

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**Б1.Б.03**  
(индекс дисциплины)

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование технических систем

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки (специальности)

18.04.01 Химическая технология

((код и наименование направления подготовки, специальности в соответствии с ФГОС ВПО/ ФГОС ВО)

Экобиотехнология

(направленность (профиль)/специализация)

Форма обучения: очная

Год набора: 2019

### Распределение часов дисциплины по семестрам и видам занятий (по учебному плану)

Количество ЗЕТ	5											
Часов по РУП	180											
Виды контроля в семестрах:	Экзамены		Зачеты			Курсовые проекты		Курсовые работы		Контрольные работы (для заочной формы обучения)		
			1									
	№№ семестров											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Итого
ЗЕТ по семестрам	5											5
Лекции	16											16
Лабораторные												
Практические	48											48
Контактная работа	64											64
Сам. работа	116											116
Контроль												
Итого	180											180

Тольятти, 2019

Рабочая программа составлена на основании ФГОС ВПО/ФГОС ВО и учебного плана направления подготовки (специальности) 18.04.01 Химическая технология

*(код и наименование направления подготовки, специальности в соответствии с ФГОС ВПО/ ФГОС ВО)*

**Рецензирование рабочей программы дисциплины:**

☐

Отсутствует

☒

Учебная (рабочая) программа одобрена на заседании кафедры «Рациональное природопользование и ресурсосбережение» (протокол заседания № 1 от «28» августа 2018г.).

☐

Рецензент

*(должность, ученое звание, степень)*

«\_\_» \_\_ 20\_\_ г.

*(подпись)*

*(И.О. Фамилия)*

**Срок действия рабочей программы дисциплины до «28» августа 2021 г.**

**Информация об актуализации рабочей программы дисциплины:**

Протокол заседания кафедры № \_\_ от «\_\_» \_\_ 20\_\_ г.

Протокол заседания кафедры № \_\_ от «\_\_» \_\_ 20\_\_ г.

Протокол заседания кафедры № \_\_ от «\_\_» \_\_ 20\_\_ г.

Протокол заседания кафедры № \_\_ от «\_\_» \_\_ 20\_\_ г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

*(выпускающей направление (специальность))*

«\_\_» \_\_ 20\_\_ г.

*(подпись)*

**М.В. Кравцова**

*(И.О. Фамилия)*

**АННОТАЦИЯ**  
**дисциплины (учебного курса)**  
**Б1.Б.03 Моделирование технических систем**

---

(индекс и наименование дисциплины (учебного курса))

**1. Цель и задачи изучения дисциплины (учебного курса)**

Цель – формирование у студентов профессиональных знаний по использованию методов моделирования при проектировании технологических процессов и анализе экспериментальных данных, а так же формирование научного и инженерного подхода к вопросам рационального использования энерго - и материальных ресурсов, в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

Задачи:

1. Сформировать способность применять методы математического моделирования в комплексной производственно-технологической деятельности.
2. Сформировать способность выполнять проектные расчёты отдельных стадий технологического процесса с использованием методов математического моделирования, с привлечением стандартных средств автоматизированного проектирования.
3. Сформировать у студентов навыки самостоятельного проведения теоретических и исследований на основе использования методов моделирования с последующей обработкой и анализом результатов исследований.

**2. Место дисциплины (учебного курса) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (учебный курс) относится к относится к Блок 1 «Дисциплины (модули)» (базовая часть).

Дисциплины, учебные курсы, на освоении которых базируется данная дисциплина (учебный курс) – «Катализ в химической технологии», «Современные методы контроля качества продуктов основного органического и нефтехимического синтеза».

Дисциплины, учебные курсы, для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дисциплины (учебного курса) – «Современные экобио- и ресурсосберегающие технологии», «Методы оптимизации и организации экобио- и ресурсосберегающих технологий», «Способы переработки и утилизации отходов».

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (учебному курсу), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

<b>Формируемые и контролируемые компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>
- способность на практике использовать умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом (ОК-7)	Знать: – особенности организации проектных работ.
	Уметь: – оценивать состояние инфраструктуры производства в соответствии с нормативными требованиями.
	Владеть: – методами организации и проведения научно-исследовательских работ.
- способность находить творческие решения социальных и профессиональных задач, готовностью к принятию нестандартных решений (ОК-8)	Знать: – технические средства для измерения основных параметров биотехнологических процессов, свойств сырья и продукции.
	Уметь: – производить структурный анализ и синтез сложных процессов, протекающих в аппаратах различных типов.
	Владеть: – методиками расчета при проектировании конструкций аппаратов и систем автоматизации в области химической технологии.
- способность с помощью информационных технологий к самостоятельному приобретению и использованию в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе в	Знать: – основные научные информационные системы.
	Уметь: – применять междисциплинарный подход к анализу и решению проблем; – применять приобретенные знания при анализе экологических ситуаций природного и техногенного

<p>областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ОК-9)</p>	<p>характера;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принимать правильные решения по снижению негативных последствий.</li> </ul>
	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками решения конкретных технологических задач;</li> <li>– навыками практических расчетов при исследовании реальных химических процессов переработки природных энергоресурсов.</li> </ul>
<p>- готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез (ОПК-4)</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методы разработки математических моделей процессов в различных типах аппаратах;</li> <li>– методы математического моделирования, оптимизации и проектирования процессов химической технологии и биотехнологии; основные модели структуры потоков, теплообменных и массообменных процессов, методы идентификации параметров модели и методы установления адекватности модели;</li> </ul>
	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разрабатывать математические модели процессов на основе структурного анализа и синтеза с использованием блочного подхода к описанию сложных процессов;</li> <li>– производить проверку адекватности математических моделей;</li> <li>– осуществлять идентификацию параметров математической модели, моделирование и проектирование процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.</li> </ul>
	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами математического моделирования процессов на основе структурного анализа и синтеза с использованием блочного подхода к описанию слож-</li> </ul>

	<p>ных процессов;</p> <p>– методами определения физико-химических и тепло-физических свойств для расчета и выбора основного и вспомогательного технологического оборудования в области химической технологии.</p>
<p>- готовностью к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи (ПК-2)</p>	<p>Знать:</p> <p>– требования к правовым особенностям защиты интеллектуальной собственности.</p>
	<p>Уметь:</p> <p>– производить выбор аппарата и рассчитывать технологические параметры процесса с учетом реализации задач энерго- и ресурсосбережения.</p>
	<p>Владеть:</p> <p>– методами поиска и обмена информацией в компьютерных сетях, техническими и программными средствами защиты информации, включая приемы антивирусной защиты.</p>

## Тематическое содержание дисциплины (учебного курса)

Раздел, модуль	Подраздел, тема
Модуль 1. Моделирование, основные понятия и, определения, виды и методы идентификации статических моделей.	Моделирование, основные понятия и определения. Понятие моделирования, модели. Виды моделирования, виды моделей. Классификация моделей. Математическое моделирование, математические модели. Формы представления математических моделей. Структурные схемы и методы их преобразования. Понятие о статистическом моделировании. Понятия функции отклика и факторов. Основные допущения регрессионного анализа. Формулировка задачи аппроксимации. Критерий метода наименьших квадратов. Основные положения теории планирования экспериментов: полный факторный эксперимент (ПФЭ) и обработка его результатов.
Модуль 2. Математическое моделирование технических систем	Моделирование структуры потоков в аппаратах. Построение математических моделей систем аналитическим методом. Математическое моделирование тепловых процессов. Моделирование массообменных процессов химической технологии. Моделирование кинетики химических реакций.

**Общая трудоемкость дисциплины (учебного курса) – 5 ЗЕТ.**

#### 4. Структура и содержание дисциплины (учебного курса) Моделирование технических систем

(наименование дисциплины (учебного курса))

Семестр изучения 1

Раздел, модуль	Подраздел, тема	Виды учебной работы						Необходимые материально- технические ресурсы	Формы текущего контроля (наименование оценочного сред- ства)	Рекомендуе- мая литера- тура (№)	
		Контактная работа (в часах)					Самостоятельная работа				
		всего			в т.ч. в интерак- тивной форме	Формы проведения лекций, лаборатор- ных, практических занятий, методы обу- чения, реализующие применяемую образо- вательную техноло- гию	в часах				формы организации самостоятельной работы
		лекций	лабораторных	практических							
Модуль 1. Мо- делирование, основные по- нятия и, опре- деления, виды и методы идентифика- ции статиче- ских моделей.	Лекция № 1. Мо- делирование, ос- новные понятия и определения. Понятие модели- рования, модели. Виды моделиро- вания, виды моде- лей. Классифика- ция моделей. Ма- тематическое мо- делирование, ма- тематические мо- дели. Формы представления математических моделей. Струк- турные схемы и методы их преоб- разования.	2				Лекция с эле- ментами дис- куссии.			Мультимедий- ные средства: компьютер или ноутбук, проек- тор, экран.	1-2	



	<b>Лекция № 2.</b> Построение эмпирических регрессионных моделей.	2				Лекция с элементами дискуссии.			Мультимедийные средства: компьютер или ноутбук, проектор, экран.		1-2
	<b>Практическое занятие №1.</b> Построение статических и динамических моделей. Построение эмпирических моделей. Линейный регрессионный анализ для построения эмпирических моделей.			2		Практическое занятие выполняется методом творческих заданий.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет.	Отчет по практическому занятию № 1 в электронном виде.	1-2
	<b>Практическое занятие №2.</b> Регрессионно-факторный анализ технологических моделей.			2		Практическое занятие выполняется методом творческих заданий.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет.	Отчет по практическому занятию № 2 в электронном виде.	1-2

	<b>Практическое занятие №3.</b> Задачи параметрической и структурной идентификации эмпирической модели, описывающей зависимость давления насыщенного пара индивидуального вещества от температуры.			4		Практическое занятие выполняется решением задач, обсуждением результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет..	Отчет по практическому занятию № 3 в электронном виде.	1-2
	<b>Лекция № 3.</b> Понятия функции отклика и факторов. Основные допущения регрессионного анализа. Формулировка задачи аппроксимации. Критерий метода наименьших квадратов. Основные положения теории планирования экспериментов: полный факторный эксперимент (ПФЭ) и обработка его результатов.	2				Лекция с элементами дискуссии.			Мультимедийные средства: компьютер или ноутбук, проектор, экран.		1-2

	<b>Практическое занятие №4.</b> Построение математических моделей по результатам активного эксперимента.			4		Практическое занятие с решением задач, обсуждение результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет, пакет прикладных программ MathCAD.	Отчет по практическому занятию № 4 в электронном виде. Собеседование.	1-2
<b>Модуль 2. Математическое моделирование технических систем.</b>	<b>Лекция № 4.</b> Моделирование структуры потоков в аппаратах.	2				Лекция с элементами дискуссии, с использованием технологий развития критического мышления.			Мультимедийные средства: компьютер или ноутбук, проектор, экран.		3-4
	<b>Практическое занятие №5.</b> Исследование гидродинамики насадочного абсорбера.			4		Практическое занятия проводится с использованием технологий традиционного обучения, обсуждение результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет, пакет прикладных программ MathCAD.	Отчет по практическому занятию № 5 в электронном виде.	3-4

	<b>Лекция № 5.</b> Построение математических моделей систем аналитическим методом.	2				Лекция с элементами дискуссии, с использованием технологий развития критического мышления.			Мультимедийные средства: компьютер или ноутбук, проектор, экран.		3-4
	<b>Лекция № 6.</b> Математическое моделирование тепловых процессов.	2				Лекция с элементами дискуссии, с использованием технологий развития критического мышления.			Мультимедийные средства: компьютер или ноутбук, проектор, экран.		3-4
	<b>Практическое занятие №6.</b> Моделирование теплообменных аппаратов в стационарном режиме. Модели процессов теплообмена: 1.Теплообменник типа «перемешивание-перемешивание», 2.Теплообменник типа «вытеснение-вытеснение».			8		Практическое занятие с решением задач, обсуждение результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет, пакет прикладных программ MathCAD.	Отчет по практическому занятию № 6 в электронном виде.	3-4

	<b>Лекция № 7.</b> Моделирование массообменных процессов химической технологии.	2				Лекция с элементами дискуссии, с использованием технологий развития критического мышления.			Мультимедийные средства: компьютер или ноутбук, проектор, экран.		3-4
	<b>Практическое занятие №7.</b> Исследование процесса разделения многокомпонентной смеси в газовом сепараторе.			4		Практическое занятие с решением ситуационных задач, обсуждение результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет, пакет прикладных программ MathCAD.	Отчет по практическому занятию № 7 в электронном виде.	3-4
	<b>Практическое занятие №8.</b> Математическое моделирование процесса ректификации.			4		Практическое занятие с решением ситуационных задач, обсуждение результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет, пакет прикладных программ MathCAD.	Отчет по практическому занятию № 8 в электронном виде.	3-4
	<b>Лекция № 8.</b> Моделирование кинетики химических реакций.	2				Лекция с элементами дискуссии, с использованием технологий развития критического мышления.			Мультимедийные средства: компьютер или ноутбук, проектор, экран.		3-4

