



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.
Носова»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИММиМ
А.С. Савинов
05.02.2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Направление подготовки (специальность)
18.03.01 Химическая технология

Направленность (профиль/специализация) программы
Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
очная

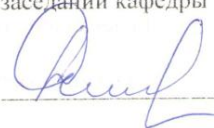
Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалобработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	4
Семестр	7

Магнитогорск
2026 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 922)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Металлургии и химических технологий
28.01.2026, протокол № 4

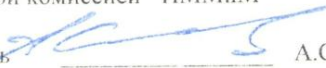
Зав. кафедрой



А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ
05.02.2026 г. протокол № 5

Председатель



А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:
профессор кафедры МиХТ, д.ф.-м.н.



Смирнов А.Н.

Рецензент:

Зав. кафедрой ТиЭС, к.техн.н.



Нешпоренко Е.Г.

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2030 - 2031 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области математического моделирования химико-технологических процессов (ХТП) и современных методов планирования эксперимента

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Планирование эксперимента и моделирование химико-технологических процессов входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Математика

Физическая химия

Химические реакторы

Массообменные процессы химической технологии

Техническая термодинамика и теплотехника

Процессы и аппараты химической технологии

Коллоидная химия

Общая и неорганическая химия

Общая химическая технология

Коксование углей

Подготовка углей для коксования

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Учебно-исследовательская работа студента

Производственная - преддипломная практика

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Планирование эксперимента и моделирование химико-технологических процессов» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-2	Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности
ОПК-2.1	Использует математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности
ОПК-2.2	Выбирает математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности
ОПК-5	Способен осуществлять экспериментальные исследования и испытания по заданной методике, проводить наблюдения и измерения с учетом требований техники безопасности, обрабатывать и интерпретировать экспериментальные данные
ОПК-5.1	Выбирает и применяет методы и средства измерения для определения свойств материалов и готовой продукции

ОПК-5.2	Проводит экспериментальные исследования и использует основные приёмы обработки и представления полученных данных
---------	--

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 73,9 академических часов;
- аудиторная – 72 академических часов;
- внеаудиторная – 1,9 академических часов;
- самостоятельная работа – 70,1 академических часов;
- в форме практической подготовки – 4 академических часов;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Раздел "Общие вопросы моделирования"								
1.1 Роль моделирования в химической технологии. Понятия: объект, система, модель, моделирование. Классификация видов моделирования (физическое, математическое, аналоговое, мысленное)	7	4		4	10	Выполнение практических работ.	Коллоквиум.	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-5.1, ОПК-5.2
1.2 Примеры математического моделирования из различных областей знания (физика, биология).		3			3	Выполнение практических работ.	Коллоквиум.	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-5.1, ОПК-5.2
Итого по разделу		7		4	13			
2. Раздел "Аналитический подход к моделированию химико-технологических процессов"								
2.1 Модели на основе фундаментальных законов сохранения (материальный и тепловой балансы). Модели идеального вытеснения и идеального смешения. Дифференциальные уравнения в частных производных. Численные методы. (Ньютона, Эйлера)	7	4		8	5	Выполнение практических работ .	Коллоквиум по задачам.	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-5.1, ОПК-5.2
2.2 Кинетические		5		6	4	Выполнение	Коллоквиум по	ОПК-2.1,

особенности протекания химических реакций. Методика составления систем уравнений, описывающих равновесные концентрации веществ, принимающих участие в химических реакциях						практических работ .	задачам.	ОПК-2.2, ОПК-5.1, ОПК-5.2
2.3 Дифференциальные уравнения непрерывности потока для неустановившегося движения несжимаемой жидкости, теплопроводности, конвективной теплопроводности, диффузии, конвективной диффузии; уравнение материального баланса для элементарного объёма реактора любого типа. Общие сведения о теории подобия. Основные критерии подобия. Критериальные уравнения.	7	5			4,35	Подготовка к семинарскому занятию.	Семинарское занятие.	ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-5.1, ОПК-5.2
Итого по разделу		14		14	13,35			
3. Раздел "Экспериментальный подход"								
3.1 Статистические методы анализа экспериментальных данных. Экспериментальные оценки истинного значения измеряемой случайной величины и её дисперсии. Определение грубых ошибок среди результатов повторностей опыта. Средневзвешенные оценки дисперсии. Анализ однородности исходных оценок дисперсии. Определение доверительной ошибки экспериментальной оценки измеряемого параметра. Область применения статистических моделей. Регрессионный анализ. Метод наименьших квадратов (МНК). Переход от физических переменных к безразмерным.	7	5		6	10,05	Выполнение практических работ (Блок №4).		ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-5.1, ОПК-5.2
3.2 Планирование и обработка результатов		6		2	8	Выполнение практических		ОПК-2.1, ОПК-2.2,

<p>однофакторного экспериментов. Формализация экспериментальных данных методом наименьших квадратов. Симметричный и равномерный план однофакторного эксперимента. Проверка адекватности полученного уравнения и его использование для оптимизации процесса. Получение экспоненциальной зависимости по результатам однофакторных экспериментов. Двухуровневые планы многофакторных экспериментов. Метод наименьших квадратов при обработке результатов многофакторного эксперимента. Двухуровневый план полного факторного эксперимента ПФЭ2п. Уравнения, получаемые по результатам реализации планов ПФЭ2п. Статистический анализ значимости оценок коэффициентов уравнения, его адекватности и работоспособности. Рассмотрение примеров. Многоуровневые многофакторные планы,</p>						работ (Блок №4).		ОПК-5.1, ОПК-5.2
Итого по разделу	11		8	18,05				
4. Раздел ""Оптимизация ХТП""								
<p>4.1 Критерий оптимальности (целевая функция), параметры оптимизации, ограничения. Классификация методов оптимизации. Симплекс метод . Рассмотрение математических моделей из области профессиональной компетенции (прогнозирование показателей качества кокса М25 и М10).</p>	7	4	10	8	Подготовка к семинарскому занятию.	Семинарское занятие.		ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-5.1, ОПК-5.2
Итого по разделу	4		10	8				

