

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

Методические указания к самостоятельной работе студентов

По дисциплине: Б.1.В.03 ДВ.04.02 Моделирование химических процессов
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 04.03.01 Химия
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки бакалавр
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра - разработчик: химии и строительного материаловедения
название кафедры - разработчика рабочей программы

Разработчик(и) А.В. Соловьев, доцент, к.т.н.
ФИО, должность, ученая степень, (звание)

Апатиты

2019

Пояснительная записка

1. Методические указания составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 17 июля 2017 года, № 671, учебного плана в составе ОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, профилю «Неорганическая химия и химия координационных соединений».

2. Цели и задачи учебной дисциплины (модуля). «Моделирование химических процессов»

Целью дисциплины (модуля) «Моделирование химических процессов» является подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра и рабочим учебным планом направления 04.03.01 Химия, что предполагает освоение обучающимися теоретических знаний в области химической технологии, раскрытие взаимосвязи между химией, технологией и аппаратурным оформлением технологического процесса, формирование навыков создания аппаратурно-технологических схем.

Задачи дисциплины (модуля):

- изучение проблем и закономерностей перехода от лабораторных процессов и моделей к промышленным процессам и аппаратам;
- формирование практических навыков решения конкретных технических задач и умения проектировать типовые технологические схемы химико-технологических процессов.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине «Моделирование химических процессов»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия:

ПК-2-т - Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции

ПК-3-т - Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-конструкторские работы и технологические испытания

Результаты формирования компетенций и планируемые результаты обучения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1.	ПК-2-т - Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	Знать: 1. Операционное исчисление. 2. Российскую систему патентной информации. 3. Зарубежные базы данных и поисковые системы. Уметь: 1. Создавать 2D, 3D и полярные графики.

	назначения, проводить паспортизацию товарной продукции		<p>2. Пользоваться греческим алфавитом как в уравнениях, так и в тексте.</p> <p>Владеть: Инженерными приложениями и инструментами моделирования такими, как Pro/ENGINEER, Excel.</p> <p>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части: ПК-2-т-1. Выполняет стандартные операции на высокотехнологическом оборудовании для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции химического производства ПК-2-т-2. Составляет протоколы испытаний, паспорта химической продукции, отчеты о выполненной работе по заданной форме</p>
3.	ПК-3-т - Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-конструкторские работы и технологические испытания	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	<p>Знать: - Mathcad и Autocad,</p> <p>Уметь: - работать с КОМПАС-3D и <u>AutoCAD</u></p> <p>Владеть: - навыками научно-конструкторские работы.</p> <p>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части: ПК-3-т-1. Владеет навыками поиска необходимой информации в профессиональных базах данных (в т.ч., патентных) ПК-3-т-2. Составляет обзор литературных источников по заданной теме, оформляет отчеты о выполненной работе по заданной форме</p>

Таблица 2 - Тематический план

№ раздела	Содержание самостоятельной работы	Количество часов
1	2	3
1	1. Введение	
2	1.1. Основные принципы моделирования химических процессов.	1

3	1.2. Иерархическая структура химических производств и их математических моделей.	1
4	2. Построение эмпирических моделей	
5	2.1. Формулировка задачи аппроксимации для описания экспериментальных зависимостей и получения эмпирических моделей процессов.	1
6	2.2. Нормальный закон распределения для векторных случайных величин и определение их числовых характеристик.	1
7	2.3. Линейный регрессионный анализ для построения эмпирических моделей на основе данных пассивного эксперимента.	2
8	2.4. Основные положения теории планирования экспериментов: полный факторный эксперимент (ПФЭ) и обработка его результатов.	2
9	2.5. Активный эксперимент в почти стационарной области в окрестности экстремума функции отклика.	2
10	3. Математическое моделирование химико-технологических процессов.	
11	3.1. Этапы математического моделирования.	3
12	3.2. Разработка математического описания процессов.	1
13	3.3. Математическое моделирование простых гидравлических систем.	1
14	3.4. Математическое моделирование теплообменников с мешалкой и змеевиковых теплообменников в стационарном состоянии.	2
15	3.5. Математическое моделирование прямоточных и противоточных трубчатых теплообменников.	1
16	3.6. Математическое моделирование стационарных процессов в реакторах с мешалкой с помощью систем конечных уравнений.	2
17	3.7. Математическое моделирование нестационарных процессов в реакторах с мешалкой с помощью систем обыкновенных дифференциальных уравнений.	1
18	3.8. Явные методы численного (приближенного) решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений различных порядков.	1
19	3.9. неявные методы численного (приближенного) решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.	2