	<b>Практическое занятие №9.</b> Моделирование кинетики гомогенных химических реакций.			4		Практическое занятие с решением ситуационных задач, обсуждение результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет, пакет прикладных программ MathCAD.	Отчет по практическому занятию № 9 в электронном виде.	3-4
	<b>Практическое занятие №10.</b> Моделирование кинетики гетерогенных химических реакций.			4		Практическое занятие с решением ситуационных задач, обсуждение результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет, пакет прикладных программ MathCAD.	Отчет по практическому занятию № 10 в электронном виде.	3-4
	<b>Практическое занятие №11.</b> Моделирование гомогенных химических реакторов.			4		Практическое занятие с решением ситуационных задач, обсуждение результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет, пакет прикладных программ MathCAD.	Отчет по практическому занятию № 11 в электронном виде.	3-4

	<b>Практическое занятие №12.</b> Математическое моделирование технических систем.			4		Практическое занятие проводится с использованием технологии традиционного обучения, обсуждение результатов деятельности.	8	Подготовка отчета по практическому занятию.	Раздаточный материал, компьютер, доступ к сети Интернет, пакет прикладных программ MathCAD.	Отчет по практическому занятию № 12 в электронном виде. Собеседование.	3-4
	<b>Самостоятельная работа.</b>						20	Самостоятельная работа с научной литературой. Подготовка проекта.	Компьютер, доступ к сети Интернет.	Проект. Защита проекта	1-4
<b>ИТОГО: 180</b>		<b>1</b>		<b>4</b>			<b>11</b>				
		<b>6</b>		<b>8</b>							
<b>64</b>											

## 5. Критерии и нормы текущего контроля и промежуточной аттестации

Формы текущего контроля	Условия допуска	Критерии и нормы оценки	
Отчеты по практическим занятиям в электронном виде.	Допускаются все студенты	«зачтено»	Отчет по практической работе включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии.
		«не зачтено»	Отчет по практической работе включает менее 50% от требуемого объема.
Собеседование.	Наличие отчетов по практическим занятиям в электронном виде, не менее 50% от количества проведенных занятий в модуле.	«зачтено»	Ответ на один из трех вопросов по каждой теме практического занятия
		«не зачтено»	Отсутствие ответов на вопросы.
Проект.	Наличие презентации по проекту.	«зачтено»	При представлении проекта студент набирает 7-11 баллов: выступление (2 балла), содержание (5 баллов); качество оформления презентации(2 балла); ответы на вопросы (2 балла)
		«не зачтено»	менее 7 баллов.

Форма проведения промежуточной аттестации	Условия допуска	Критерии и нормы оценки	
Зачет (устно)	Наличие зачета по результа-	«зачтено»	Ответ на два теоретических вопроса, студент



	там текущего контроля или выполнение восьми из двенадцати практических занятий и представление Проекта.		хорошо владеет материалом.
		«не зачтено»	Не отвечает ни на один из теоретических вопросов, не может ответить ни на один дополнительный вопрос.

## 6. Критерии и нормы оценки курсовых работ (проектов)

Курсовые работы (проекты) учебным планом не предусмотрены.

## 7. Примерная тематика письменных работ (курсовых, рефератов, контрольных, расчетно-графических и др.)

Перечень тем для выполнения проекта

№ п/п	Темы
1	Моделирование реакторов емкостного типа с перемешиванием.
2	Моделирование реакторных процессов в реакторах змеевикового типа.
3	Моделирование процессов абсорбции в абсорберах различного типа.
4	Моделирование процессов ректификации в тарельчатых и насадочных колоннах.
5	Моделирование процессов экстракции в колонных и емкостных аппаратах.
6	Моделирование процесса первичной перегонки нефти.
7	Моделирование процессов в реакторе каталитического риформинга с радиальным вводом реагентов.
8	Моделирование процессов в реакторе каталитического риформинга с осевым вводом реагентов.
9	Формирование математических моделей для решения задач ситуационного управления.
10	Разработка модели энерго- ресурсосберегающих экологически безопасных технологий для производства капралактама на химических предприятиях.
11	Разработка модели новых технических и технологических решений для процесса утилизации твердых бытовых и коммунальных отходов.
12	Создание теоретических моделей технологических процессов очистки сточных вод на предприятиях пищевой промышленности.
13	Разработка модели установки для защиты окружающей среды от выбросов для котельных, расположенных в селитебной зоне.
14	Разработка модели утилизация донных отложений нефтешлама.
15	Разработка модели утилизация осадка городских очистных сооружений.
16	Разработка модели по рекультивации полигонов.
17	Разработка модели для технологии использования нетрадиционных источников энергии на промышленных предприятиях города.

## 8. Вопросы к зачету

№ п/п	Вопросы
1	Понятие моделирования, модели.
2	Виды моделирования, виды моделей. Классификация моделей.

3	Математическое моделирование, математические модели. Формы представления математических моделей. Структурные схемы и методы их преобразования.
4	Теорема Мейсона. Модели в виде уравнений состояния, векторно-матричные формы представления математических моделей динамики систем.
5	Связь между различными формами представления математических моделей.
6	Системный синтез. Составление модели сложного технологического объекта как сложной системы на основе системного анализа и синтеза.
7	Учет взаимодействия объекта моделирования со средой.
8	Основные статистические характеристики физических процессов. Постановка задачи статистического моделирования систем.
9	Методы и алгоритмы моделирования случайных процессов с заданными статистическими характеристиками.
10	Методы обработки результатов моделирования. Особенности полунатурного моделирования систем.
11	Построение статических и динамических моделей. Построение эмпирических моделей. Линейный регрессионный анализ для построения эмпирических моделей.
12	Понятия функции отклика и факторов. Основные допущения регрессионного анализа.
13	Формулировка задачи аппроксимации. Критерий метода наименьших квадратов. Решение задачи аппроксимации.
14	Основные положения теории планирования экспериментов: полный факторный эксперимент (ПФЭ) и обработка его результатов.
15	В чем преимущество активного эксперимента?
16	Какие переменные называются факторами?
17	Что такое факторное пространство?
18	Дайте понятие поверхности отклика?
19	В виде, какого уравнения чаще представляются уравнения регрессии?
20	Какие методы расчета коэффициентов уравнения регрессии вы знаете?
21	Поясните сущность метода наименьших квадратов?
22	Что такое сила линейной связи и как она определяется для уравнения линейной регрессии от данного параметра?
23	По какому критерию проверяется адекватность уравнения?
24	Что такое трансцендентная регрессия и когда она применяется?
25	Как определяется теснота нелинейной связи?
26	Что такое выборочный коэффициент корреляции?
27	Что такое уровень плана?
28	Как определить количество опытов в полном факторном эксперименте?
29	Как рассчитываются коэффициенты уравнения регрессии по результатам полного факторного эксперимента?
30	В чем заключается оценка значимости уравнения регрессии?

31	Уравнения, каких "элементарных" процессов входят в математическое описание?
32	Что такое модель идеального смешения?
33	Что такое модель идеального вытеснения?
34	Чем отличаются диффузионные модели от моделей идеального вытеснения?
35	Для каких аппаратов может быть применена ячеечная модель?
36	Что такое время пребывания частицы в аппарате?
37	Для чего используются допущения при составлении математического описания?
38	Какие допущения принимаются при моделировании теплообменных аппаратов?
39	Какие элементарные модели используются для математического описания теплообменных аппаратов?
40	Какие виды теплообменных аппаратов вы знаете?
41	Какие допущения принимаются при описании массообменных аппаратов?
42	Какие элементарные модели используются при математическом описании массообменных аппаратов?
43	Какие виды массообменных процессов вы знаете?
44	Какие допущения принимаются при моделировании химических реакторов?
45	Какие элементарные модели используются при математическом описании химических реакторов?
46	Какие виды систем дифференциальных уравнений могут быть решены с помощью ЭВМ?
47	Какие численные методы решения дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений вы знаете?
48	Каким образом можно получить передаточную функцию из дифференциального уравнения?
49	Блоки сложного процесса системы – основа для построения структуры сложного процесса в технологическом объекте.
50	Каталитические реакторы для систем «газ - твердое», «газ – жидкость», «газ – жидкость -твердое» модели идеального вытеснения, диффузионная модель, модель идеального перемешивания, различные модели для разных фаз в многофазных реакторах.
51	Тарельчатые колонные массообменные колонны – ячеечная модель с обратными потоками для жидкой фазы и модель идеального вытеснения для паровой фазы.
52	Насадочные колонны для процессов ректификации– модель идеального вытеснения для паровой фазы, для жидкой фазы - диффузионная модель или модель идеального вытеснения.
53	Насадочные колонны для процессов экстракции– модель идеального вытеснения для дисперсной фазы, для сплошной фазы - диффузионная мо-

	дель или модель идеального вытеснения.
54	Реакторы с неподвижным слоем катализатора, работающие в адиабатическом режиме с аксиальным и радиальным потоком реагентов.
55	Гидродинамика потоков, гидравлическое сопротивление слоя и распределительных решеток.
56	Двумерные модели каталитических процессов. Алгоритмы решения уравнений моделей.
57	Различные типы тепловых режимов.
58	Алгоритмы решения уравнений моделей.
59	Модель идеального вытеснения – основная модель реакторов змеевикового типа.
60	Условия применимости модели идеального вытеснения.
61	Расчет теплового режима – определение коэффициента теплопередачи и составление уравнения теплового баланса.
62	Проверка адекватности модели. Примеры процессов, проводимых в реакторах змеевикового типа. Режимы функционирования и определение определяющих параметров.
63	Модель идеального вытеснения – основная модель реакторов змеевикового типа. Условия применимости модели идеального вытеснения.
64	Определения необходимого режима течения и расчет гидравлического сопротивления.
65	Расчет теплового режима – определение коэффициента теплопередачи и составление уравнения теплового баланса. Проверка адекватности модели.
66	Математическая модель процесса абсорбции в колонных абсорберах тарельчатого типа.
67	Двухфазная модель с использованием для жидкой фазы ячеечной модели с обратными потоками и модели идеального вытеснения для газовой фазы.
68	Математическая модель процесса абсорбции в колонном абсорбере насадочного типа. Используются модели идеального вытеснения для жидкой и газовой фаз.
69	Математическая модель процесса абсорбции в емкостных аппаратах с мешалками. Использование модели идеального перемешивания для жидкой фазы и газовой фазы.
70	Соотношения для расчета объемных коэффициентов массопередачи.
71	Математическая модель абсорбера с распылением жидкой фазы.
72	Математические модели процессов ректификации в тарельчатых и насадочных колоннах.

## **9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

### **9.1. Паспорт фонда оценочных средств**

<b>№ п/п</b>	<b>Контролируемые разделы (темы) дисциплины</b>	<b>Код контролируемой компетенции (или ее части)</b>	<b>Наименование оценочного средства</b>
1	<b>Модуль 1.</b> Моделирование, основные понятия и, определения, виды и методы идентификации статических моделей.	ОК-7, ОК-9	Отчеты по практическим занятиям № 1-4 в электронном виде. Собеседование.
2	<b>Модуль 2.</b> Математическое моделирование технических систем.	ОК-8, ОК-9, ОПК-4, ПК-2	Отчеты по практическим занятиям № 5-12 в электронном виде. Собеседование. Проект

### **9.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

#### **9.2.1. Типовые задания по практическим занятиям**

**Практическое занятие № 1. Построение статических и динамических моделей. Построение эмпирических моделей. Линейный регрессионный анализ для построения эмпирических моделей.**

Практическая работа выполняется методом творческих заданий. На примере, разбираемом на практическом занятии, студенты учатся анализировать экспериментальные данные, находить математические зависимости. В качестве творческих заданий предлагаются таблицы экспериментальных данных, полученных студентами заранее во время занятий научной работой. При решении творческих заданий, студенты могут выполнять роль экспертов, помогая другим студентам в группе найти правильное решение. Экспертами выбираются студенты, быстро построившие модель процесса.

Регрессионный анализ позволяет оценить степень связи между переменными, предлагая механизм вычисления предполагаемого значения переменной из нескольких уже известных значений. Используя регрессионный анализ, можно продлить линию тренда в диаграмме за пределы реальных данных для предсказания будущих значений.

#### **Алгоритм работы:**

- 1) построить математическую модель в виде эмпирической формулы;
- 2) сделать оценку параметров модели;

3) проверить модель на адекватность.

### **Задание 1.**

1. Оформить исходные данные в виде сводной таблицы Microsoft Excel.  
2. С помощью Мастера диаграмм М. Excel построить график зависимости всего диапазона данных сводной таблицы.