5. Раздел "Зачет"								
5.1	7				Подготовка к экзамену	Экзамен	ОПК-2.1, ОПК-5.1	
Итого по разделу				17,7				
Итого за семестр		36		36	52,4	зачёт		
Итого по дисциплине		36		36	70,1	зачет		

5 Образовательные технологии

Для достижения планируемых результатов обучения, в дисциплине «Моделирование химико-технологических процессов» используются различные образовательные технологии:

1. Информационно-развивающие технологии, направленные на овладение большим запасом знаний, запоминание и свободное оперирование ими. Используется лекционно-семинарский метод, самостоятельное изучение литературы, применение новых информационных технологий для самостоятельного пополнения знаний, включая использование технических и электронных средств информации;

2. Деятельностные практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений при проведении экспериментальных исследований, обеспечивающих возможность качественно выполнять профессиональную деятельность;

3. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие проблемного мышления, мыслительной активности, способности проблемно мыслить, видеть и формулировать проблемы, выбирать способы и средства для их решения. Используются следующие виды проблемного обучения: освещение основных проблем изучаемой дисциплины на лекциях, учебные дискуссии, решение задач повышенной сложности. Преподаватель лишь создает проблемную ситуацию, а разрешают её обучаемые в ходе самостоятельной деятельности;

4. Личностно-ориентированные технологии обучения, обеспечивающие в ходе учебного процесса учет различных способностей обучаемых, создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей, развитие активности личности в учебном процессе. Личностно-ориентированные технологии обучения реализуются в результате индивидуального общения преподавателя и студента на консультациях, при выполнении домашних индивидуальных заданий, подготовке индивидуальных отчетов по индивидуальным заданиям, решению задач.

Методическая концепция преподавания дисциплины «Моделирование химико-технологических процессов» предусматривает активную форму усвоения материала, которая обеспечивает максимальную самостоятельность студента в решении технологических задач при выполнении заданий.

Также предусмотрены различные виды лекционных занятий:

- лекция с разбором конкретной задачи, изложенной в устной форме или в виде слайда или видеозаписи, студенты совместно с преподавателем обсуждают и анализируют представленный материал;

- лекция с разбором нерешенных и проблемных вопросов дисциплины – анализ и обсуждение возможных вариантов решения этих вопросов.

Самостоятельная работа стимулирует студентов к самостоятельной проработке тем в процессе написания рефератов, выполнения индивидуальных заданий, в процессе подготовки к коллоквиумам и итоговой аттестации.

Интерактивное обучение включает следующие методы:

- работа в команде
- проблемное обучение
- контекстное обучение
- обучение на основе опыта
- междисциплинарное обучение
- эвристическая беседа
- учебная дискуссия.

Для оценки знаний рекомендуется использовать рейтинговую систему, которая обеспечивает диагностику достижения обучаемым заданного уровня компетентности на каждом этапе текущего, промежуточного и рубежного, итогового контроля. Цель

студента – набрать максимальное число баллов. При рейтинговой системе резко возрастает роль текущего контроля. В конце семестра, студенты, набравшие суммарный рейтинг 50% получают допуск к экзамену.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Ефремов, Г. И. Моделирование химико-технологических процессов : учебник / Г.И. Ефремов. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 255 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа <http://new.znaniium.com>]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/12066. - ISBN 978-5-16-103090-5. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znaniium.com/catalog/product/989195>
2. Загкейм, А. Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие / А. Ю. Загкейм. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Логос, 2020. - 304 с. - (Новая университетская библиотека). - ISBN 978-5-98704-497-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniium.ru/catalog/product/1212487>

б) Дополнительная литература:

1. Системный анализ процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие / Э.Д. Иванчина, Е.С. Чернякова, Н.С. Белинская, Е.Н. Ивашкина ; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. - 115 с.- ISBN 978-5-4387-0787-5. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znaniium.com/catalog/product/1043896>
2. Карманов, Ф. И. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCad: Учебное пособие/Ф.И.Карманов, В.А.Острейковский - Москва : КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 208 с. ISBN 978-5-905554-96-4. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znaniium.com/catalog/product/508241>
3. Козлов, А. Ю. Статистический анализ данных в MS Excel : учебное пособие / А.Ю. Козлов, В.С. Мхитарян, В.Ф. Шишов. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 320 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/2842. - ISBN 978-5-16-004579-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniium.ru/catalog/product/1907518>
4. Головнев, Н.Н. Энергетика и направленность химических процессов. Химическая кинетика и химическое равновесие : учеб. пособие / Н.Н. Головнев. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. - 148 с. - ISBN 978-5-7638-3783-4. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znaniium.com/catalog/product/1031881>
5. Максименко И. И., Нагорный Ю. С., Глущенко И. М., Иванченко В. А. Влияние технологических факторов коксования на показатели прочности кокса // Кокс и химия. 1978. № 8. С. 12–14.
6. Михно В. П., Складар М. Г., Лурье М. В. и др. Исследование зависимости физико-механических свойств и выхода кокса от режима коксования // Кокс и химия. 1975. № 2. С. 8–12.
7. Станкевич А. С. О прогнозе коксующести углей на основе их петрографических особенностей // Кокс и химия. 1964. № 8. С. 5–7.
8. Станкевич А. С. Физико-химические методы снижения влажности коксовой

шихты // Кокс и химия. 1967. № 4. С. 1–7.

9. Станкевич А. С., Мыкольников И. А. Составление угольных шихт и прогноз их коксующести на основе химико-петрографических параметров углей // Кокс и химия. 1973. № 4. С. 3–7.

10. Станкевич А. С., Золотухин Ю. А., Проскураков А. Е., Пьянкова И. С. Зависимость внешней структуры и свойств кокса от петрографической характеристики угольных смесей // Кокс и химия. 1980. № 10. С. 13–17.

11. Станкевич А. С., Золотухин Ю. А., Калинина Г. И. и др. Взаимосвязь между механической прочностью кокса, химико-петрографическими параметрами шихт из кузнецких углей и режимом их коксования // Кокс и химия. 1981. № 2. С. 27–31.

12. Станкевич А. С., Мюллер И. П., Лельчук В. И. Распределение углей и составление угольных шихт для коксования с прогнозом качества кокса на основе линейного программирования // Кокс и химия. 1981. № 11. С. 4–8.