20	3.10. Математическое моделирование трубчатого реактора в стационарном состоянии с прямоточным движением теплоносителя и с «ясной кинетической схемой реакции».	2
21	3.11. Математическое моделирование трубчатого реактора в стационарном состоянии с противоточным движением теплоносителя и сложной кинетической схемой реакции.	2
22	3.12. Математическое моделирование нестационарных процессов с распределенными параметрами в трубчатых реакторах с помощью дифференциальных уравнений в частных производных.	1
23	3.13. Математическое моделирование процесса многокомпонентной массопередачи в ректификационных колоннах тарельчатого и насадочного типов.	1
24	3.14. Оптимизация химико-технологических процессов.	3
	Итого:	33

Список рекомендуемой литературы

№ п/п	Название учебников, учебных пособий и других источников	Авторы (под ред.)	Издательство	Год издания
1	2	3	4	5
Основная:				
1.	Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html?SSr=010134171b106b0b2512518	Закгейм А.Ю.	М.: Логос	2017
2.	Математическое моделирование химико-технологических процессов https://e.lanbook.com/book/41014	Гумеров Ас.М.,	Издательство "Лань"	2014
Дополнительная:				
1.	Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN592210120.html?SSr=010134171b106b0b2512518	Самарский А.А.	М. : ФИЗМАТЛИТ	2005

2.	Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. Книга 1: учебник https://e.lanbook.com/book/111193	Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Захаренко В.В., Зиновкина Т.В., Таран А.Л., Костанян А.Е.	Издательство "Лань"	2019
3.	Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. Книга 2: учебник https://e.lanbook.com/book/111194	Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Захаренко В.В., Зиновкина Т.В., Таран А.Л., Костанян А.Е.	Издательство "Лань"	2019
4.	Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : Учеб. пособие для вузов http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081826.html?SSr=010134171b106b0b2512518	Романков П.Г.	СПб. : ХИМИЗДАТ	2010

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Введение.

Основные принципы моделирования химических процессов. Иерархическая структура химических производств и их математических моделей.

Вопросы для самоконтроля знаний:

1. Моделирование и модели. Внешние связи системы. Классификация входов системы.
2. Эмпирические модели. Точность моделей.
3. Стационарные и нестационарные процессы. Проектные и поверочные расчеты.
4. Особенности активного эксперимента и оптимизация экспериментов.
5. Доверительная вероятность и уровень значимости. Последовательные этапы при построении физико-химических и эмпирических моделей.
6. Прямая и обратная задачи при компьютерном моделировании на примере построения математической модели теплообменника.
7. Пассивный лабораторный эксперимент и пассивный промышленный эксперимент.

Рекомендуемая литература: основная- [1-2], дополнительная - [4].

2. Построение эмпирических моделей.

Формулировка задачи аппроксимации для описания экспериментальных зависимостей и получения эмпирических моделей процессов. Нормальный закон распределения для векторных случайных величин и определение их числовых характеристик. Линейный регрессионный анализ для построения эмпирических моделей на основе данных пассивного эксперимента. Основные положения теории планирования экспериментов: полный факторный эксперимент (ПФЭ) и обработка его результатов. Активный эксперимент в почти стационарной области в окрестности экстремума функции отклика.