3. Построить линию тренда.

4. Для полученных математических моделей сделать оценку параметров:

а) провести вычисление средней квадратичной ошибки  $\delta$ ;

б) сравнить  $\delta$  с величиной достоверности аппроксимации – R.

5. Проверить модель на адекватность. Функция, которой соответствует минимальное значение  $\delta$  и максимальное значение R, является математической моделью, наиболее близко описывающей исходные данные.

4. Подготовить отчет по практической работе.

### **Задание 2**

В лабораторных условиях было исследовано влияние ферментного препарата глюкозооксидазы ( $x_2$ ) в сочетании с аскорбиновой кислотой ( $x_1$ ) на качество хлеба (табл.). Необходимо с помощью ЭВМ рассчитать, какой фактор ( $x_1$  или  $x_2$ ) оказывает большее влияние на пористость хлеба; построить эмпирическую линейную модель зависимости пористости хлеба  $y$  от фактора  $x_1$  или  $x_2$ , оказывающего на него большее влияние; выявить, как изменится пористость хлеба, если величину глюкозооксидазы увеличить на 30% от среднего значения выборки.

**Таблица Влияние ферментного препарата глюкозооксидазы в сочетании с аскорбиновой кислотой на качество хлеба**

Количество аскорбиновой кислоты $x_1$ , %	Количество глюкозооксидазы $x_2$ , %	Пористость $y$ , %
0,003	0,0146	87
0,003	0,0853	85
0,017	0,0146	87
0,017	0,0854	85
0,000	0,0500	85

### **Критерии оценки:**

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

## **Практическое занятие №2. Регрессионно-факторный анализ технологических моделей.**

### **Задание 1.**

Требуется определить зависимость растворимости хлорида бария в воде ( $y$ ) и в присутствии хлорида кальция ( $x$ ) при 70°C. Объем выборки  $n=6$ .

Определить коэффициенты уравнения линейной регрессии вида  $\hat{y} = b_0 + b_1x$  и выборочный коэффициент корреляции.

**Таблица Экспериментальные данные**

x, %	0	5	8	10	15	20
y, %	32	25	20	17	11	5

**Задание 2.**

Найти зависимость содержания Fe, % (y), в кристаллах медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  от содержания  $\text{FeSO}_4$ , г/л (x), в маточном растворе: а) определить коэффициенты полиномиального уравнения регрессии второго порядка; б) определить выборочный коэффициент корреляции.

Каждый опыт повторяется два раза. Результаты опытов приведены в таблице:

x, г/л	50		60		70		85		100		105	
y, %	0,65	0,84	0,96	0,84	0,93	1,2	1,33	1,47	1,75	1,86	2,32	2,48

**Задание 3.**

Опытным путем определены значения константы скорости реакции  $K$  при 6 различных температурах  $t$ . Зависимость константы скорости реакции от абсолютной температуры  $T$  выражается показательной функцией вида:

$$K = K_0 e^{-\frac{E}{RT}}$$

Найти численные значения коэффициентов  $K_0$  и  $E/R$ . Экспериментальные данные приведены в таблице:

T, °C	400	452	493	528	561	604
K	3,23	7,80	15,43	24,21	37,95	60,09

**Критерии оценки:**

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

**Практическое занятие №3. Задачи параметрической и структурной идентификации эмпирической модели, описывающей зависимость давления насыщенного пара индивидуального вещества от температуры.**

Необходимо решить задачи параметрической и структурной идентификации эмпирической модели, описывающей зависимость давления насыщенного пара индивидуального вещества от температуры.

Используются данные пассивного эксперимента (10 экспериментов):

**Вариант 1**

T	20	27	43	51	58	69	81	93	98	110
P	18,06543	22,21216	45,41489	73,71159	120,6918	298,497	961,7552	3747,484	6985,836	35632,02

**Вариант 3**

T	20	33	38	48	62	72	80	89	102	110
P	10,27458	8,900699	8,646845	8,315674	8,044362	7,919066	7,847013	7,777599	7,707871	7,674528



## Вариант 4

T	20	27	41	51	59	73	80	91	103	110
P	138,5224	40,81495	1,575762	62,2587	193,2225	928,0922	1884,9	8340,345	48986,24	154828,1

и 3 вида моделей:

1.  $P = e^{A + \frac{B}{T}}$
2.  $P = e^{A + \frac{B}{C+T}}$
3.  $P = e^{A + \frac{B}{T} + CT + D \ln T}$

1. Определить коэффициенты уравнений регрессии указанных 3 эмпирических моделей. Представить в общем и в числовом виде произведение транспонированной и исходной матриц независимых входных переменных и числовые значения обратной матрицы произведения  $(\bar{\Phi}^T \bar{\Phi})^{-1}$ .

2. Определить адекватность уравнений регрессии с использованием  $F$ -распределения Фишера и выбрать наиболее точное уравнение с использованием дисперсии адекватности. Расчётное значение критерия Фишера в отсутствии параллельных опытов определяется по формуле:

$$F_{расч} = \frac{S_{ср}^2}{S_R^2}$$

$$S_{ср}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i^{эксн} - y^{эксн*})^2}{n-1}$$

$$y^{эксн*} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i^{эксн}}{n}$$

Условие адекватности:  $F_{расч} > F^{эксн}$

Представить сводную таблицу коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ , дисперсий, табличных и расчётных критериев Фишера для всех моделей.

Выделить наиболее точную модель.

3. Линеаризованные уравнения преобразовать, выразив выходную переменную и построить графики ошибок для каждого уравнения (график ошибок – график разностей экспериментальных и расчётных значений в зависимости от значения аргумента).

Подобрать масштаб оси ординат, позволяющий подробно рассмотреть форму кривой на графике.

4. Провести графическое сравнение экспериментальных данных.

5. Сформулировать выводы по работе.

\*Не переводить значения температуры в другую размерность. Не менять порядок коэффициентов и номера зависимостей, не менять обозначений.

### Критерии оценки:

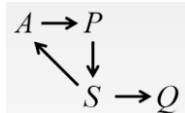
оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

## Практическое занятие №4. Построение математических моделей по результатам активного эксперимента.

Задание 1.

Необходимо подобрать оптимальные значения температуры и времени превращения четырехстадийной реакции:



при которых концентрация промежуточного продукта была бы максимальной.

Задан центр планирования:

$T_{ц.п.} = 330$  К – температура проведения реакции;

$\tau_{ц.п.} = 75$  с – время проведения реакции.

Интервал изменения параметров:

$\Delta T = \pm 10$  К;  $\Delta \tau = \pm 25$  с.

1. Полный факторный эксперимент (ПФЭ) включает опыты 1÷4 и эксперименты в центре плана – опыты 9÷14 (330 К, 75 с) – для определения дисперсии воспроизводимости.

На основании экспериментальных данных определить:

а) Коэффициенты линейного уравнения регрессии

$$C = \theta_0 + \theta_1 T + \theta_2 \tau$$

для компонента реакции (например, Р):

$\theta_0, \theta_1, \theta_2$

б) Проверить значимость коэффициентов уравнения регрессии.

в) Проверить адекватность уравнения регрессии.

2. Ортогональное центральное композиционное планирование (ОЦКП) позволяет найти координаты оптимальных значений факторов.

Эксперимент дополняется опытами в звёздных точках факторного пространства: точками 5÷6 с координатами  $(T_{ц.п.} \pm \alpha \Delta T; \tau_{ц.п.})$  и точками 7÷8 с координатами  $(T_{ц.п.}; \tau_{ц.п.} \pm \alpha \Delta \tau)$ , где  $\alpha$  – звёздное плечо.

На основании экспериментальных данных определить:

а) Коэффициенты нелинейного уравнения

$$C = \theta_0 + \theta_1 T + \theta_2 \tau + \theta_{12} T\tau + \theta_{11} T^2 + \theta_{22} \tau^2$$

для компонента реакции (например, Р):

$\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_{12}, \theta_{11}, \theta_{22}$

б) Проверить значимость коэффициентов уравнения регрессии.

в) Проверить адекватность уравнения регрессии.

г) Найти координаты  $T^{opt}, \tau^{opt}$  экстремальной точки функции

$$C = f(T, \tau)$$

Статическая обработка результатов активного эксперимента

Таблица Результаты эксперимента

№	T, K	$\tau$ , с	CQ
1	320	50	0,5221
2	340	50	0,489
3	320	100	0,668
4	340	100	0,665
5	316,8	75	0,5815
6	343,2	75	0,578
7	330	42	0,5017
8	330	108	0,6974
9	330	75	0,6543
10	330	75	0,6245
11	330	75	0,6241
12	330	75	0,6343
13	330	75	0,5772
14	330	75	0,63

$C_Q^{cp}$	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$f_e$	$S_e^2$	$t_0$	$t_1$	$t_2$
0,6241	0,586025	-0,009	0,0805	5	0,0007	45,967	0,7079	6,3123

$t_{\text{табл}}$	$S_R^2$	F	$F_{\text{табл}}$	$x_j^{\text{ц.п.}}$	$\Delta_{xi}$	$z_j$
2,57	0,00028	0,4248	19,3	75	25	$\frac{\tau - 75}{25}$

**Задание 2.**

В лабораторных условиях исследуется синтез полимера. Синтез проводят в растворе. Изучается влияние трех факторов:  $Z_1$  – концентрация мономера (20-28%);  $Z_2$  – концентрация инициатора полимеризации (0,15-0,25%);  $Z_3$  – температура (343-363 K) на выход полимера  $Y$  (%). Результаты эксперимента представлены в таблице:

N	XI	X2	X3	Y
1	+1	+1	+1	42,5
2	-1	+1	+1	52
3	+1	-1	+1	44
4	-1	-1	+1	54
5	+1	+1	-1	46
6	-1	+1	-1	54,5
7	+1	-1	-1	46
8	-1	-1	-1	62

В центре плана были поставлены дополнительные параллельные опыты и получены следующие результаты:  $Y_1=43$ ,  $Y_2=47$ ,  $Y_3=48$

**Задание 3.**

При исследовании показателя степени усвояемости аммиака в  $Y$  в фосфорных соединениях изучалось влияние температуры аммонизации  $Z_1$  (20-70°C), продолжительность аммонизации  $Z_2$  (15-20 мин), норма аммиака  $Z_3$  (100%-150%).

Результаты эксперимента представлены в таблице:

N	XI	X2	X3	Y
1	+1	+1	+1	13

2	-1	+1	+1	15
3	+1	-1	+1	19
4	-1	-1	+1	18,6
5	+1	+1	-1	14
6	-1	+1	-1	18
7	+1	-1	-1	13
8	-1	-1	-1	27

В центре плана были поставлены дополнительные параллельные опыты и получены следующие результаты:  $Y_1=17,3$ ,  $Y_2=18$ ,  $Y_3=17,7$ .

### Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствие с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

## Практическое занятие №5. Исследование гидродинамики насадочного абсорбера.

### Цель работы

1. Ознакомиться с методикой составления математической модели гидродинамики насадочного абсорбера.
2. Практически освоить методику исследования гидродинамики насадочного абсорбера с использованием ячеечной модели.
3. Сравнить экспериментальные и расчетные кривые отклика, проверить модель на адекватность.

Исходные данные:

1. Высота насадки  $L = 11,5$  м.
2. Площадь поперечного сечения абсорбционной колонны  $S = 1,8$  м<sup>2</sup>.
3. Объемная скорость потока  $V = 10\,000$  м<sup>3</sup>/ч.
4. Концентрация абсорбируемого компонента  $C_0$ , % об.
5. Экспериментальная кривая разгона  $C_e [0 \dots k]$ .

Численные значения для пунктов 4 и 5 приведены в таблице.

Таблица Варианты

Варианты										
Концентрация абсорбируемого компонента $C_0$ , % об.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,155	0,18	0,40	0,05	0,10	0,075	0,18	0,35	0,10	0,20
Концентрация на выходе из абсорбера, % об.										
Время, с	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0										
1	0,0025	0,001	0,005	0,006	0,002	0,014	0,002	0,070	0,015	0,100
2	0,0100	0,008	0,020	0,013	0,012	0,023	0,050	0,150	0,030	0,120
3	0,0260	0,010	0,050	0,019	0,030	0,035	0,100	0,220	0,047	0,140

4	0,0490	0,027	0,100	0,025	0,040	0,047	0,120	0,240	0,059	0,160
5	0,0720	0,045	0,140	0,030	0,050	0,051	0,140	0,290	0,067	0,173
6	0,0900	0,075	0,180	0,033	0,080	0,060	0,150	0,310	0,074	0,180
7	0,1150	0,100	0,220	0,040	0,085	0,063	0,155	0,320	0,081	0,186
8	0,1300	0,120	0,260	0,043	0,087	0,068	0,159	0,330	0,090	0,190
9	0,1460	0,140	0,300	0,045	0,089	0,071	0,161	0,340	0,095	0,194
10	0,1540	0,160	0,380	0,050	0,090	0,075	0,166	0,345	0,100	0,196

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с методикой моделирования гидродинамики насадочного абсорбера.
2. Ознакомиться со структурной схемой алгоритма исследования гидродинамики насадочного абсорбера.
3. Подготовить исходные данные.
4. Выбрать оптимальное число ячеек.
5. Обсудить результаты. Сделать выводы по работе.