13. Станкевич А. С. Расчет шихт и прогноз качества кокса из углей восточных бассейнов на основе их петрографических параметров // Кокс и химия. 1983. № 9. С. 11–16.

14. Станкевич А. С., Трегуб В. В., Алешин В. И. и др. Прогноз качества кокса на основе параметров Единой промышленно-генетической классификации углей // Кокс и химия. 1990. № 12. С. 36–39.

15. Станкевич А. С., Чегодаева Н. А., Венс В. А., Черемискина А. Н. Оптимизация состава шихты для коксования и прогноз качества кокса по химико-петрографическим параметрам // Кокс и химия. 1998. № 9. С. 11–17.

16. Станкевич А. С., Круглов В. Н., Ворсина Д. В., Золотухин Ю. А. Модель оптимизации показателей прочности кокса на основе химико-петрографических параметров углей и нелинейного программирования // Кокс и химия. 2000. № 5. С. 21–29.

17. Станкевич А. С., Яблочкин Н. В., Когтев Ю. П. и др. Составление шихт для коксования на основе оптимизации и прогноза прочности кокса по химико-петрографическим показателям углей // Кокс и химия. 2002. № 3. С. 9–15.

18. Станкевич А. С., Смелянский А. З., Беркутов Н. А. и др. Рациональное распределение углей и оптимизация состава шихт для коксования // Кокс и химия. 2003. № 9. С. 8–16.

19. Станкевич А. С., Степанов Ю. В., Гилязетдинов Р. Р., Попова Н. К. Прогноз прочности кокса на основе химико-петрографических параметров угольных шихт с учётом их пневмомеханической сепарации // Кокс и химия. 2005. № 12. С. 14–21.

20. Станкевич А. С., Гилязетдинов Р. Р., Попова Н. К., Кошкаров Д. А. Модель прогноза показателей CSR и CRI на основе химико-петрографических параметров угольных шихт и условий их коксования // Кокс и химия. 2008. № 9. С. 37–44.

21. Станкевич А. С., Станкевич В. С. Определение технологической ценности углей, используемых для производства кокса // Кокс и химия. 2011. № 6. С. 2–10.

22. Станкевич А. С., Станкевич В. С. Методика определения коксующести и технологической ценности углей пластов и их смесей // Кокс и химия. 2012. № 1. С. 4–12.

23. Станкевич А. С., Базегский А. Е. Оптимизация качества кокса ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» с учетом особенностей угольной сырьевой базы // Кокс и химия. 2013. № 10. С. 14–21.

24. Аммосов И. И., Ерёмин И. В., Сухенко С. И., Ошуркова Л. С. Расчет шихт для коксования на основе петрографических особенностей углей // Кокс и химия. 1957. № 12. С. 9–12.

25. Ерёмин И. В., Гагарин С. Г. Расчет шихт для коксования на основе петрографической модели // Кокс и химия. 1992. № 12. С. 9–15.

26. Гагарин С. Г. Оценка петрографической модели прогноза прочности кокса на примере углей Монголии // Кокс и химия. 2011. № 4. С. 21–26.

27. Бычков, М. И. Основы программирования на VBA для Microsoft Excel/Бычков М.И. - Новосибирск : НГТУ, 2010. - 99 с.: ISBN 978-5-7782-1460-6. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/549331>

28. Деева, В.С. Компьютерное моделирование в нефтегазовом деле : учеб. пособие / В.С. Деева ; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2018. - 86 с. - ISBN 978-5-4387-0806-3. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/1043846>

29. Назаров, С. В. Программирование в пакетах MS Office : учеб. пособие / С. В. Назаров, П. П. Мельников, Л. П. Смольников и др.; под ред. С. В. Назарова. - Москва : Финансы и статистика, 2007. - 656 с.: ил. - ISBN 978-5-279-02926-6. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/369386>

Периодические издания:

Журнал Кокс и химия. – ISSN 0023-2815. – Текст : непосредственный.

в) Методические указания:

1. Логунова, О. С. Эконометрика : пакет заданий по дисциплине для всех специальностей заочной формы обучения / О. С. Логунова, Е. А. Ильина, В. В. Королева ; МГТУ, Каф. вычислительной техники и прикладной математики. - Магнитогорск : МГТУ, 2010. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана.- URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/582>
2. Логунова, О. С. Экспертные оценки и системы в металлургии черных металлов : учебное пособие / О. С. Логунова, Е. А. Ильина, И. И. Мацко. - Магнитогорск : МГТУ, 2013. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана.- URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/643> 3. Крылова, С. А. Введение в анализ и синтез химико-технологических систем : учебное пособие / С. А. Крылова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/1379>

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно распространяемое	бессрочно
Linux Calculate	свободно распространяемое	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И.	https://host.megaprolib.net/MP0109/Web
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа
(Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации)

Учебная аудитория для проведения практических занятий (Персональные компьютеры с пакетом MS Office, вы-ходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета)

Учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (Доска, учебные столы, стулья)

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (стеллажи для хранения оборудования, методическая литература для учебных занятий)

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Вопросы по разделу «Общие вопросы моделирования»

№1. Эксперимент как предмет исследования. Основные понятия и определения. Фактор, уровень фактора, отклик.

№2. Принципы подобия, критерии подобия. Элементарные математические модели. Применение аналогий при построении моделей. Вариационные принципы при построении математических моделей.

Вопросы по разделу «Аналитический подход к моделированию ХТП»

№1. Рассчитать ионно-молекулярный состав в присутствии KCN, растворённого в количестве $C=10^{-5}$ моль / л. Задаться значениями pH в интервале 0-14 и численно рассчитать ионно-молекулярный состав данной системы. Результаты представить графически в информативном виде (использовать логарифмическую шкалу выходного параметра). Все расчёты произвести в табличном процессоре.

№2. Рассчитать ионно-молекулярный состав раствора в присутствии растворённой углекислоты воздуха. Задаться значениями pH в интервале 0-14 и численно рассчитать ионно-молекулярный состав данной системы. Результаты представить графически в информативном виде (использовать логарифмическую шкалу выходного параметра). Все расчёты произвести в табличном процессоре.