Вопросы для самоконтроля знаний:

1. Определение коэффициентов линейных регрессионных моделей при обработке результатов пассивного эксперимента.
2. Проверка адекватности регрессионной модели с использованием критерия Фишера. Определение дисперсий воспроизводимости и адекватности, а также их чисел степеней свободы.
3. Определение числовых характеристик случайных величин вектора наблюдений (выходных) зависимых переменных Y , построение матрицы дисперсий-ковариаций вектора наблюдений. Допущения, принимаемые при регрессионном анализе.
4. Определение числовых характеристик коэффициентов регрессии для линейных моделей (для коэффициентов a). Построение матрицы дисперсий-ковариаций для коэффициентов a .
5. Вывод формул для определения ковариаций (корреляционных моментов) для линейных и линеаризованных регрессионных моделей при обработке результатов пассивных и активных экспериментов.
6. Вывод матричной формулы для определения коэффициентов линейных и линеаризованных регрессионных моделей при обработке результатов пассивных и активных экспериментов. Чем отличается применение выведенной формулы для линейных и линеаризованных моделей: привести примеры для линейной и линеаризованной модели?
7. Нормальное распределение вектора наблюдений выходной (зависимой) переменной процесса при обработке результатов пассивных и активных экспериментов.
8. Оценки дисперсий – остаточной, воспроизводимости и адекватности при обработке результатов пассивных экспериментов при различном числе параллельных опытов. Коэффициент корреляции и его оценка для двух случайных величин. Графическое представление поля корреляции.

Рекомендуемая литература: основная [2], дополнительная [1-4].

3. Математическое моделирование химико-технологических процессов.

Этапы математического моделирования. Разработка математического описания процессов. Математическое моделирование простых гидравлических систем.

Математическое моделирование теплообменников с мешалкой и змеевиковых теплообменников в стационарном состоянии. Математическое моделирование прямоточных и противоточных трубчатых теплообменников.

Математическое моделирование стационарных процессов в реакторах с мешалкой с помощью систем конечных уравнений.

Математическое моделирование нестационарных процессов в реакторах с мешалкой с помощью систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Явные методы численного (приближенного) решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений различных порядков. неявные методы численного (приближенного) решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Математическое моделирование трубчатого реактора в стационарном состоянии с прямоточным движением теплоносителя и с «ясной кинетической схемой реакции».

Математическое моделирование трубчатого реактора в стационарном состоянии с противоточным движением теплоносителя и сложной кинетической схемой реакции.

Математическое моделирование нестационарных процессов с распределенными параметрами в трубчатых реакторах с помощью дифференциальных уравнений в частных производных.

Математическое моделирование процесса многокомпонентной массопередачи в ректификационных колоннах тарельчатого и насадочного типов.

Оптимизация химико-технологических процессов

Вопросы для самоконтроля знаний:

1. Определение числовых характеристик случайных величин вектора наблюдений (выходных) зависимых переменных Y , построение матрицы дисперсий-ковариаций вектора наблюдений. Допущения, принимаемые при регрессионном анализе.
2. Определение числовых характеристик коэффициентов регрессии для линейных моделей (для коэффициентов a).
3. Нормальное распределение вектора наблюдений выходной (зависимой) переменной процесса при обработке результатов пассивных и активных экспериментов.
4. Числовые характеристики нормально-распределенных случайных величин: математическое ожидание, дисперсия и среднеквадратичное отклонение (стандарт). Теоретическое и эмпирическое уравнения регрессии.
5. Оценки дисперсий – остаточной, воспроизводимости и адекватности при обработке результатов пассивных экспериментов при различном числе параллельных опытов.
6. Коэффициент корреляции и его оценка для двух случайных величин. Графическое представление поля корреляции.
7. Особенности активного эксперимента и оптимизация экспериментов. Отличие активного эксперимента от пассивного эксперимента.

8. Определение значимости коэффициентов регрессии при обработке результатов ПФЭ с применением t-распределения Стьюдента и процедура исключения незначимых коэффициентов.
9. Оптимальные свойства матрицы планирования при проведении экспериментов ОЦКП и за счет чего можно обеспечить свойство ортогональности матрицы планирования в этом случае?
10. Вывод формул для определения дисперсий и ковариаций для моделей при обработке результатов ортогонального центрального композиционного плана эксперимента – ОЦКП.
11. Экспериментально-статистический метод Бокса-Вильсона для оптимизации экспериментов. Блок-схема алгоритма метода Бокса-Вильсона. Определение оптимального значения функции отклика и условие завершения экспериментов.
12. Вывести матричную формулу для определения коэффициентов регрессии A , E для уравнения Аррениуса, связывающего константу скорости реакции (k) с температурой (T).