### **Критерии оценки:**

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствие с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

### **Практическое занятие №6. Моделирование теплообменных аппаратов в стационарном режиме Модели процессов теплообмена:** **1.Теплообменник типа «перемешивание-перемешивание»,** **2.Теплообменник типа «вытеснение-вытеснение».**

#### **Задание**

1. Ознакомиться с принципами составления тепловых балансов потоков и разделяющей стенки в теплообменных и реакционных аппаратах химической технологии при теплообмене через стенку.

2. Отметить особенности математических описаний при разных способах организации теплообмена.

3. Выполнить вариант задания.

Исходные данные:

ORIGIN:= 1

$T_2 := 200^{\circ}\text{C}$

$T_1 := 100^{\circ}\text{C}$

$T_0 := 20^{\circ}\text{C}$

Внутренний диаметр трубы  $D_1 := 0.01\text{ м}$

Внешний диаметр трубы  $D_2 := 0.03\text{ м}$

Толщина стенки трубы  $\delta := 0.002 \text{ м}$   
 Режим течения потоков стационарный  
 Объемный расход жидкости  $G_T := 0.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сек}$   
 Объемный расход воды  $G_X := 2G_T$   
 Коэффициент теплопередачи  $K := 10000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$   
 Плотность жидкости  $\rho_T := 1500 \text{ кг/м}^3$   
 Теплоемкость жидкости  $C_{PT} := 2500 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$   
 Плотность воды  $\rho_X := 1000 \text{ кг/м}^3$   
 Теплоемкость воды  $C_{PX} := 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$   
 Построить график изменения температур теплоносителя и хладагента по длине аппарата.

Для противотока:

Исходные данные:

ORIGIN:= 1

$T_2 := 235^\circ\text{C}$

$T_0 := 25^\circ\text{C}$

Внутренний диаметр трубы  $D_1 := 0.015 \text{ м}$

Внешний диаметр трубы  $D_2 := 0.045 \text{ м}$

Толщина стенки трубы  $\delta := 0.002 \text{ м}$

Режим течения потоков стационарный

Объемный расход жидкости  $G_T := 0.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{сек}$

Объемный расход воды  $G_X := 2G_T$

Коэффициент теплопередачи  $K := 10000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$

Плотность жидкости  $\rho_T := 1200 \text{ кг/м}^3$

Теплоемкость жидкости  $C_{PT} := 3000 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$

Плотность воды  $\rho_X := 1000 \text{ кг/м}^3$

Теплоемкость воды  $C_{PX} := 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$

Таблица 6.2 - Варианты заданий

Вариант	Теплоноситель	Начальная температура, °C	Объёмная скорость, $\text{м}^3/\text{с}$	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Теплоёмкость, $\text{Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$
1	Горячий	180	$2,3 \cdot 10^{-4}$	900	$3,35 \cdot 10^3$
	Холодный	25	$5,1 \cdot 10^{-4}$	1000	$4,19 \cdot 10^3$
2	Горячий	190	$1,3 \cdot 10^{-4}$	890	$3,15 \cdot 10^3$
	Холодный	35	$4,1 \cdot 10^{-4}$	990	$4,1 \cdot 10^3$
3	Горячий	210	$2,5 \cdot 10^{-4}$	920	$3,45 \cdot 10^3$
	Холодный	15	$5,1 \cdot 10^{-4}$	1000	$4,19 \cdot 10^3$
4	Горячий	280	$2,0 \cdot 10^{-4}$	910	$3,4 \cdot 10^3$
	Холодный	25	$5,1 \cdot 10^{-4}$	1100	$4,4 \cdot 10^3$
5	Горячий	250	$3,3 \cdot 10^{-4}$	900	$3,55 \cdot 10^3$
	Холодный	45	$4,51 \cdot 10^{-4}$	980	$4,1 \cdot 10^3$
6	Горячий	185	$2,83 \cdot 10^{-4}$	880	$3,2 \cdot 10^3$
	Холодный	10	$5,51 \cdot 10^{-4}$	1010	$4,25 \cdot 10^3$

7	Горячий	160	$2,53 \cdot 10^{-4}$	900	$3,35 \cdot 10^3$
	Холодный	25	$5,21 \cdot 10^{-4}$	1000	$4,19 \cdot 10^3$
8	Горячий	200	$2,3 \cdot 10^{-4}$	900	$3,35 \cdot 10^3$
	Холодный	20	$5,1 \cdot 10^{-4}$	1100	$4,55 \cdot 10^3$
9	Горячий	170	$2,8 \cdot 10^{-4}$	900	$3,35 \cdot 10^3$
	Холодный	15	$5,2 \cdot 10^{-4}$	990	$4,8 \cdot 10^3$
10	Горячий	220	$2,4 \cdot 10^{-4}$	900	$3,53 \cdot 10^3$
	Холодный	35	$5,5 \cdot 10^{-4}$	990	$4,0 \cdot 10^3$
11	Горячий	190	$2,3 \cdot 10^{-4}$	890	$3,0 \cdot 10^3$
	Холодный	40	$5,1 \cdot 10^{-4}$	1030	$4,24 \cdot 10^3$
12	Горячий	235	$2,1 \cdot 10^{-4}$	850	$2,95 \cdot 10^3$
	Холодный	10	$5,44 \cdot 10^{-4}$	1000	$4,19 \cdot 10^3$

### Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

### Практическое занятие №7. Исследование процесса разделения многокомпонентной смеси в газовом сепараторе.

Цель работы

1. Ознакомиться с методикой расчета процесса однократного испарения.
2. Практически освоить методику исследования на ЭВМ процесса разделения углеводородной смеси в газовом сепараторе.
3. Изучить влияние температуры, давления, состава сырья на процесс разделения газожидкостной смеси в каскаде сепараторов и выбрать эффективный режим работы с использованием информационно-моделирующей системы (ИМС).

Исходные данные для расчета процесса разделения многокомпонентной углеводородной смеси

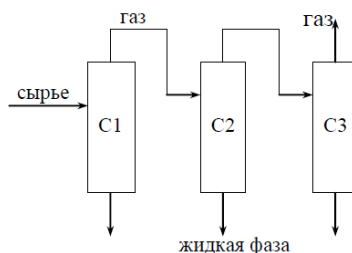


Рисунок Схема технологического процесса

Таблица Варианты технологических параметров процесса низкотемпературной сепарации

Номер варианта	Технологические параметры по сепараторам		
	1 сепаратор	2 сепаратор	3 сепаратор
1	$P_1=13,8$ Мпа $T_1=21,8^{\circ}\text{C}$	$P_1=9,7$ Мпа $T_1=8,6^{\circ}\text{C}$	$P_1=5,4$ Мпа $T_1=34,8^{\circ}\text{C}$
2	$P_1=10,1$ Мпа $T_1=30,8^{\circ}\text{C}$	$P_1=9,4$ Мпа $T_1=0,9^{\circ}\text{C}$	$P_1=5,1$ Мпа $T_1=35,1^{\circ}\text{C}$
3	$P_1=13,9$ Мпа $T_1=16,5^{\circ}\text{C}$	$P_1=9,8$ Мпа $T_1=3,2^{\circ}\text{C}$	$P_1=5,4$ Мпа $T_1=34,5^{\circ}\text{C}$

Для проведения расчета сепарационного блока процесса разделения многокомпонентной углеводородной смеси необходимы следующие данные:

1. Расход сырья, кг/год.
2. Температура в сепараторах,  $^{\circ}\text{C}$ .
3. Давление, Па.
4. Состав сырья, мольные доли.

Варианты заданий

Таблица Исследование влияния технологических параметров на процесс низкотемпературной сепарации

Номер варианта	Задание
1	Исследовать влияние температуры в первом сепараторе: $T_1=16$ оC; $T_2=12$ оC; $T_3=19$ оC
2	Исследовать влияние давления в первом сепараторе: $P_1=13,9$ Мпа; $P_2=11,2$ Мпа; $P_3=9,8$ Мпа
3	Исследовать влияние температуры во втором сепараторе: $T_1=-3$ оC; $T_2=-6$ оC; $T_3=-9$ оC
4	Исследовать влияние давления во втором сепараторе: $T_2=-5$ оC; $P_1=8$ Мпа; $P_2=9$ Мпа; $P_3=10$ Мпа
5	Исследовать влияние давления во втором сепараторе: $P_1=8$ Мпа; $P_2=7$ Мпа; $P_3=10$ Мпа
6	Исследовать влияние количества сепараторов: 1, 2, 3. Условия проведения процесса: $P_1=14$ Мпа; $T_1=16$ оC; $P_2=11$ Мпа; $T_2=-3$ оC; $P_3=9$ Мпа; $T_3=-35$ оC
7	Исследовать влияние температуры в третьем сепараторе: $T_1=-34,5$ оC; $T_2=-30,0$ оC; $T_3=-37,5$ оC
8	Исследовать влияние температуры в третьем сепараторе: $P=5$ Мпа; $T_1=-30,0$ оC; $T_2=-34,5$ оC; $T_3=-37,0$ оC
9	Исследовать влияние давления в третьем сепараторе: $T_3=-32,0$ оC; $P_1=5$ Мпа; $P_2=7$ Мпа; $P_3=10$ Мпа
10	Исследовать влияние давления во втором сепараторе: $P_1=8$ Мпа; $P_2=9$ Мпа; $P_3=10$ Мпа



11	Исследовать влияние температуры во втором сепараторе: $T1=-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $T2=-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $T3=-15\text{ }^{\circ}\text{C}$
12	Исследовать влияние давления во втором сепараторе: $P1=9,8\text{ МПа}$ ; $P2=8,8\text{ МПа}$ ; $P3=7\text{ МПа}$
13	Исследовать влияние температуры в первом сепараторе: $T1=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $T2=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $T3=30\text{ }^{\circ}\text{C}$
14	Исследовать влияние давления в первом сепараторе: $P1=13,9\text{ МПа}$ ; $P2=11,0\text{ МПа}$ ; $P3=9,0\text{ МПа}$

Таблица Состав исходной смеси и технологические параметры процесса низкотемпературной сепарации

Номер варианта	Компоненты	Состав, мольн. доли	Молек. масса, мольн. доли	Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup>	Технолог. параметры	
					давление, МПа	температура, $^{\circ}\text{C}$
1	CO <sub>2</sub>	0,0074	120,0	721,3	$P1=8,7$ $P2=8,5$ $P3=4,8$	$T1=24,0$ $T2=0,0$ $T3=-28,0$
	Азот	0,0257				
	CH <sub>4</sub>	0,8701				
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0344				
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0253				
	i-C <sub>4</sub>	0,0065				
	C-4	0,0076				
	i-C <sub>5</sub>	0,0031				
	C-5	0,0027				
	OST	0,0172				
	H <sub>2</sub> O	0,0	100,0	721,3	$P1=9,0$ $P2=8,7$ $P3=5,2$	$T1=23,0$ $T2=3,0$ $T3=-32,0$
	Метанол	0,0				
	CO <sub>2</sub>	0,0088				
	Азот	0,0289				
	CH <sub>4</sub>	0,8544				
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0366				
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0286				
	i-C <sub>4</sub>	0,0087				
	C-4	0,0112				
	i-C <sub>5</sub>	0,0023				
	C-5	0,0019				
	OST	0,0186				
	H <sub>2</sub> O	0,0	121,5	721,3	$P1=13,8$ $P2=9,7$ $P3=5,4$	$T1=21,8$ $T2=-8,6$ $T3=-34,8$
	Метанол	0,0				
	CO <sub>2</sub>	0,0054				
	Азот	0,0265				
	CH <sub>4</sub>	0,8495				
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0422				
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0263				
	i-C <sub>4</sub>	0,0060				
	C-4	0,0055				
	i-C <sub>5</sub>	—				
	C-5	0,0083				
	OST	0,0297				
	H <sub>2</sub> O	0,0032				
	Метанол	0,0003				

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой расчета процесса однократного испарения.
2. Подготовить исходные данные для расчета.
3. Выполнить расчет.. Исследовать влияние технологических параметров на процесс сепарации.

4. Результаты расчета представить в виде таблиц и графиков, выбрать эффективный режим разделения.

5. Составить отчет.

### **Критерии оценки:**

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

## **Практическое занятие №8. Математическое моделирование процесса ректификации.**

### **Цель работы**

1. Ознакомиться с методикой математического моделирования процесса разделения многокомпонентной смеси в ректификационной колонне.