№3. Значение pH раствора регулируется изменением концентрации соды. Рассчитать концентрацию $[CO_3^{2-}]$ ионов в растворе, с учётом растворённой углекислоты воздуха. Задаться значениями pH в интервале 0-14 и численно рассчитать ионно-молекулярный состав данной системы. Результаты представить графически в информативном виде (использовать логарифмическую шкалу выходного параметра). Все расчёты произвести в табличном процессоре.

№4. При каком значении pH достигается практически полное осаждение MnS ($PP_{MnS} = 2.5 \cdot 10^{-10}$), содержащегося в растворе в количестве 0,005 моль, при употреблении 50 % избытка осадителя. Расчёт произвести на 1 л исследуемого раствора. Все численные расчёты произвести в табличном процессоре, аналитические записи предоставить в бумажном виде. Из каких соображений находится концентрация марганца $[Mn^{2+}]$, и между какими химическими формами осуществляется материальный баланс по сере избыточной концентрации осадителя?

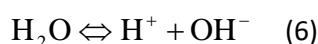
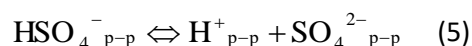
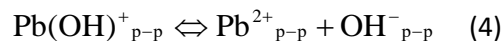
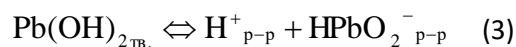
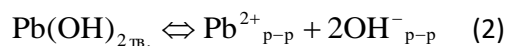
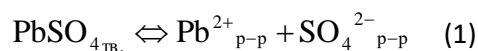
№5. Пример 5. Рассчитать равновесный состав газовой фазы для установившегося термодинамического равновесия получения водяного газа по реакциям:



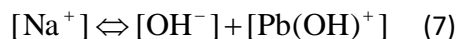
В данном задании достаточно ограничиться выводом кубического уравнения относительно p_{CO} .

№6. Оценить с физико-химической точки зрения, при каком значении pH происходит переход $PbSO_4$ в $Pb(OH)_2$. Изменение pH происходит за счёт NaOH.

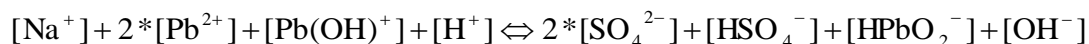
В системе предполагается протекание следующих химических реакций:



Уравнение материального баланса:



Уравнение электронейтральности:



Примечание: при решении задачи необходимо по имеющимся уравнениям составить систему нелинейных уравнений, из неё вывести уравнение:

$$2 * K_2^2 * K_4 * K_5 * [\text{H}^{+}]^4 + K_2 * K_5 * K_w (2 * K_2 + K_4 * K_w) * [\text{H}^{+}]^3 - \\ - K_4 * K_w^2 (K_1 * K_w^2 + K_2 * K_3 * K_5) * [\text{H}^{+}] - 2 * K_1 * K_4 * K_5 * K_w^4 = 0$$

Из справочных данных необходимо определить константы химических реакций $K_1 - K_6$ соответствующих реакций (1)-(6).

Из практических соображений установить, с какой точностью необходимо вычислять значение pH.

Нелинейное уравнение необходимо решить четырьмя методами: графическим, половинного деления, Ньютона, хорд. Сделать вывод о скорости сходимости каждого из методов при заданной точности получаемого результата, а также пригодности для решения задачи физико-химического моделирования.

Рассмотреть эвристический метод, основанный на специфике решаемой задачи, решения системы нелинейных уравнений.

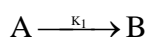
Все вычисления произвести в табличном процессоре.

№7. Пользуясь результатами задачи №6 исключить из системы нелинейных уравнений уравнение (3). Решить полученную систему уравнений эвристическим методом. Сделать вывод о влиянии уравнения (3) на моделируемую систему и итоговое значение pH.

№8. Пользуясь результатами задачи №6 исключить из системы нелинейных уравнений уравнение (3) и (5). Решить полученную систему уравнений эвристическим методом. Сделать вывод о влиянии уравнения (3) и (5) на моделируемую систему и итоговое значение pH.

№9. Пользуясь результатами задачи №6 исключить из системы нелинейных уравнений уравнение (1), (3), (5). Решить полученную систему уравнений эвристическим методом. Сделать вывод о влиянии уравнения (1) на моделируемую систему и итоговое значение pH.

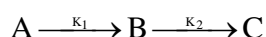
№13. Для необратимой реакции первого порядка:



Составить дифференциальное уравнение скорости изменения концентрации A. Решить полученное дифференциальное уравнение методом Эйлера, модифицированным методом Эйлера. Сделать вывод о точности каждого из методов в сравнении друг с другом. Для расчёта принять следующие значения неизвестных параметров:

$$C_A^0 = 0,7 \text{ моль/л}; k_1 = 0,001 \text{ 1/с}; h = 0,1 \text{ (шаг интегрирования)}.$$

№14. Для последовательной схемы необратимых химических реакций первого порядка: A



Составить систему дифференциальных уравнений и решить её с помощью метода Эйлера, модифицированного Эйлера, Сделать вывод о точности получаемого решения, сравнивая методы между собой. Для расчёта принять следующие значения неизвестных параметров:

$$C_A^0 = 0,5 \text{ моль/л}; C_B^0 = C_C^0 = 0 \text{ моль/л}; k_1 = 0,05 \text{ 1/с}; k_2 = 0,07 \text{ 1/с}; h = 0,1 \text{ (шаг интегрирования)}.$$

Вопросы по разделу «Экспериментальный подход»

№15. С надёжностью $P = 0,95$ обеспечить однородность представленных в таблице данных, исключив грубые ошибки.

к	1	2	3	4	5	6	7	8
$y_k, \%$	54	53	54	30	46	52	55	54
$\Delta y_k, \%$	4,2	3,2	4,2	-19,8	-3,8	2,2	5,2	4,2
$\Delta y_k^2, \%$	18	10	18	392	14	4,8	27	18

Решение данной задачи осуществить на основе двух методов: правила 2σ и критерия максимального отклонения g . Расчёты выполнить с использованием табличного процессора.