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Программой дисциплины предполагается проведение двух контрольных работ. Студентам предлагается ответить на следующие вопросы:

Контрольная работа №1

- Построение математических моделей стационарных режимов работы аппаратов:
- построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном реакторе с мешалкой и внешней рубашкой (движение потока теплоносителя в рубашке может быть представлено моделью идеального смешения) и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $2A \rightarrow B$, $3A \rightarrow D$;
 - построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном адиабатическом реакторе идеального смешения и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $A \leftrightarrow 2B$, $B \leftrightarrow C$.

Контрольная работа №2

Построение математических моделей нестационарных процессов с распределенными параметрами в трубчатых реакторах

- Построить математическое описание нестационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном политропическом реакторе идеального смешения и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $A+B \rightarrow C, A+C \rightarrow D$;
- построить математическое описание нестационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном политропическом реакторе идеального смешения и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $A+B \leftrightarrow C+2D$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Итоговый уровень знаний студентов, приобретенный студентами при изучении дисциплины «Моделирование химических процессов», проверяется на зачете.

Для проверки теоретической подготовки студентов по дисциплине на зачет выносятся следующие вопросы:

1. Определение коэффициентов линейных регрессионных моделей при обработке результатов пассивного эксперимента. Вывод матричных формул для определения коэффициентов регрессии.
2. Проверка адекватности регрессионной модели с использованием критерия Фишера. Определение дисперсий воспроизводимости и адекватности, а также их чисел степеней свободы.
3. Доверительная вероятность и уровень значимости. Последовательные этапы при построении физико-химических и эмпирических моделей.
4. Прямая и обратная задачи при компьютерном моделировании на примере построения математической модели теплообменника. Пассивный лабораторный эксперимент и пассивный промышленный эксперимент.
5. Определение числовых характеристик случайных величин вектора наблюдений (выходных) зависимых переменных Y , построение матрицы дисперсий-ковариаций вектора наблюдений. Допущения, принимаемые при регрессионном анализе.
6. Определение числовых характеристик коэффициентов регрессии для линейных моделей (для коэффициентов a). Построение матрицы дисперсий-ковариаций для коэффициентов a . Вывод формул для определения ковариаций (корреляционных моментов) для линейных и линеаризованных регрессионных моделей при обработке результатов пассивных и активных экспериментов.
7. Вывод матричной формулы для определения коэффициентов линейных и линеаризованных регрессионных моделей при обработке результатов пассивных и активных экспериментов. Чем отличается применение выведенной формулы для линейных и линеаризованных моделей: привести примеры для линейной и линеаризованной модели?

8. Нормальное распределение вектора наблюдений выходной (зависимой) переменной процесса при обработке результатов пассивных и активных экспериментов. Числовые характеристики нормально-распределенных случайных величин: математическое ожидание, дисперсия и среднеквадратичное отклонение (стандарт). Теоретическое и эмпирическое уравнения регрессии.
9. Оценки дисперсий – остаточной, воспроизводимости и адекватности при обработке результатов пассивных экспериментов при различном числе параллельных опытов. Коэффициент корреляции и его оценка для двух случайных величин. Графическое представление поля корреляции.
10. Определение значимости коэффициентов регрессии при обработке результатов пассивных экспериментов с применением t-распределения Стьюдента и процедура исключения незначимых коэффициентов. Понятие адекватности регрессионных моделей – качественное и количественное. Критерии количественной оценки адекватности моделей, в том числе с применением F-распределения Фишера.
11. Особенности активного эксперимента и оптимизация экспериментов. Отличие активного эксперимента от пассивного эксперимента. Понятия функции отклика и факторов Полный факторный эксперимент (ПФЭ), формулы кодирования факторов и графическое представление опытов в факторном пространстве. Уравнения регрессии для 2-х и 3-х факторов с двойным (бинарным) взаимодействием факторов. Построить матрицу планирования экспериментов для 2-х и 3-х факторов. Оптимальные свойства матрицы планирования ПФЭ – симметричности, ортогональности и нормировки. Вывод формул для определения коэффициентов регрессионных моделей при обработке результатов полного факторного эксперимента – ПФЭ типа 2^m (m – число факторов).
12. Определение значимости коэффициентов регрессии при обработке результатов ПФЭ с применением t-распределения Стьюдента и процедура исключения незначимых коэффициентов. Понятие адекватности регрессионных моделей – количественная оценка адекватности моделей с применением F-распределения Фишера.
13. Свойство ротатабельности моделей, полученных в результате обработки результатов ПФЭ типа 2^m (m – число факторов), и определение направления градиента в факторном пространстве, с учетом которого следует выбирать новую область для проведения серии опытов ПФЭ. Статистический критерий близости оптимального значения функции отклика.
14. Понятие «почти стационарной области» в факторном пространстве. Уравнение регрессии, описывающей эту область для двух факторов с учетом взаимодействия факторов. Общее число опытов для определения