2. Выполнить расчет материального и теплового балансов, составов паровой и жидкой фаз процесса ректификации.

3. Исследовать влияние технологических параметров на процесс ректификации.

### **Порядок расчетов**

Решение приведенных выше уравнений математической модели ректификационной колонны проводят в следующей последовательности:

1. Задаются данные, необходимые для расчета колонны:

- количество тарелок ( $N$ );
- характеристики потоков питания: массовый расход ( $F_{mi}$ ), температура ( $T_{Fi}$ ), состав ( $x_{Fi}$ );
- массовый расход дистиллята ( $D$ ), кубового продукта ( $W$ ), потоков отбора жидкости ( $U_i$ ) и флегмы ( $L_{N+1}$ ); для начального пересчета массовых расходов в мольные задаются ориентировочные значения средних молярных масс жидкости и пара в дефлегматоре, кубе и на тарелках отгона;
- температуры потока жидкости, поступающей из дефлегматора ( $T_d$ ) и потока греющего пара из куба ( $T_k$ );
- давление в колонне ( $P$ ).

2. Начальные приближения:

- начальный профиль температур - линейный;
- начальное приближение  $L_i$  и  $G_i$  рассчитывается из общего материального баланса и предположения, что ректификация эквимольна.

3. Расчётная (итерационная) часть:

- расчёт профиля концентраций ( $x_i, y$ ) из покомпонентного материального баланса;
- расчёт температур на тарелках ( $T$ ) и  $K_i$  из предположения, что жидкость на тарелке находится при температуре кипения:

$$T_i = T + \frac{T_d - T}{n + 1} i$$

Константа фазового равновесия находится по уравнению Антуана

$$K_j = \frac{P_j}{P}$$

$$\ln P_j = A_j - \frac{B_j}{T + C_j}$$

где

$A_j, B_j, C_j$  - коэффициенты уравнения Антуана ;

$T$  - температура процесса, К;

$P_j$  - давление  $j$ -го компонента в системе (мм. рт. ст);

$P$  - общее давление в системе (мм. рт. ст).

- расчет расходов жидкости и пара  $G$  и  $L$ , из теплового и общего материального балансов.

Пересчет концентраций, температур и расходов продолжается до тех пор, пока не будет найдено решение с требуемой степенью точности.

Варианты заданий и исходные данные для расчета процесса ректификации

Таблица - Исходные технологические данные для расчета ректификационной колонны

25	Количество тарелок
0	расход газообразного дистиллята, кг/ч
6200	расход жидкого дистиллята, кг/ч
16000	расход флегмы, кг/ч
0	расход пара из куба, кг/ч
20800	расход жидкого кубового продукта, кг/ч
1,47	давление в колонне, МПа
22,0	температура в дефлегматоре, °С (первое приближение)
190	температура в кубе, °С (первое приближение)
50	средняя молярная масса пара в дефлегматоре, г/моль (первое приближение)
95	средняя молярная масса пара в кубе, г/моль (первое приближение)
50	средняя молярная масса жидкости в дефлегматоре, г/моль (первое приближение)
95	средняя молярная масса жидкости в кубе, г/моль (первое приближение)
<b>Питание жидкостью</b>	
1	количество питающих тарелок
20	номера питающих тарелок
27000	расходы питания, кг/ч
110	температуры входных потоков, °С
<b>Составы входных потоков, мольные проценты</b>	
0,25	CH <sub>4</sub>

0,61	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
4,21	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
3,73	и-C <sub>4</sub>
7,86	н-C <sub>4</sub>
6,52	и-C <sub>5</sub>
7,63	н-C <sub>5</sub>
69,19	C <sub>6</sub> +

Таблица - Состав потока питания ректификационной колонны K<sub>2</sub>

Наименование компонента	Содержание, мольн. %			
	I	II	III	IV
CH <sub>4</sub>	0,25	0,1	0,67	12,02
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,61	0,36	3,84	5,45
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	4,21	2,93	20,92	18,82
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	3,73	3,22	8,89	7,67
П-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	7,86	6,76	13,16	11,23
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	6,52	6,22	8,07	7,00
н-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	7,63	7,16	9,10	7,49
C <sub>6</sub> +	69,19	73,25	35,35	30,32
ИТОГО:	100,00	100,00	100,00	100,00
C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub>	16,66	13,27	47,48	55,19

Таблица - Технологические данные для исследования процесса ректификации

Вариант задания	Технологический параметр	г	Значения параметра			
		1	2	3	4	
I	Расход жидкого дистиллята, кг/ч	6000	6100	6200	6300	
	Расход жидкого кубового продукта, кг/ч	21000	20900	20800	20700	
II	Расход флегмы, кг/ч	14000	15000	16000	17000	
III	Номер питающей тарелки	16	18	20	22	
IV	Температура питания, °C	100	110	120	130	
V	Температура в кубе, °C	170	180	190	200	

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с математической моделью и методикой расчета процесса ректификации.
2. Подготовить исходные данные для расчета процесса ректификации.
3. Выполнить расчет..
4. Результаты расчета представить в виде таблиц и графиков, выбрать эффективный режим разделения для получения стабильного конденсата.
5. Составить отчет.

### Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

## Практическое занятие №9. Моделирование кинетики гомогенных химических реакций.

### Цель работы

1. Ознакомиться с методами построения кинетических моделей гомогенных химических реакций.
2. Рассчитать изменение концентраций в ходе химической реакции.
3. Сравнить численные методы Эйлера и Рунге-Кутты при решении прямой кинетической задачи.
4. Исследовать влияние температуры на выход продуктов и степень превращения.
5. Дать рекомендации по условиям проведения реакций с целью получения максимального выхода целевых продуктов.

### Задания:

Определить кинетические зависимости компонентов гомогенной последовательности химической реакции, протекающей при постоянной температуре  $T$  и при постоянном объеме реагентов. Известны значения констант скорости  $k_i$  каждой стадии при температуре и начальные значения концентрации компонентов  $C_i(0)$ .

**Таблица Варианты заданий**

№ задания	Уравнение химической реакции	Начальные концентрации, моль/л	Значение констант скоростей при $T = 580 \text{ K}$			Значения энергии активации $E$ , Дж/моль		
			$k_1$	$k_2$	$k_3$	$E_1$	$E_2$	$E_3$
1	$k_1$ $2A \leftrightarrow 2B + C$ $k_2$	$CA_0 = 0,5$	0,2	0,15	-	$9,305 \cdot 10^4$	$10,110^4$	-
2	$k_1$ $2A \rightarrow B + C$ $k_2$ $k_3$ $D + E \rightarrow B$	$CA_0=0,3;$ $CE_0=0,2;$ $CD_0=0,2$	0,4	0,2	0,3	$11,514 \cdot 10^4$	$9,524 \cdot 10^4$	$7,254 \cdot 10^4$
3	$k_1$ $A \leftrightarrow 2B + C$ $k_2$ $k_3$ $B + D \rightarrow C$	$CA_0=0,3;$ $CD_0=0,4$	0,2	0,2	0,1	$12,444 \cdot 10^4$	$14,897 \cdot 10^4$	$14,110^4$

4	$\begin{array}{c} k_1 \\ A + B \leftrightarrow 2C \\ k_2 \\ k_3 \\ C + D \rightarrow E \end{array}$	CA0=0,2; CB0=0,3; CD0=0,i	0,4	0,2	0,i5	14,305 10 <sup>4</sup>	12,594 10 <sup>4</sup>	13,51110 <sup>4</sup>
5	$\begin{array}{c} k_1 \\ 2A+B \leftrightarrow C \\ k_2 \end{array}$	CA <sub>0</sub> =0,2 CB <sub>0</sub> =0,i	0,4	0,2	-	11,51410 <sup>4</sup>	10,386 10 <sup>4</sup>	-
6	$\begin{array}{c} k_1 \\ A+2C \leftrightarrow B \\ k_2 \\ k_3 \\ B \rightarrow 2D \end{array}$	CA0=0,6; CC0=0,8	0,42	0,2	0,25	11,354 10 <sup>4</sup>	9,592-10 <sup>4</sup>	9,43110 <sup>4</sup>
7	$\begin{array}{c} k_1 \\ A \rightarrow E+C \\ k_2 \\ 2C \leftrightarrow D \\ k_3 \end{array}$	CA0=0,3	0,3	0,25	0,i8	14,1810 <sup>4</sup>	13,344-10 <sup>4</sup>	13,762 10 <sup>4</sup>
8	$\begin{array}{c} k_1 \\ A \leftrightarrow B+C \\ k_2 \\ k_3 \\ 2A \rightarrow D \end{array}$	CA <sub>0</sub> =0,4	0,5	0,2	0,1	15,852 10 <sup>4</sup>	15,01610 <sup>4</sup>	14,389-10 <sup>4</sup>
9	$\begin{array}{c} k_1 \\ A \leftrightarrow B \\ k_2 \end{array}$	CA <sub>0</sub> =0,2; CB <sub>0</sub> =0,05	0,37	0,16	-	12,71710 <sup>4</sup>	13,727-10 <sup>4</sup>	-
10	$\begin{array}{c} k_1 \nearrow B \\ A \\ k_2 \searrow C \end{array}$	CA0=0,7; CB <sub>0</sub> =CC <sub>0</sub> =0	0,4	0,2	-	10,35110 <sup>4</sup>	9,18010 <sup>4</sup>	-
11	$\begin{array}{c} k_1 \nearrow B \\ A \xleftrightarrow{k_2} C \\ k_3 \searrow C \end{array}$	CA0=0,6; CB <sub>0</sub> =CC <sub>0</sub> =0	0,19	0,2	0,12	11,18310 <sup>4</sup>	12,10310 <sup>4</sup>	10,264-10 <sup>4</sup>
12	$\begin{array}{c} k_1 \nearrow B \\ A \xleftrightarrow{k_2} C \\ k_3 \searrow C \end{array}$	CA0=0,2; CB0=0,1; CC0=0	0,5	0,2	0,1	10,010 <sup>4</sup>	9,810 <sup>4</sup>	9,5 10 <sup>4</sup>
13	$\begin{array}{c} A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2B \\ B \xrightarrow{k_3} C+D \end{array}$	CA0=0,2 CB0=0,15	0,4	0,14	0,21	9,810 <sup>4</sup>	9,5 10 <sup>4</sup>	8,610 <sup>4</sup>
14	$A \xrightarrow{k_1} 2B \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} C$	CA0=0,46	0,38	0,24	0,11	12,410 <sup>4</sup>	1110 <sup>4</sup>	9,6-10 <sup>4</sup>

15	$A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} B+C$ $A \xrightarrow{k_3} 2D$	$CA_0=0,5$	0,5	0,2	0,1	$12,0 \cdot 10^4$	$11 \cdot 10^4$	$9,5 \cdot 10^4$
16	$A+B \xrightleftharpoons[k_3]{k_1} 2C \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} D$	$CA_0=0,44;$ $CB_0=0,22$	0,52	0,34	0,15	$8,5 \cdot 10^4$	$9,6 \cdot 10^4$	$10,5 \cdot 10^4$
17	$A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2B \xrightarrow{k_3} C$	$CA_0=0,25$	0,2	0,08	0,28	$9,2 \cdot 10^4$	$9,8 \cdot 10^4$	$11,5 \cdot 10^4$
18	$2A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} B \xrightarrow{k_3} C$	$CA_0=0,62$	0,44	0,11	0,17	$10,2 \cdot 10^4$	$10,2 \cdot 10^4$	$11,5 \cdot 10^4$

### Порядок выполнения работы

1. Составить, в соответствии с заданной схемой реакций, на основании закона действующих масс кинетическую модель.
2. Разработать алгоритм расчёта составленной кинетической модели с использованием численных методов Эйлера и Рунге-Кутты.
3. Обсудить результаты. Сделать выводы по работе.
4. Составить отчет.

### Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствие с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

### Практическое занятие №10. Моделирование кинетики гетерогенных химических реакций.

#### Цель работы

1. Ознакомиться с методами построения кинетических моделей гетерогенных химических реакций.
2. Составить кинетическую модель гетерогенной химической реакции в соответствии с заданным механизмом.
3. Выбрать численный метод и разработать программу расчета.
4. Исследовать динамику изменения концентраций реагирующих веществ реакции и промежуточных соединений.