№16. С помощью анализа однородности средних. Дать заключение о возможности преимущества ($P = 0,95$) одного аппарата перед другим по производительности.

$y_k \backslash k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
y_{k1}	188	192	189	193	190	191	190	188	190	-	1711
y_{k2}	193	192	189	194	195	192	194	198	196	195	1933

Расчёты выполнить с использованием табличного процессора.

№17. Для проверки правильности вольтамперометрической (ВА) методики определения кадмия Cd использовали атомно-абсорбционную (АА) методику, не содержащую систематической погрешности. При анализе одного и того же объекта получены следующие результаты (нг / мл Cd):

ВА : 20,5; 22,4; 23,4; 20,8

АА: 23,5; 20,1; 19,9; 19,2; 19,0; 22,8

Содержит ли вольтамперометрическая методика систематическую погрешность?

Расчёты выполнить с использованием табличного процессора без использования специальной надстройки.

№18. Решить задачу №17 используя надстройку табличного процессора.

Вопросы по разделу «Оптимизция ХТП»

№19 Сформировать угольную шихту (смесь различных марок угля) минимальной себестоимости, которая будет удовлетворять заданным технологическим требованиям.

Исходные данные: Виды угля (марки): Уголь А, Уголь Б, Уголь В.

Известны необходимые параметры каждого угля (марки): Стоимость (руб./т) и ключевые технологические показатели (зольность `Ad`, содержание серы `Sd`, выход летучих веществ `Vdaf`, теплота сгорания `Q` и т.д.).

Требования к шихте (ограничения). Например:

- * Зольность итоговой шихты `Ad_шихта` ≤ 25% (или в заданном диапазоне).
- * Сера `Sd_шихта` ≤ 1.8%.
- * Выход летучих `Vdaf_шихта` = 24-27%.
- * И другие параметры в зависимости от задачи.

№ 20. По данным работы [Кокс и химия. 1978. № 8. С.12–14] на основе ПФЭ 2^4 рассчитать значения коэффициентов линейной модели для прогнозирования показателей качества кокса M_{25} и M_{10} , сравнить их с предложенными в самой научной статье.

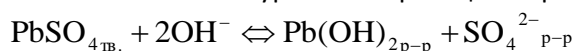
Указание к выполнению задания: на листе ТП в информативном виде создать таблицу планирования эксперимента ПФЭ 2⁴, ввести средние значения показателей качества кокса M₂₅ и M₁₀ и рассчитать коэффициенты линейной модели.

Содержание практического раздела дисциплины

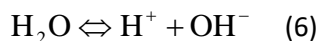
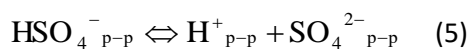
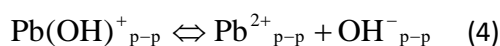
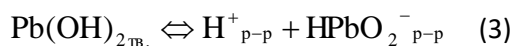
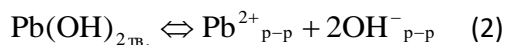
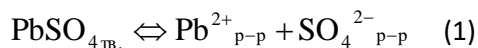
- 1) Алгоритм решения нелинейного уравнения методом хорд;
- 2) Алгоритм решения нелинейного уравнения методом Ньютона;
- 3) Алгоритм решения нелинейного уравнения методом деления отрезка по-полам.
- 4) Алгоритм решения дифференциальных уравнений методом Эйлера.
- 5) Алгоритм решения дифференциальных уравнений модифицированным методом Эйлера.
- 6) Решение систем дифференциальных уравнений методом Эйлера, модифицированным методом Эйлера, Рунге-Куты.
- 7) Использование встроенной надстройки табличного процессора для решения задач математического программирования.

Примеры расчетных заданий:

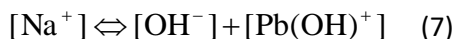
1. Основное уравнение реакции перехода PbSO₄ в Pb(OH)₂:



Реакции установившегося равновесия:



Уравнение материального баланса:



Уравнение электронейтральности:



Уравнения (1) – (8) составляют систему уравнений. Сведём систему уравнений (1) – (8) к многочлену, перед этим выразим концентрации всех рассматриваемых в системе ионов через концентрацию [H⁺]:

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}^+]} \quad (9)$$

$$[\text{Pb}^{2+}] = \frac{K_2}{[\text{OH}^-]^2} = \frac{K_2 * [\text{H}^+]^2}{K_w^2} \quad (10)$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = \frac{K_1}{[\text{Pb}^{2+}]} = \frac{K_1 * K_w^2}{K_2 * [\text{H}^+]^2} \quad (11)$$

$$[\text{HPbO}_2^-] = \frac{K_3}{[\text{H}^+]} \quad (12)$$

$$[\text{Pb}(\text{OH})^+] = \frac{[\text{Pb}^{2+}] * [\text{OH}^-]}{K_4} = \frac{K_2 * [\text{H}^+]^2}{K_w^2} * \frac{K_w}{[\text{H}^+]} * \frac{1}{K_4} = \frac{K_2 * [\text{H}^+]}{K_4 * K_w} \quad (13)$$

$$[\text{HSO}_4^-] = \frac{[\text{H}^+] * [\text{SO}_4^{2-}]}{K_5} = \frac{[\text{H}^+]}{K_5} * \frac{K_1 * K_w^2}{K_2 * [\text{H}^+]^2} = \frac{K_1 * K_w^2}{K_2 * K_5 * [\text{H}^+]} \quad (14)$$

$$[\text{Na}^+] = \frac{K_w}{[\text{H}^+]} + \frac{K_2 * [\text{H}^+]}{K_4 * K_w} = \frac{K_4 * K_w^2 + K_2 * [\text{H}^+]^2}{K_4 * K_w * [\text{H}^+]} \quad (15)$$

Построить графики функций $y = f(x_1)$, $y = f(x_2)$. Найти линейные приближения и коэффициент корреляции для данных зависимостей, используя встроенные возможности MS Excel. Сделать вывод о «тесноте связи» между независимыми переменными x_1 , x_2 и зависимой y .