коэффициентов этого уравнения. Опыты в звездных точках факторного пространства и в центре плана. Построить ортогональный центральный композиционный план эксперимента – ОЦКП и дать графическую интерпретацию расположения опытов в факторном пространстве. Приведите формулы кодирования факторов. Оптимальные свойства матрицы планирования при проведении экспериментов ОЦКП и за счет чего можно обеспечить свойство ортогональности матрицы планирования в этом случае?

15. Вывод формул для определения величины звездного плеча и коэффициента S , обеспечивающих ортогональность матрицы планирования при обработке результатов ортогонального центрального композиционного плана эксперимента – ОЦКП.
16. Вывод формул для определения дисперсий и ковариаций для моделей при обработке результатов ортогонального центрального композиционного плана эксперимента – ОЦКП.
17. Вывод формул для определения коэффициентов регрессионных моделей с бинарным взаимодействием факторов при обработке результатов ОЦКП. Постройте соответствующую матрицу планирования ОЦКП эксперимента для 2 факторов. Как определяется экстремум функции отклика в этом случае?
18. Оценка незначимости коэффициентов регрессии при обработке результатов ортогонального центрального композиционного плана эксперимента – ОЦКП. Как исключаются один и несколько незначимых коэффициентов регрессии при обработке результатов активного эксперимента? По результатам каких экспериментов определяются дисперсии адекватности и воспроизводимости для определения адекватности модели в этом случае?
19. Экспериментально-статистический метод Бокса-Вильсона для оптимизации экспериментов. Блок-схема алгоритма метода Бокса-Вильсона. Определение оптимального значения функции отклика и условие завершения экспериментов.
20. Вывести матричную формулу для определения коэффициентов регрессии k , a , b , c для уравнения, связывающего абсолютную вязкость (η) с плотностью (ρ) и температурой (T) с помощью функции: $3 k \exp(a b c) T T h = r + +$ Построить таблицу пассивного эксперимента. При обработке результатов пассивного эксперимента линейаризовать регрессионную модель и реализовать аналитический и алгоритмический подходы для получения решения.
21. Вывести матричную формулу для определения коэффициентов регрессии A , E для уравнения Аррениуса, связывающего константу скорости реакции (k) с температурой (T) с помощью функции: Построить таблицу пассивного эксперимента. При обработке результатов пассивного эксперимента линейаризовать регрессионную модель, и реализовать аналитический и алгоритмический подходы для получения решения.