#### -Варианты заданий

№ задания	Уравнение химической реакции	Начальные концентрации, мольн. доли	Значения констант скоростей
-----------	------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------

1	2	3	4
1	$C_5H_{12} + z \xleftarrow{k_1} zC_5H_{12}$ $zC_5H_{12} \xleftarrow{k_2} zC_2H_6 \cdot C_3H_6$ $zC_2H_6 \cdot C_3H_6 \xrightarrow{k_3} z + C_2H_6 + C_3H_6$ $C_5H_{12} \longrightarrow C_2H_6 + C_3H_6$	$CC_5H_{12}(0)=0,64;$ $CC_2H_6(0)=0;$ $CC_3H_6(0)=0;$ $Z(0)=1;$ $ZC_5H_{12}(0)=0;$ $ZC_2H_6 \cdot ZC_3H_6(0)=0$	$k_1=0,43;$ $k_2=0,33;$ $k_3=0,21;$ $k-1=0,07;$ $k-2=0,12$
2	$C_4H_8 + z \xleftarrow{k_1} zC_4H_8$ $zC_4H_8 + C_4H_8 \xrightarrow{k_2} zC_8H_{10} + 3H_2$ $zC_8H_{10} \xleftarrow{k_3} z + C_8H_{10}(\text{ксилол})$ $2C_4H_8 \longrightarrow C_8H_{10} + 3H_2$	$CC_4H_8(0)=0,72;$ $CC_8H_{10}(0)=0;$ $CH_2(0)=0;$ $Z(0)=1;$ $Z C_4H_8(0)=0;$ $Z C_8H_{10}(0)=0$	$k_1=0,38;$ $k_2=0,33;$ $k_3=0,29;$ $k-1=0,13;$ $k-3=0,07$
3	<b>Реакция диспропорционирования</b> $C_3H_8 + z \xleftarrow{k_1} zC_3H_8$ $zC_3H_8 + C_3H_8 \xleftarrow{k_2} zC_4H_{10} + C_2H_6$ $zC_4H_{10} \xrightarrow{k_3} z + C_4H_{10}$ $2C_3H_8 \longrightarrow C_2H_6 + C_4H_{10}$	$CC_3H_8(0)=0,73;$ $CC_2H_6(0)=0;$ $CC_4H_{10}(0)=0;$ $Z(0)=1;$ $Z C_3H_8(0)=0;$	$k_1=0,48;$ $k_2=0,32;$ $k_3=0,30;$ $k-1=0,12;$ $k-2=0,08$
4	<b>Реакция изомеризации пентана</b> $H-C_5H_{12} + z \xleftarrow{k_1} z \cdot H-C_5H_{12}$ $zC_5H_{12} \xleftarrow{k-2} z \cdot \text{изо} - C_5H_{12}$ $z \cdot \text{изо} - C_5H_{12} \xrightarrow{k_3} z + \text{изо} - C_5H_{12}$ $H-C_5H_{12} \longrightarrow \text{изо} - C_5H_{12}$	$CC_5H_{12}(0)=0,64;$ $C_{\text{изо}}-C_5H_{12}(0)=0;$ $Z(0)=1;$ $Z_{H-C_5H_{12}}(0)=0;$ $Z_{\text{изо}}-C_5H_{12}(0)=0$	$k_1=0,32;$ $k_2=0,18;$ $k_3=0,14;$ $k-1=0,09;$ $k-2=0,08$
5	<b>Реакция изомеризации пентана</b> $H-C_5H_{12} + z \xleftarrow{k_1} z \cdot H-C_5H_{12}$ $zC_5H_{12} \xleftarrow{k-2} z \cdot \text{изо} - C_5H_{12}$ $z \cdot \text{изо} - C_5H_{12} \xrightarrow{k_3} z + \text{изо} - C_5H_{12}$ $H-C_5H_{12} \longrightarrow \text{изо} - C_5H_{12}$	$CC_3H_8(0)=0,73;$ $CC_2H_6(0)=0;$ $CC_4H_{10}(0)=0;$ $Z(0)=1;$ $Z c_3H_8(0)=;$ $Z c_4H_{10}(0)=0$	$k_1=0,54;$ $k_2=0,48;$ $k_3=0,38;$ $k-1=0,02;$ $k-2=0,11$
6	<b>Реакция диспропорционирования</b> $C_3H_8 + z \xleftarrow{k_1} zC_3H_8$ $zC_3H_8 + C_3H_8 \xleftarrow{k_2} zC_4H_{10} + C_2H_6$ $zC_4H_{10} \xrightarrow{k_3} z + C_4H_{10}$ $2C_3H_8 \longrightarrow C_2H_6 + C_4H_{10}$	$CC_3H_8(0)=0,73;$ $CC_2H_6(0)=0;$ $CC_4H_{10}(0)=0;$ $Z(0)=1;$ $Z c_3H_8(0)=0$	$k_1=0,54;$ $k_2=0,43;$ $k-1=0,0;$ $k-2=0,11$



7	$\text{N}_2 + z \xrightleftharpoons{k1} z\text{N}_2$ $z\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \xrightleftharpoons{k2} z\text{N}_2 \cdot 3\text{H}_2$ $z\text{N}_2 \cdot 3\text{H}_2 \xrightarrow{k3} z(\text{NH}_3)_2$ $z(\text{NH}_3)_2 \xrightarrow{k4} z + 2\text{NH}_3$ $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3$	$\text{CN}_2(0)=0,2;$ $\text{CH}_2(0)=0,8;$ $\text{CNH}_3(0)=0;$ $\text{Z}(0)=1;$ $\text{ZN}_2(0)=z\text{N}_2 \cdot 3\text{H}_2(0)=$ $=\text{Z}(\text{NH}_3)_2(0)=0$	$k1=0,32;$ $k2=0,29;$ $k3=0,44;$ $k4=0,25;$ $k-1=0,32;$ $k-2=0,29$
8	<b>Реакция олигомеризации</b> $\text{C}_3\text{H}_6 + z \xrightarrow{k1} z\text{C}_3\text{H}_6$ $z\text{C}_3\text{H}_6 + \text{C}_3\text{H}_6 \xrightleftharpoons{k2} z\text{C}_3\text{H}_6 \cdot \text{C}_3\text{H}_6$ $z\text{C}_3\text{H}_6 \cdot \text{C}_3\text{H}_6 \xrightleftharpoons{k3} z + \text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2$ $2\text{C}_3\text{H}_6 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2$	$\text{CC}_3\text{H}_6(0)=0,5;$ $\text{CC}_6\text{H}_6(0)=0;$ $\text{CH}_2(0)=0;$ $\text{Z}(0)=1;$ $\text{ZC}_3\text{H}_6(0)=0;$ $\text{ZC}_3\text{H}_6\text{C}_3\text{H}_6(0)=0$	$k1=0,15;$ $k2=0,10;$ $k3=0,08;$ $k-2=0,01;$ $k-3=0,005$
9	<b>Реакция олигомеризации</b> $\text{C}_3\text{H}_6 + z \xrightarrow{k1} z\text{C}_3\text{H}_6$ $z\text{C}_3\text{H}_6 + \text{C}_3\text{H}_6 \xrightleftharpoons{k2} z\text{C}_3\text{H}_6 \cdot \text{C}_3\text{H}_6$ $z\text{C}_3\text{H}_6 \cdot \text{C}_3\text{H}_6 \xrightarrow{k3} z\text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2$ $z\text{C}_6\text{H}_6 \xrightarrow{k4} z + \text{C}_6\text{H}_6$ $2\text{C}_3\text{H}_6 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2$	$\text{CC}_3\text{H}_6(0)=0,5;$ $\text{ZC}_6\text{H}_6(0)=0;$ $\text{CH}_2(0)=0;$ $\text{Z}(0)=1;$ $\text{ZC}_3\text{H}_6(0)=0;$ $\text{Z C}_3\text{H}_6 \cdot \text{C}_3\text{H}_6(0)=0$	$k1=0,15;$ $k2=0,10;$ $k3=0,08;$ $k4=0,12$
10	<b>Реакция олигомеризации</b> $\text{C}_3\text{H}_6 + z \xrightarrow{k1} z\text{C}_3\text{H}_6$ $z\text{C}_3\text{H}_6 + \text{C}_4\text{H}_8 \xrightarrow{k2} z\text{C}_3\text{H}_6 \cdot \text{C}_4\text{H}_8$ $z\text{C}_3\text{H}_6 \cdot \text{C}_4\text{H}_8 \xrightarrow{k3} z\text{C}_7\text{H}_8 + 3\text{H}_2$ $z\text{C}_7\text{H}_8 \xrightarrow{k4} z + \text{C}_7\text{H}_8(\text{толуол})$ $\text{C}_3\text{H}_6 + \text{C}_4\text{H}_8 \longrightarrow \text{C}_7\text{H}_8 + 3\text{H}_2$	$\text{CC}_4\text{H}_8(0)=0,5;$ $\text{CC}_3\text{H}_6(0)=0,5;$ $\text{CC}_7\text{H}_8(0)=0;$ $\text{CH}_2(0)=0;$ $\text{Z}(0)=1;$ $\text{ZC}_3\text{H}_6(0)=0;$ $\text{ZC}_4\text{H}_8(0)=0;$ $z\text{C}_7\text{H}_8(0)=0$	$k1=0,2;$ $k2=0,10;$ $k3=0,08;$ $k4=0,1$
11	<b>Реакция крекинга</b> $\text{C}_4\text{H}_{10} + z \xrightleftharpoons{k1} z\text{C}_4\text{H}_{10}$ $z\text{C}_4\text{H}_{10} \xrightleftharpoons{k2} z\text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$ $z\text{C}_2\text{H}_4 \xrightarrow{k3} z + \text{C}_2\text{H}_4$ $\text{C}_4\text{H}_{10} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}(0)=0,9; 10 \text{ 4 н с}$ $\text{CC}_2\text{H}_6(0)=0;$ $\text{CC}_2\text{H}_4(0)=0;$ $\text{Z}(0)=1;$ $\text{ZC}_4\text{H}_{10}(0)=0;$ $\text{Z C}_2\text{H}_4(0)=0$	$k1=0,17;$ $k2=0,12;$ $k3=0,095;$ $k-1=0,051;$ $k-2=0,043$

12	$\text{CO} + \text{z} \xrightarrow{k_1} \text{zCO}$ $\text{zCO} + 3\text{H}_2 \xrightarrow{k_2} \text{zCO} \cdot 3\text{H}_2$ $\text{zCO} \cdot 3\text{H}_2 \xrightarrow{k_3} \text{zH}_2\text{O} + \text{CH}_4$ $\text{zH}_2\text{O} \xrightarrow{k_4} \text{z} + \text{H}_2\text{O}$ <hr/> $\text{CO} + 3\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	$C_{\text{CO}}(0)=0,26;$ $C_{\text{H}_2}(0)=0,85;$ $C_{\text{CH}_4}(0)=0;$ $C_{\text{H}_2\text{O}}(0)=0;$ $Z(0)=1;$ $Z_{\text{CO}}(0)=Z_{\text{CO}} \cdot 3\text{H}_2(0)=$ $=z\text{H}_2\text{O}=0$	$k_1=0,23;$ $k_2=0,41;$ $k_3=0,44;$ $k_4=0,25$
----	---	---	---

### Порядок выполнения работы

1. Составить кинетическую модель гетерогенной химической реакции.
2. Выбрать метод решения системы дифференциальных уравнений.
3. Обсудить результаты. Сделать выводы по работе.
4. Составить отчет.

### Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствие с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

## Практическое занятие №11. Моделирование гомогенных химических реакторов.

### Цель работы

1. Составить математическую модель химического реактора.
2. Рассчитать изменения концентраций реагирующих веществ на выходе из реактора и профиль температур.
3. Исследовать влияние времени контакта на выход продуктов реакций.
4. Сравнить протекание химических реакций в реакторах идеального вытеснения и идеального перемешивания.