№ варианта	Зависимая (y) и независимые переменные (x1, x2)	Числовые значения переменных									
2	y	79,31	57,43	60,66	92,55	90,12	71,3	70,5	91,52	68,31	58,56
	x1	4,22	2,9	1,68	3,34	4,21	2,89	4,15	3,41	3,37	4,41
	x2	6,43	6,1	2,55	7,33	6,72	4,86	5,64	3,87	3,27	4,02

Решение

Построим графики функций $y = f(x_1)$ и $y = f(x_2)$ и найдем их линейное приближение.

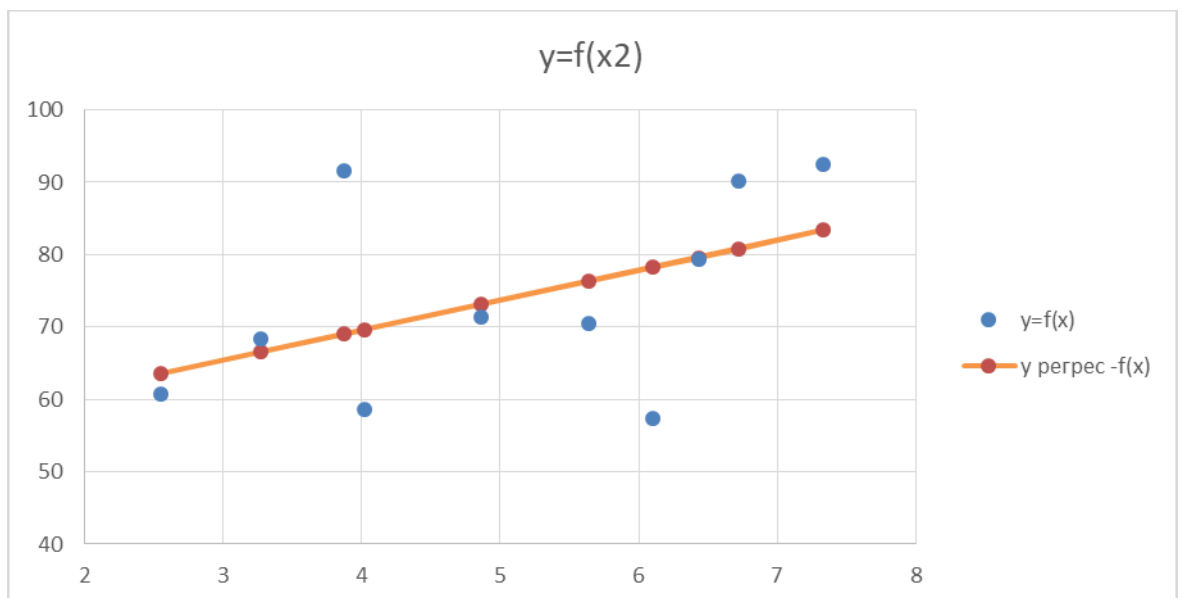
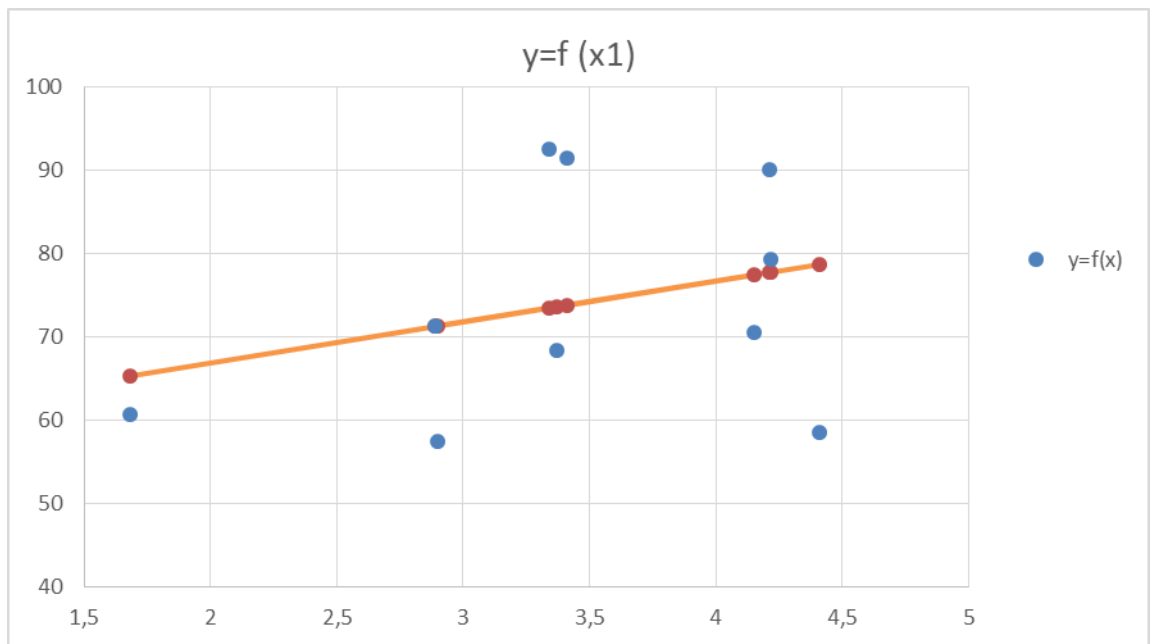


Рисунок 2 - Графики функций $y = f(x_1)$ и $y = f(x_2)$.

При помощи статической формулы посчитаем коэффициент корреляции для каждого графика.

Для зависимости $y = f(x_1)$ $K_{кор.}$ составил 0,30011,

для $y = f(x_2)$ составил 0,487

Охарактеризовать силу корреляционной связи можно, прибегнув к шкале Челдока (табл.6), в которой определенному числовому значению соответствует качественная характеристика.

Шкала Челдока

Коэффициент корреляции $ r $	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-0,99	1,0
Характеристика связи	Слабая	Умеренная	Заметная	Тесная	Очень тесная	Функциональная

Соотнеся вышеприведенные результаты вычисления коэффициентов корреляции, приходим к выводу, что «теснота связи» в функции $y = f(x_1)$ между независимой переменной x_1 и зависимой y очень слабая ($K_{кор.} = 0,30011$), а в функции $y = f(x_2)$ – умеренная корреляция между независимой переменной x_2 и зависимой y ($K_{кор.} = 0,487$).