22. Вывести матричную формулу для определения коэффициентов регрессии (α_1 , β_1 , β_2) для уравнения, связывающего выходную переменную (y) с факторами (x_1 и x_2) с помощью функции. Построить таблицу пассивного эксперимента. При обработке результатов пассивного эксперимента линеаризовать регрессионную модель, и реализовать аналитический и алгоритмический подходы для получения решения.
23. Вывести матричную формулу для определения коэффициентов регрессии (α , β_1 , β_2) для уравнения, связывающего выходную переменную (y) с факторами (x_1 и x_2) с помощью функции. Построить таблицу пассивного эксперимента. При обработке результатов пассивного эксперимента линеаризовать регрессионную модель, и реализовать аналитический и алгоритмический подходы для получения решения.
24. Вывести матричную формулу для определения коэффициентов регрессии (β_1 , β_2) для уравнения, связывающего выходную переменную (y) с фактором (x) с помощью функции. Построить таблицу пассивного эксперимента. При обработке результатов пассивного эксперимента линеаризовать регрессионную модель, и реализовать аналитический и алгоритмический подходы для получения решения.
25. Вывести матричную формулу для определения коэффициентов регрессии A и B в уравнении Киреева, связывающего давление насыщенного пара индивидуального вещества (P) с температурой (T) с помощью функции: $P = A + B \cdot T$. Построить таблицу пассивного эксперимента. При обработке результатов пассивного эксперимента линеаризовать регрессионную модель, и реализовать аналитический и алгоритмический подходы для получения решения.
26. Вывести матричную формулу для определения коэффициентов регрессии A , B и C в уравнении Антуана, связывающего давление насыщенного пара индивидуального вещества (P) с температурой (T) с помощью функции $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T$. Построить таблицу пассивного эксперимента. При обработке результатов пассивного эксперимента линеаризовать регрессионную модель, и реализовать аналитический и алгоритмический подходы для получения решения.
27. Вывести матричную формулу для определения коэффициентов регрессии A , B и C в уравнении Кирхгофа, связывающего давление насыщенного пара индивидуального вещества (P) с температурой (T) с помощью функции: $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T$. Построить таблицу пассивного эксперимента. При обработке результатов пассивного эксперимента линеаризовать регрессионную модель, и реализовать аналитический и алгоритмический подходы для получения решения.
28. Пассивный лабораторный эксперимент и пассивный промышленный эксперимент. Построить таблицу пассивного эксперимента для построения эмпирической математической модели. Дать определение регрессионной модели. Линейная и нелинейная регрессия. Условия применимости

регрессионного анализа и этапы регрессионного анализа. Структурная и параметрическая идентификация регрессионных моделей. Вывод матричной формулы для определения коэффициентов линейных и линеаризованных регрессионных моделей при обработке результатов пассивного эксперимента. Чем отличается применение выведенной формулы для линейных и линеаризованных моделей: привести примеры для линейной и линеаризованной модели?

29. Нормальное распределение вектора наблюдений выходной (зависимой) переменной процесса при обработке результатов пассивных экспериментов. Числовые характеристики нормально-распределенных случайных величин: математическое ожидание, дисперсия и средне-квадратичное отклонение (стандарт). Вывод формул для определения дисперсий и ковариаций (корреляционных моментов) для линейных и линеаризованных регрессионных моделей при обработке результатов пассивных экспериментов.
30. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном реакторе с мешалкой и внешней рубашкой (движение потока теплоносителя в рубашке может быть представлено моделью идеального смешения) и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $2A \rightarrow B$, $3A \rightarrow D$
31. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном реакторе с мешалкой и внешней рубашкой (движение потока теплоносителя в рубашке может быть представлено моделью идеального вытеснения) и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $2A \rightarrow B \rightarrow 2C$
32. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном реакторе с мешалкой и внешней рубашкой (движение потока теплоносителя в рубашке может быть представлено моделью идеального вытеснения) и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $A \leftrightarrow B + C$
33. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном реакторе с мешалкой и (движение потока теплоносителя в рубашке может быть представлено моделью идеального вытеснения) и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $3A \rightarrow B$, $2C \rightarrow B$.
34. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном адиабатическом реакторе идеального смешения и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $A \leftrightarrow B$, $B \leftrightarrow C$

35. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном адиабатическом реакторе идеального смешения и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $A \leftrightarrow 2B, B \leftrightarrow C$
36. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном политропическом реакторе идеального смешения и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $A+B \rightarrow C, A+C \rightarrow D$
37. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном политропическом реакторе идеального смешения и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $A+B \leftrightarrow C+2D$
38. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном политропическом реакторе идеального смешения и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $2A \leftrightarrow B, B+A \rightarrow C$
39. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном политропическом реакторе идеального вытеснения и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $2A \rightarrow B \rightarrow 2C$.
40. Построить математическое описание стационарного режима процесса в гомогенном жидкофазном реакторе с мешалкой и внешней рубашкой (движение потока теплоносителя в рубашке может быть представлено моделью идеального смешения) и информационную матрицу для решения системы уравнений математического описания. Кинетическая схема реакции: $2A \rightarrow B \rightarrow 2$