### -Варианты заданий

№ п/п	Тип реакции	Исходная концентрация, кмоль/м <sup>3</sup>	Константы скорости	Энергии активации, кДж/моль	Температура, К
1	$\text{C}_8\text{H}_{18} \xrightarrow{k_1} \text{i-C}_8\text{H}_{18} \xrightarrow{k_2} \text{C}_4\text{H}_{10} + \text{C}_4\text{H}_8$	$C_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = 0,0388$	$k_1=0,12;$ $k_2=0,80$	$E_1=94,2;$ $E_2=81,2$	610
2	$\text{n-C}_7\text{H}_{16} \xrightarrow{k_1} \text{C}_3\text{H}_6 + \text{C}_4\text{H}_{10}$ $\text{C}_4\text{H}_{10} \xrightarrow{k_2} \text{i-C}_4\text{H}_{10}$	$C_{\text{n-C}_7\text{H}_{16}} = 0,0343$	$k_1=0,18;$ $k_2=0,29$	$E_1=95,11;$ $E_2=122,76$	690

3	$2C_2H_4 \xrightarrow{k_1} C_4H_8$ $C_4H_8 \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} i-C_4H_8$	$Cc_{2H4} = 0,0296$	$k_1=0,38;$ $k_2=0,14;$ $k_3=0,11$	$E_1=59,48;$ $E_2=162,57;$ $E_3=157,12$	800
4	$C_2H_6 + C_4H_{10} \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2C_3H_8$	$Cc_{2H6} = 0,0175;$ $Cc_{4H10} = 0,0117$	$k_1=0,54;$ $k_2=0,12$	$E_1=96,14;$ $E_2=83,60$	810
5	$C_5H_{10} + H_2 \xrightarrow{k_1} C_5H_{12}$ $C_5H_{12} \xrightarrow{k_2} i-C_5H_{12}$	$Cc_{5H10} = 0,0166;$ $Ch_2 = 0,0166$	$\kappa_1=0,5;$ $\kappa_2=0,2$	$E_1=101,21;$ $E_2=115,05$	710
6	$C_6H_{14} \xrightarrow{k_1} 2\text{-метилпентан}$ $2\text{-метилпентан} \xrightarrow{k_2} 2,3\text{-диметилбутан}$	$Cc_{6H14} = 0,0338$	$\kappa_1=0,4;$ $\kappa_2=0,2$	$E_1=75,13;$ $E_2=94,18$	700
7	$C_6H_{14} \xrightarrow{k_1} 2\text{-метилпентан}$ $C_6H_{14} \xrightarrow{k_2} 2,3\text{-диметилбутан}$	$Cc_{6H14} = 0,0394$	$M=0,2;$ $\kappa_2=0,4$	$E_1=95,31;$ $E_2=76,17$	600
8	$C_6H_{14} \xrightarrow{k_1} 2\text{-метилпентан}$ $2\text{-метилпентан} \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} 2,3\text{-диметилбутан}$	$Cc_{6H14} = 0,0328$	$\kappa_1=0,3;$ $\kappa_2=0,2;$ $\kappa_3=0,1$	$E_1=79,64;$ $E_2=83,23;$ $E_3=107,11$	720
9	$C_6H_{14} \xrightleftharpoons[k_3]{k_1} 2\text{-метилпентан}$ $2\text{-метилпентан} \xrightarrow{k_2} 2,3\text{-диметилбутан}$	$Cc_{6H14} = 0,0358$	$\kappa_x=0,25;$ $\kappa_2=0,10;$ $\kappa_3=0,25$	$E_1=87,23;$ $E_2=104,75;$ $E_3=78,61$	660
10	$C_8H_{18} \xrightarrow{k_1} i-C_8H_{18} \xrightarrow{k_2} C_4H_{10} + C_4H_8$	$Cc_{8H18} = 0,036$	$\kappa_1=0,12;$ $\kappa_2=0,80$	$E_1=94,2;$ $E_2=81,2$	620
11	$n-C_7H_{16} \xrightarrow{k_1} C_3H_6 + C_4H_{10}$ $C_4H_{10} \xrightarrow{k_2} i-C_4H_{10}$	$CC_{7H16} = 0,028$	$k_1=0,18;$ $\kappa_2=0,29$	$E_1=95,11;$ $E_2=122,76$	650
12	$2C_2H_4 \xrightarrow{k_1} C_4H_8$ $C_4H_8 \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} i-C_4H_8$	$Cc_{2H4} = 0,0316$	$\kappa_1=0,38;$ $\kappa_2=0,14;$ $\kappa_3=0,11$	$E_1=59,48;$ $E_2=162,57;$ $E_3=157,12$	760
13	$2C_2H_4 \xrightarrow{k_1} C_4H_8$ $C_4H_8 \xrightleftharpoons[k_3]{k_2} i-C_4H_8$	$Cc_{2H6} = 0,016;$ $Cc_{4H10} = 0,016$	$\kappa_1=0,54;$ $\kappa_2=0,12$	$E_1=96,14;$ $E_2=83,60$	790
14	$C_5H_{10} + H_2 \xrightarrow{k_1} C_5H_{12}$ $C_5H_{12} \xrightarrow{k_2} i-C_5H_{12}$	$Cc_{5H10} = 0,017;$ $Ch_2 = 0,014$	$*1=0,5;$ $*2=0,2$	$E_1=101,21;$ $E_2=115,05$	710

15	$  \begin{array}{c}  \text{C}_6\text{H}_{14} \xrightarrow{k_1} \text{2-метилпентан} \\  \downarrow k_2 \\  \text{2,3-диметилбутан}  \end{array}  $	$C_{\text{C}_6\text{H}_{14}}=0,0286$	$k_1=0,4;$ $k_2=0,2$	$E_1=75,13;$ $E_2=94,18$	680
16	$  \begin{array}{c}  \text{C}_6\text{H}_{14} \xrightarrow{k_1} \text{2-метилпентан} \\  \searrow k_2 \\  \text{2,3-диметилбутан}  \end{array}  $	$C_{\text{C}_6\text{H}_{14}}=0,0283$	$k_1=0,2;$ $k_2=0,4$	$E_1=95,31;$ $E_2=76,17$	580

### Порядок выполнения работы

1. В соответствии с заданием составить математическое описание химического реактора.
2. Разработать алгоритм и программу расчёта.
3. Провести расчёты изменения концентраций веществ, температуры, степени превращения от времени и времени контакта.
4. Полученные результаты оформить в виде таблиц и графиков.
5. Составить отчёт о проделанной работе.

### Содержание отчета

1. Представить математическую модель реактора со всеми параметрами, алгоритм и описание программы.
2. Обосновать выбор численного метода решения математической модели.
3. Представить таблицы и графики, обсуждение результатов, сделать выводы по проделанной работе.

### Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствие с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

### Практическое занятие №12. Математическое моделирование технических систем

Задание: провести математическое моделирование процесса превращения нитробензола до анилина в трубчатом реакторе с применением ПО Mathcad.

### Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствие с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

**Типовые вопросы для проведения собеседование по модулям дисциплины:**

№ п/п	Вопросы
<b>Модуль 1</b>	
1.	Понятие моделирования, модели.
2.	Виды моделирования, виды моделей. Классификация моделей.
3.	Математическое моделирование, математические модели. Формы представления математических моделей. Структурные схемы и методы их преобразования.
4.	Понятия функции отклика и факторов. Основные допущения регрессионного анализа
5.	Формулировка задачи аппроксимации. Критерий метода наименьших квадратов. Решение задачи аппроксимации.
6.	Основные положения теории планирования экспериментов: полный факторный эксперимент (ПФЭ) и обработка его результатов. Блоки сложного процесса системы – основа для построения структуры сложного процесса в технологическом объекте.
7.	Методы обработки результатов моделирования. Особенности полунатурного моделирования систем.
8.	Построение статических и динамических моделей. Построение эмпирических моделей. Линейный регрессионный анализ для построения эмпирических моделей.
9.	Понятия функции отклика и факторов. Основные допущения регрессионного анализа.
10.	Формулировка задачи аппроксимации. Критерий метода наименьших квадратов. Решение задачи аппроксимации.
11.	Основные положения теории планирования экспериментов: полный факторный эксперимент (ПФЭ) и обработка его результатов.
12.	В чем преимущество активного эксперимента?
13.	Какие переменные называются факторами?
14.	Что такое факторное пространство?
15.	Дайте понятие поверхности отклика?
16.	В виде, какого уравнения чаще представляются уравнения регрессии?
17.	Какие методы расчета коэффициентов уравнения регрессии вы знаете?
18.	Поясните сущность метода наименьших квадратов?
19.	Системный синтез. Составление модели сложного технологического объекта как сложной системы на основе системного анализа и синтеза.
20.	Учет взаимодействия объекта моделирования со средой.
21.	Границы применения детерминированных методов.
22.	Основные статистические характеристики физических процессов.

	Постановка задачи статистического моделирования систем.
23.	Методы и алгоритмы моделирования случайных процессов с заданными статистическими характеристиками.
24.	Методы обработки результатов моделирования. Особенности полунатурного моделирования систем.

## **10. Образовательные технологии и методические указания по освоению дисциплины (учебного курса)**

При реализации учебного курса дисциплины используются следующие технологии:

- технология традиционного обучения, включающая лекции и практические работы, которые предполагают последовательное изложение материала преподавателем. Лекция с элементами дискуссии, с использованием технологий развития критического мышления. Практическое занятие с решением задач, обсуждение результатов деятельности, проводится обсуждение результатов деятельности;
- технология проектного обучения: применяются лекции-консультации с использованием метода защиты проекта.

### **Методические рекомендации студентам**

Изучить учебный материал по дисциплине «Моделирование технических систем», используя лекционный материал и материал библиотечного фонда по данной тематике, акцентировать внимание на изучении видов систем, законов протекания реакций и моделирования, ответить на контрольные вопросы:

1. Понятие о модели и моделировании.
2. Примеры моделирования в агрономии.
3. Классификация математических моделей.
4. Эмпирические и теоретические модели, их сущность и примеры.
5. Свойства (функции) модели.
6. Принципы моделирования.
7. Этапы моделирования: выбор типа и обоснование степени ее сложности, разработка содержания модели.
8. Обусловленность использования регрессионных моделей особенностями эмпирических данных.
9. Динамические модели.

### **Моделирование, основные понятия и определения.**

В данном разделе необходимо изучить основные понятия и принципы, лежащие в основе моделирования. Математическое моделирование включает в себя три основных этапа:

1. Формализацию изучаемого процесса - построение математической модели (составление математического описания);

2. Установления соответствия (адекватности) модели изучаемому процессу. Студент при изучении материала должен разобраться с тем, какие задачи решаются на каждом этапе.

Вопросы для самопроверки.

1. Что такое моделирование?
2. Какие виды моделирования вам известны?
3. Как подразделяются параметры, влияющие на параметры объекта моделирования?
4. Какие величины называются входными?
5. Какие величины называются управляющими?
6. Какие величины называются возмущающими?
7. Что такое входные величины?
8. В чем заключается составление математического описания?
9. Какой принцип используется при составлении математического описания?
10. Какие задачи решаются на втором этапе построения моделей?
11. Каким образом производится проверка модели на адекватность объекту?

Физическое и математическое моделирование

Существуют два вида моделирования: физическое и математическое. Изучаемая тема посвящена изложению основных положений этих видов моделирования, их достоинств и недостатков. Особое внимание студент должен обратить на принципы, лежащие в основе видов моделирования.

Вопросы для самопроверки.

1. Что такое физическое моделирование?
2. В чем заключается математическое моделирование?
3. Какой принцип лежит в основе физического моделирования?
4. Что представляет собой принцип изоморфности?
5. Какие достоинства и недостатки физического моделирования вам известны?
6. Дайте определение математической модели?
7. Какие уравнения входят в структуру математической модели?
8. Перечислите типы уравнений, которые могут входить в математическую модель?

Классификация моделей

По режимам работы объекта моделирования модели делятся на: статические и динамические. По свойствам объекта модели классифицируются на модели с распределенными и с сосредоточенными параметрами. Целью изучения темы является ознакомление с данной классификацией и отличительными особенностями моделей.

Вопросы для самопроверки.

1. Дайте понятие статической модели?
2. Дайте понятие динамической модели?
3. Приведите пример модели с распределенными параметрами.
4. Приведите пример модели с сосредоточенными параметрами.
5. При решении, каких задач используются динамические и статические модели?

### Виды моделей

При исследовании химико-технологических систем используются различные модели: иконографические, операционно-описательные, символические, топологические, сетевые и т. д.

При изучении данной темы необходимо выяснить, что представляют собой эти модели, чем они отличается друг от друга, для решения каких задач используются.

#### Вопросы для самопроверки

1. Дать понятие иконографической модели.
2. Дайте понятие операционно-описательной модели.
3. Дать понятие символической модели.
4. В чем различие между топологической и сетевой моделью?
5. Техническое и программное обеспечение математического моделирования

В настоящее время существует большое количество пакетов программ разработки и проведения имитационного моделирования. Наиболее распространенные MathCAD и MatLAB. Выбор технических средств для проведения моделирования в основном определяется требованиями, которые предъявляют пакеты имитационного моделирования к ресурсам компьютера.

#### Вопросы для самопроверки.

1. Какие языки используются при составлении программ расчетов моделей?
2. Какие пакеты программы могут использоваться при моделировании?

Построение математических моделей систем экспериментальным методом

При изучении материала студент должен уяснить понятия: пассивного и активного эксперимента, факторного пространства, фактора поверхности отклика, уравнения регрессии и его коэффициентов, какие методы, используются для расчета этих коэффициентов.

#### Вопросы для самопроверки.

1. Какие виды экспериментов вы знаете?
2. В чем преимущество активного эксперимента?
3. Какие переменные называются факторами?
4. Что такое факторное пространство?
5. Дайте понятие поверхности отклика?
6. В виде, какого уравнения чаще представляются уравнения регрессии?
7. Какие методы расчета коэффициентов уравнения регрессии вы знаете?
8. Поясните сущность метода наименьших квадратов?