2. Идентифицировать количество корней и вычислить их с точностью до 10^{-3} , используя:

- 1) графический метод;
- 2) метод половинного деления;
- 3) метод Ньютона;
- 4) метод хорд.

Сделать вывод о скорости сходимости данных алгоритмов относительно друг друга (на основе количества итераций в каждом методе).

1) Графический метод

Построим график, используя данные уравнения

$4 \cdot x^2 - 5 = 4$	
x	y
-5	91
-4	55
-3	27
-2	7
-1	-5
0	-9
1	-5
2	7
3	27

4	55
5	91

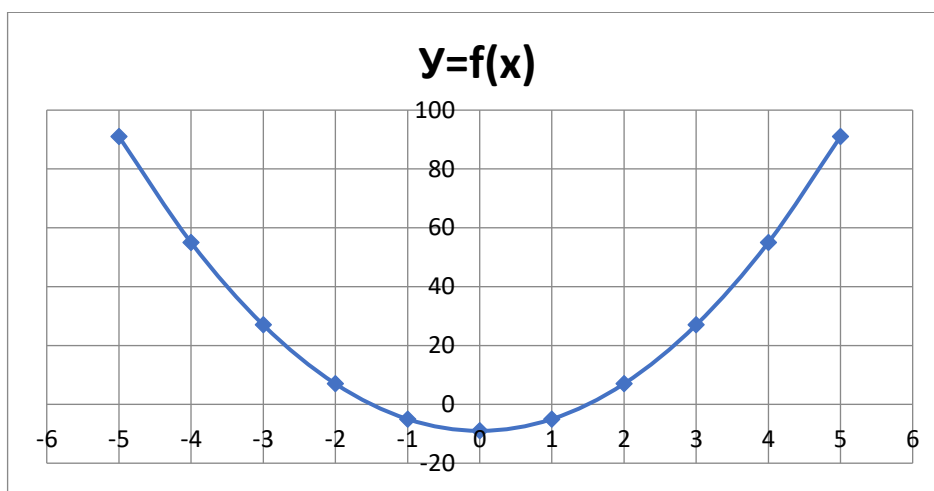


Рис. 1. Зависимость $f(x) = 4x^2 - 5 = 4$ на отрезке $[-5; 5]$.

Считая, что корнями уравнения является количество пересечений графика с осью $O-X$, вычисляем, что их количество на отрезке $[-5; 5]$ равно 2. Приближенные значения корней сводим в таблице №1.

Таблица 1

Результаты графического метода исследования

Корни уравнения	Значение функции
1,5	0
-1,5	0

2) Метод половинного деления

Используя для расчетов MS Excel, получаем данные, которые сведем в таблице №2.

Таблица №2

Результаты половинного метода исследования

Итерация	a	b	$c=(a+b)/2$	f(a)	f©	f(a)*f©	Точность
1	-2	0	-1	7	-5	-35	2
2	-2	-1	-1,5	7	0	0	1
3	-2	-1,5	-1,75	7	3,25	22,75	0,5
4	-1,75	-1,5	-1,625	3,25	1,5625	5,078125	0,25
5	-1,625	-1,5	-1,5625	1,5625	0,765625	1,196289	0,125
6	-1,5625	-1,5	-1,53125	0,765625	0,378906	0,2901	0,0625
7	-1,53125	-1,5	-1,51563	0,378906	0,188477	0,071415	0,03125
8	-1,51563	-1,5	-1,50781	0,188477	0,093994	0,017716	0,015625
9	-1,50781	-1,5	-1,50391	0,093994	0,046936	0,004412	0,007813
10	-1,50391	-1,5	-1,50195	0,046936	0,023453	0,001101	0,003906
11	-1,50195	-1,5	-1,50098	0,023453	0,011723	0,000275	0,001953

12	-1,50098	-1,5	-1,50049	0,011723	0,00586	6,87E-05	0,000977
----	----------	------	----------	----------	---------	----------	----------

Искомые корни x^* и значение $f(x^*)$	
x^*	$f(x^*)$
-1,50049	0,00586
Решение найдено за 12 итераций (n_i)	

Перечень вопросов к экзамену

Общие вопросы моделирования:

1. Общее представление о модели. Математические модели: определение, достоинства и недостатки, по сравнению с другими формами представления модели. Понятие «моделирование». Классификация математических моделей;

2. Сущность аналитического подхода к математическому моделированию. Моделирование ХТП при аналитическом подходе;

3. Сущность экспериментального подхода к математическому моделированию;

4. Сущность комбинированного подхода к математическому моделированию;

5. Триединство при описании объекта моделирования. Требования к каждой из составной части при описании объекта;

6. Основные этапы моделирования (с поясняющими примерами).

Аналитический подход к созданию математических моделей:

7. Уравнение изотермы химической реакции при различном способе выражения концентрации. Выражение уравнения изотермы химической реакции в стандартных условиях. Связь между константами равновесия в зависимости от способа описания состава реакционной смеси. Соотношения для констант равновесия K_N , K_m , K_c в идеальном растворе;

8. Метод Тёмкина-Шварцмана расчёта констант равновесия химической реакции. Понятие о линейной зависимости и независимости уравнений химических реакций. Основные способы определения линейно независимых уравнений химических реакций;

9. Возможности моделирования при термодинамическом подходе к определению равновесных значений участвующих в химических реакциях веществ. Основные достоинства и недостатки при термодинамическом подходе.

10. Основные понятия и определения формальной кинетики: скорость химической реакции, способы её выражения, молекулярность реакции, порядок реакции, частный порядок реакции, постулат химической кинетики (уравнение Гульдберга и Вааге), константа скорости химической реакции (правило Вант-Гоффа, уравнение Аррениуса);

11. Общее уравнение динамики и скорости химической реакции, протекающей в потоке в режиме идеального вытеснения. Необратимая реакция первого и второго порядков, протекающих в потоке в режиме идеального вытеснения.

12. Обратимая реакция первого и второго порядков, протекающих в потоке в режиме идеального вытеснения. Последовательная реакция первого порядка, протекающая в потоке в режиме идеального вытеснения.

