энтальпия образования криолита

Блок В. Задания на установление соответствия (Продвинутый уровень)

7. Установите соответствие между научным законом/уравнением и областью его применения в расчетах технологических схем: А. Закон Гесса Б. Уравнение Нернста В. Законы Фарадея
 1. Расчет равновесного потенциала электрода при электролизе.
 2. Расчет массы выделившегося на катоде металла.
 3. Расчет теплового эффекта сложной химической реакции.
8. Установите соответствие между типом баланса и его основной лимитирующей статьей расхода: А. Материальный баланс плавки Б. Тепловой баланс автоклавного выщелачивания В. Электрический баланс электроэкстракции
 1. Расход электроэнергии (кВт·ч) на тонну металла.

2. Расход пара или теплоносителя на нагрев пульпы.
 3. Расход флюсов и восстановителя на тонну шихты.
9. Установите соответствие между металлургическим процессом и основным методом расчета его схемы: А. Пирометаллургическая плавка (Кивцэт, Ванюков) Б. Гидрометаллургическое выщелачивание В. Электролитическое рафинирование
1. Материальный баланс по жидкой и твердой фазам, расчет концентрации реагентов.
 2. Материальный баланс по элементам (Cu, Fe, S, SiO₂) и тепловой баланс.
 3. Расчет выхода по току, электрического баланса и баланса примесей (анодный шлак).

Блок Г. Задания на установление последовательности (Экспертный уровень)

10. Установите правильную логическую последовательность этапов расчета материального баланса плавильного процесса: А. Расчет массы и состава продуктов плавки (штейна, шлака, газов) Б. Выбор базы расчета (например, на 100 кг концентрата или на 1 тонну шихты) В. Проверка баланса (схождение прихода и расхода, расчет невязки) Г. Составление уравнений протекающих химических реакций и расчет стехиометрии Д. Расчет массы и состава исходной шихты (концентрат, флюсы, топливо)
11. Установите последовательность этапов расчета теплового баланса металлургической печи: А. Расчет энтальпий (физического тепла) компонентов статьи расхода Б. Расчет энтальпий (физического тепла) компонентов статьи прихода В. Определение потребности в топливе или электроэнергии для компенсации дефицита тепла Г. Составление уравнения теплового баланса (Приход = Расход)

Блок Д. Задания открытого типа / Расчетные кейсы (Экспертный уровень)

12. (Расчетный кейс). Рассчитать теоретический расход кокса (содержание углерода 85%) на восстановление 100 кг цинкового огарка, содержащего 60% Zn в виде ZnO. Принять, что восстановление идет по реакции $ZnO + C = Zn + CO$, а степень восстановления составляет 94%.
13. (Аналитический кейс). Объясните, почему при составлении материального баланса электролиза меди или цинка необходимо отдельно рассчитывать баланс примесей (например, никеля, кобальта, сурьмы). Как накопление этих примесей в электролите влияет на электрический баланс и качество катода?
14. (Инженерный кейс). Необходимо рассчитать требуемую площадь зеркала кессона для охлаждения технологических газов. Объем газов, поступающих на охлаждение, составляет 50 000 м³/ч. Температура газов на входе 1200 °С, на выходе 400 °С. Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке кессона составляет 40 Вт/(м²·К). Средняя

температура стенки кессона 150 °С. Плотность газов принять равной 1,3 кг/м³, теплоемкость газов – 1,1 кДж/(кг·К).

15. (Комплексный кейс). Обоснуйте выбор базы расчета и составьте укрупненную схему материального баланса для процесса автоклавного окислительного выщелачивания тугоплавкого золотосодержащего концентрата. Укажите, какие компоненты обязательно должны быть учтены в статье «Расход» (выход), если процесс идет с использованием сжатого воздуха и известняка для нейтрализации образующейся серной кислоты.

5. Ключ верных вариантов ответов и критерии оценивания

Ключ к заданиям закрытого типа (Блоки А, Б, В, Г)

Блок А (по 1 баллу за правильный ответ)

1. б (Закон сохранения массы вещества)
2. в (Молярная теплоемкость)
3. а (Разница между приходом и расходом, допустимо до 1-3%)

Блок Б (по 1 баллу за полный правильный набор, 0 баллов при любой ошибке) 4. а, б, в (Теплота реакций, физическое тепло шихты, теплота сгорания топлива. Эндотермические эффекты — это статьи РАСХОДА тепла). 5. а, б (Плотность пульпы/время и производительность фабрики). 6. а, б, в (Полезная энергия, тепловые потери, потери напряжения).