13. Кинетика гомогенных реакций, протекающих в режиме идеального перемешивания.

Экспериментальный подход к созданию математических моделей:

14. Статистические методы анализа экспериментальных данных: оценка истинного значения измеряемой величины и её дисперсии; определение грубых ошибок; средневзвешенные оценки дисперсии; анализ однородности исходных оценок дисперсии.

15. Определение доверительной ошибки экспериментальной оценки измеряемого параметра. Определение числа повторностей опыта, обеспечивающего получение заданной доверительной ошибки оценки определяемого параметра. Проверка нормальности закона распределения.

16. Метод наименьших квадратов. Сущность планирования эксперимента в сравнении с непосредственным применением метода наименьших квадратов. Симметричный и равномерный план однофакторного эксперимента. Проверка адекватности полученного уравнения и его использование для оптимизации процесса. Получение экспоненциальной зависимости по результатам однофакторных экспериментов.

17. Симплекс метод

18. Метод наименьших квадратов при обработке результатов многофакторного эксперимента. Двухуровневый план полного факторного эксперимента ПФЭ^{2ⁿ}. Уравнения, получаемые по результатам реализации планов ПФЭ^{2ⁿ}. Статистический анализ значимости оценок коэффициентов уравнения, его адекватности и работоспособности.

19. Дробный факторный эксперимент ДФЭ^{2ⁿ⁻¹}. Планирование эксперимента при изменяющемся во времени влиянии на процесс неучтённых факторов. Использование планов ПФЭ^{2ⁿ} ДФЭ^{2ⁿ⁻¹} для получения уравнения процесса в виде экспоненциальной зависимости.

20. Многоуровневые многофакторные планы, использующие свойства латинских квадратов. Построение планов. Получение и использование для оптимизации уравнений различной структуры.

21. Применение методов приближённых вычислений при обработке результатов экспериментов. Оценки точности измерений и приближённых вычислений. Оценка точности окончательного результата. Практическое вычисление ошибок.

Численные методы решения задач, возникающих при моделировании:

22. Решение нелинейного уравнения методом деления отрезка пополам;

23. Решение нелинейного уравнения методом Ньютона;

24. Решение нелинейного уравнения методом хорд;

25. Решение дифференциального уравнения методом Эйлера. Модифицированный метод Эйлера. Адаптация метода Эйлера на случай систем дифференциальных уравнений. Особенности решения систем дифференциальных уравнений при моделировании ХТП;

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:**

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ОПК-2:	Способен использовать математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности	

ОПК-2.1:	Использует математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности	<ol style="list-style-type: none">1. Общее представление о модели. Математические модели: определение, достоинства и недостатки, по сравнению с другими формами представления модели. Понятие «моделирование». Классификация математических моделей;2. Основные понятия и определения формальной кинетики: скорость химической реакции, способы её выражения, молекулярность реакции, порядок реакции, частный порядок реакции, постулат химической кинетики (уравнение Гульдберга и Вааге), константа скорости химической реакции (правило Вант-Гоффа, уравнение Аррениуса);3. Метод наименьших квадратов. Планирования эксперимента в сравнении с непосредственным применением метода наименьших квадратов. Симплекс метод.
----------	---	---

ОПК-2.2:	Выбирает математические, физические, физико-химические, химические методы для решения задач профессиональной деятельности	<p>Рассчитать ионно-молекулярный состав в присутствии KCN, растворённого в количестве $C=10^{-5}$ моль / л. Задаться значениями pH в интервале 0-14 и численно рассчитать ионно-молекулярный состав данной системы. Результаты представить графически в информативном виде (использовать логарифмическую шкалу выходного параметра). Все расчёты произвести в табличном процессоре.</p> <p>Решение дифференциального уравнения методом Эйлера. Модифицированный метод Эйлера. Адаптация метода Эйлера на случай систем дифференциальных уравнений. Особенности решения систем дифференциальных уравнений при моделировании ХТП;</p>
ОПК-5: Способен осуществлять экспериментальные исследования и испытания по заданной методике, проводить наблюдения и измерения с учетом требований техники безопасности, обрабатывать и интерпретировать экспериментальные данные		

ОПК 5.1:	Выбирает и применяет методы и средства измерения для определения свойств материалов и готовой продукции	<p>Особенности решения систем дифференциальных уравнений при моделировании ХТП</p> <p>Для необратимой реакции первого порядка:</p> $A \xrightarrow{k_1} B$ <p>Составить дифференциальное уравнение скорости изменения концентрации А. Решить полученное дифференциальное уравнение методом Эйлера, модифицированным методом Эйлера. Сделать вывод о точности каждого из методов в сравнении друг с другом.:</p> <p>$C_A^0 = 0,7$ моль/л; $k_1 = 0,001$ 1/с; $h = 0,1$ (шаг интегрирования).</p>
----------	---	--

ОПК 5.2:	Проводит экспериментальные исследования и использует основные приёмы обработки и представления полученных данных	<p>По данным работы [Кокс и химия. 1978. № 8. С.12–14] на основе ПФЭ 2^4 рассчитать значения коэффициентов линейной модели для прогнозирования показателей качества кокса M_{25} и M_{10}, сравнить их с предложенными в самой научной статье.</p> <p>При каком значении рН достигается практически полное осаждение MnS ($IP_{MnS} = 2.5 \cdot 10^{-10}$), содержащегося в растворе в количестве 0,005 моль, при употреблении 50 % избытка осадителя. Расчёт произвести на 1 л исследуемого раствора. Все численные расчёты произвести в табличном процессоре, аналитические записи предоставить в бумажном виде. Из каких соображений находится концентрация марганца $[Mn^{2+}]$, и между какими химическими формами осуществляется материальный баланс по сере избыточной концентрации осадителя?</p>
----------	--	---

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Планирование эксперимента моделирование химико-технологических процессов» научных включает теоретические вопросы, коллоквиум с перечнем вопросов, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

Показатели и критерии оценивания зачета:

– оценку «**зачтено**» студент получает, если может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, интеллектуальные навыки решения простых задач, может дать оценку предложенной ситуации.

– оценку «**не зачтено**» студент получает, если не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач, дать оценку предложенной ситуации