Блок В (по 1 баллу за полное правильное соответствие) 7. А-3, Б-1, В-2 8. А-3, Б-2, В-1 9. А-2, Б-1, В-3

Блок Г (по 1 баллу за правильную последовательность) 10. Б → Г → Д → А → В 11. Б → А → Г → В

Ключ и критерии оценивания заданий открытого типа (Блок Д) Оценивание: до 3 баллов за каждый корректно решенный кейс (максимум 12 баллов).

Кейс 12 (Восстановление цинка): Эталонное решение:

1. Масса ZnO в огарке: $100 * 0,60 = 60$ кг.
2. Теоретический расход углерода по стехиометрии ($ZnO + C = Zn + CO$): $60 * (12 / 81) = 8,89$ кг С.
3. С учетом степени восстановления (94%): $8,89 * 0,94 = 8,36$ кг чистого углерода.
4. Расход кокса (85% С): $8,36 / 0,85 = 9,83$ кг. *Критерии:* 1 балл за верное уравнение и стехиометрию, 1 балл за учет степени восстановления, 1 балл за пересчет на состав кокса.

Кейс 13 (Баланс примесей при электролизе): Эталонные аспекты:

1. Примеси (Ni, Co, Sb, As) не разряжаются на катоде при заданных потенциалах, но накапливаются в электролите, повышая его вязкость и электропроводность (или снижая ее), что ведет к росту напряжения на ванне и перерасходу электроэнергии.
2. Некоторые примеси (сурьма, висмут) могут соосаждаться с основным металлом, снижая качество катода (марочность).
3. Расчет баланса примесей необходим для определения объема «отсечки» (продувки) электролита и разработки схемы его очистки. *Критерии:* 1 балл за указание влияния на электропроводность/напряжение, 1 балл за влияние на качество катода, 1 балл за обоснование необходимости отсечки электролита.

Кейс 14 (Теплообмен и площадь кессона): Эталонное решение:

1. Массовый расход газов: $G = 50000 * 1,3 = 65000$ кг/ч.
2. Теплота, которую нужно отвести: $Q = G * C_p * \Delta T = 65000 * 1,1 * (1200 - 400) = 57200000$ кДж/ч = 15 888 кВт.
3. Средний температурный напор: $\Delta T_{cp} = T_{газа} - T_{стенки}$. (Принимаем среднюю температуру газа 800 °С). $\Delta T_{cp} = 800 - 150 = 650$ К.
4. Площадь зеркала: $F = Q / (k * \Delta T_{cp}) = 15888 * 1000 / (40 * 650) = 611$ м². *Критерии:* 1 балл за расчет теплового потока Q, 1 балл за определение температурного напора, 1 балл за расчет площади F.

Кейс 15 (Схема баланса автоклавного выщелачивания): Эталонные аспекты:

1. База расчета: 1 тонна сухого концентрата.
2. Приход: Концентрат, вода (оборотная и свежая), серная кислота (если есть), сжатый воздух (кислород), известняк (CaCO₃).
3. Расход (обязательные компоненты): Раствор (сульфаты металлов, избыточная H₂SO₄), Кек (пирит, элементарная сера, нерастворимый остаток, гипс CaSO₄*2H₂O), Газовая фаза (отходящий воздух, пары воды, следы SO₂), Тепло (потери в среду и нагрев пульпы). *Критерии:* 1 балл за верный выбор базы и приходную часть, 1 балл за учет образования гипса и элементарной серы в кеке, 1 балл за учет газовой фазы и теплового баланса.

Итоговый подсчет баллов и перевод в шкалу оценивания:

- Максимальный балл за экзамен: 3 (Блок А) + 3 (Блок Б) + 3 (Блок В) + 2 (Блок Г) + 12 (Блок Д) = 23 балла.
- Перевод в 4-балльную шкалу (согласно критериям ЗГУ):
 - 20–23 балла (85–100%) = «Отлично» (5)
 - 17–19 баллов (75–84%) = «Хорошо» (4)
 - 15–16 баллов (65–74%) = «Удовлетворительно» (3)

- Менее 15 баллов (<65%) = «Неудовлетворительно» (2)