Нахождение уравнений регрессии по данным пассивного эксперимента

Студент должен ознакомиться с методами определения оценок параметров уравнений регрессии (корреляции) по данным пассивного эксперимента и проверки значимости параметров и адекватности моделей. Все эти методики предлагается изучить на примерах: линейной регрессии от одного параметра; параболической регрессии; трансцендентной регрессии; множественной корреляции.



#### Вопросы для самопроверки.

1. В чем заключается метод регрессионного и корреляционного анализа?
2. Что такое сила линейной связи и как она определяется для уравнения линейной регрессии от данного параметра?
3. По какому критерию проверяется адекватность уравнения?
4. Что такое трансцендентная регрессия и когда она применяется?
5. Как определяется теснота нелинейной связи?
6. Что такое выборочный коэффициент корреляции?
7. Как определяется коэффициент множественной корреляции?
8. Получение уравнения регрессии по данным активного эксперимента

Математическую модель статистики исследуемого объекта можно получить по результатам активного эксперимента. Активный эксперимент позволяет сократить затраты на расчет модели. Методы планирования эксперимента позволяют создать план оптимальных исследований. При ознакомлении с материалом необходимо разобраться с методами получения оптимальных планов и расчета коэффициентов уравнения регрессии по результатам активного эксперимента.

#### Вопросы для самопроверки.

1. Что такое оптимальный план?
2. Что такое уровень плана?
3. Как определить количество опытов в полном факторном эксперименте?
4. Как рассчитываются коэффициенты уравнения регрессии по результатам полного факторного эксперимента?
5. В чем заключается оценка значимости уравнения регрессии?

#### **Методические рекомендации по изучению Модулю №2.**

##### **При освоении темы необходимо:**

- изучить учебный материал по теме, используя основную и дополнительную литературу, а так же теоретический материал, представленный в лабораторных работах,
- выполнить задание после теоретической части по представленному алгоритму;
- ответить на контрольные вопросы.

##### **Построение математических моделей систем аналитическим методом**

При знакомстве с материалом данной темы необходимо разобраться с порядком составления математической модели, уяснить, что основой структуры математического описания является гидродинамическая модель, запомнить основные элементарные процессы, уравнения которых входят в математическое описание. Все многообразие математических моделей потоков, возникающих в различных аппаратах, в зависимости от вида функции распределения может быть представлено в виде ряда типовых моделей. Описанию этих типовых моделей посвящен материал данной темы. Студент должен обратить свое внимание на различие моделей и на области их применения.

### Вопросы для самопроверки

1. Что предшествует составлению математического описания?
2. Что является основой структуры математического описания?
3. Уравнения, каких "элементарных" процессов входят в математическое описание?
4. Что такое модель идеального смешения?
5. Что такое модель идеального вытеснения?
6. Чем отличаются диффузионные модели от моделей идеального вытеснения?
7. Для каких аппаратов может быть применена ячеечная модель?
8. Что такое время пребывания частицы в аппарате?
9. Для чего используются допущения при составлении математического описания?
10. Какие группы допущений вы знаете?
11. Какие допущения входят в каждую группу?

#### Математическое моделирование тепловых процессов

При моделировании теплообменных аппаратов установлено, что движение потоков теплоносителя и хладагента математически описывается с достаточной степенью адекватности двумя простейшими гидродинамическими моделями: идеальное вытеснение и идеальное смешение. В зависимости от того, какой моделью описывается движение теплоносителя и хладагента, можно получить 3 типа моделей теплообменных аппаратов: 1) смешение - смешение, 2) вытеснение - вытеснение, 3) вытеснение - смешение. Значительно реже используются ячеечная и диффузионная модели. Более сложные модели практически не применяются. Кроме того, существуют модели теплообменников с учетом тепловой инерционности стенки аппарата и модели, в которых тепловой инерционностью стенки пренебрегают.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие допущения принимаются при моделировании теплообменных аппаратов?
2. Какие элементарные модели используются для математического описания теплообменных аппаратов?
3. Какие виды теплообменных аппаратов вы знаете?

#### Математическое моделирование массообменных процессов

При математическом моделировании массообменных аппаратов в соответствии с блочным принципом необходимо сформулировать допущения относительно гидродинамики (первый блок) и относительно массопередачи (второй блок).

В общем случае при математическом описании массообменных аппаратов используют самые разнообразные гидродинамические модели за исключением модели идеального смешения, которая описывает процесс неадекватно.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие допущения принимаются при описании массообменных аппаратов?

2. Какие элементарные модели используются при математическом описании массообменных аппаратов?
3. Какие виды массообменных процессов вы знаете?

#### Математическое моделирование реакционных процессов

При построении математического описания химических реакторов используют самые разнообразные гидродинамические модели. Основная трудность построения математической модели заключается в отсутствии достаточно надежной кинетики. Известно, что скорость химического превращения описывается законом действующих масс, труднее установить действительный механизм реакции.

При математическом моделировании химических реакторов принимают, что скорость химической реакции  $w_i$  измеряется в моль/(м<sup>3</sup>с) - гомогенные реакции - и определяется в соответствии с законом действующих масс.

Математическая модель химического реактора представляет собой уравнения материального баланса по компонентам выражающих закон сохранения массы и уравнение теплового баланса, составляемого в соответствии с законом сохранения энергии.

#### Вопросы для самопроверки.

1. Какие виды систем дифференциальных уравнений могут быть решены с помощью ЭВМ?
2. Какие численные методы решения дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений вы знаете?
3. Каким образом можно получить передаточную функцию из дифференциального уравнения?
4. Как определить дискретную передаточную функцию по непрерывной передаточной функции?
5. Какие типовые задачи моделирования объектов вы знаете?
6. Для чего используется математическая модель в каждой типовой задаче?
7. Какие типовые задачи моделирования АСР и САУ вы знаете?
8. Каким образом используются математические модели АСР и САУ в решении типовых задач?

## 11. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (учебного курса)

### 11.1. Обязательная литература

№ п/п	Библиографическое описание	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Количество в библиотеке
1.	<b>Гумеров А. М.</b> Математическое моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. М. Гумеров. - Изд. 2-е, перераб. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 176 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1533-5.	учеб. пособие	ЭБС "Лань"
2.	<b>Петров А. В.</b> Моделирование процессов и систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. В. Петров. - Санкт-Петербург : Лань, 2015. - 288 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1886-2.	учеб. пособие	ЭБС "Лань"
3.	<b>Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования</b> [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов вузов / Г. В. Алексеев [и др.]. - Саратов : Вузовское образование, 2014. - 203 с. : ил. - (Высшее образование).	учеб. пособие	ЭБС "IPRbooks"

### 11.2. Дополнительная литература и учебные материалы (аудио-, видеопособия и др.)

- фонд научной библиотеки ТГУ:

№ п/п	Библиографическое описание	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, аудио-, видео-пособия и др.)	Количество в библиотеке
1.	<b>Кочегурова Е. А.</b>	учеб. пособие	ЭБС "IPRbooks"

№ п/п	Библиографическое описание	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, аудио-, видео-пособия и др.)	Количество в библиотеке
	Теория и методы оптимизации [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е. А. Кочегурова ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2013. - 133 с. - ISBN 978-5-4387-0237-5.		
2.	<b>Бочкарев В. В.</b> Оптимизация химико-технологических процессов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. В. Бочкарев ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2014. - 263 с. - ISBN 978-5-4387-0420-1.	учеб. пособие	ЭБС "IPRbooks"
3.	<b>Общая химическая технология</b> [Электронный ресурс] : основные концепции проектирования химико-технологических систем : учебник / И. М. Кузнецова [и др.] ; под ред. Х. Э. Харлампи. - Изд. 2-е, перераб. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 380 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1479-6.	учебник	ЭБС "Лань"
4.	<b>Семакина О. К.</b> Машины и аппараты для переработки минерального сырья [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О. К. Семакина, Д. А. Горлушко ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2014. - 90 с. - ISBN 978-5-4387-0359-4.	учеб. пособие	ЭБС "IPRbooks"

- другие фонды:

№ п/п	Библиографическое описание	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, аудио-, видеопособия и др.)	Место хранения (методический кабинет кафедры, городские библиотеки и др.)
1.	Кравцова М.В. Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Моделирование технических систем».	учебно-методическое пособие	методический кабинет кафедры

СОГЛАСОВАНО

Директор научной библиотеки

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

МП

\_\_\_\_\_  
(подпись)

А.М. Асаева  
(И.О. Фамилия)

### 11.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

- WebofScience[Электронный ресурс] : мультидисциплинарная реферативная база данных. – Philadelphia: ClarivateAnalytics, 2016. – Режим доступа : [apps.webofknowledge.com](https://apps.webofknowledge.com). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Scopus[Электронный ресурс] : реферативная база данных. – Netherlands: Elsevier, 2004. – Режим доступа : [scopus.com](https://scopus.com). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Elibrary[Электронный ресурс] : научная электронная библиотека. – Москва : НЭБ, 2000. – Режим доступа : [elibrary.ru](https://elibrary.ru). – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- <http://thescipub.com/journals/ajeas> - рецензируемый журнал American Journal of Engineering and Applied Sciences - публикует результаты исследований в области инженерных наук (прикладная физика и прикладная математика, автоматизация и управление, химическая технология, компьютерная техника, информатику, инженерные данные и разработка программного обеспечения, экологическая инженерия, электротехника, промышленная инженерия, информационные технологии и информатика, материаловедение, измерение и метрология, машиностроение, медицинская физика, энергетика, обработка сигналов и телекоммуникации.
- <http://rsta.royalsocietypublishing.org/> - журнал Philosophical Transactions A предоставляет свободный доступ к научным публикациям по следующим темам: инженерные, физические, математические науки.
- <http://www.medwelljournals.com/archive.php?jid=1816-949x> – журнал Journal of Engineering and Applied Sciences (Medwell Journals) представляет статьи с результатами научных исследований в области инженерных наук (математика, электротехника, машиностроение, энергетика, автомобилестроение, биохимическая инженерия, строительная инженерия и т.д.).
- <http://www.kirj.ee/engineering> - международный научный журнал The Estonian Journal of Engineering, публиковавший научно-исследовательские статьи с 1995 по 2014 гг., представляющие интерес для широкого спектра инженерных специальностей; выпускался при поддержке Эстонской академии наук.
- <https://doaj.org/> - ресурс, который обеспечивает доступ к полнотекстовым электронным журналам предназначен для поиска по названию статьи (журнала) или по теме. DOAJ ставит целью всестороннее освещение научной периодики, находящейся в открытом доступе и использующей определенные меры, гарантирующие достойное качество их содержания.
- <http://www.sciencedomain.org/journal-home.php?id=6> - журнал British Journal of Mathematics & Computer публикует результаты исследований в области математики и информационных технологий.
- <http://www.enveurope.com> - статьи журнала Environmental Sciences Europe, посвященного защите окружающей среды.

- <http://www.gjesm.net> - статьи журнала Global Journal of Environmental Science and Management, посвященного защите окружающей среды, промышленной экологии и управлению в этой области.
- <http://www.sciencedomain.org/archives.php?iid=1160&id=16> - архив рецензируемого журнала American Chemical Science Journal, посвященного общим вопросам химии в следующих предметных областях: органическая химия, неорганическая химия, физическая химия, промышленная химия, химическая технология, аналитическая химия, медицинская химия, супрамолекулярная химия высокомолекулярных соединений и нанохимия и др. прикладных дисциплинах химической науки.
- <http://www.epo.org/searching/free.html> - библиотека патентов
- <https://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf> - поиск по международным и национальным патентным фондам, поиск как на русском, так и на других языках

#### 11.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Количество лицензий	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	MathCAD	15	- Акт п/п от 21.07.09 (Гос. Контракт 487 от 28.05.09) (бессрочный)
2	Office Standart	1398	- Office Standart (Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия - бессрочно; Договор № 727 от 20.07.2016г., срок действия – бессрочно).
3	Windows	1398	- Windows (Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия - бессрочно).

#### 11.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий	Перечень основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др.	Площадь, м <sup>2</sup>	Количество посадочных мест
1	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового	Стол� ученические трехместные (моноблок), моноблоки двухместные, стол преподавательский, стул преподавательский, доска аудиторная (меловая), кафед-	445020 Самарская область, г. Тольятти, Центральный р-н, ул. Белорусская, д. 16Б, 4 этаж, позиция по ТП №18.	62,10	66



№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий	Перечень основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др.	Площадь, м <sup>2</sup>	Количество посадочных мест
	проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. (А-419)	ра.			
2	Компьютерный класс. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для проведения лабораторных работ. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. (А-415)	Стол� ученические, стулья ученические, доска аудиторная (меловая), ПК, проектор, экран переносной, рабочий стол, письменный угловой стол, преподават. стол.	445020 Самарская область, г. Тольятти, Центральный р-н, ул. Белорусская, д. 16Б, 4 этаж, позиция по ТП №20.	43,40	10
3	Компьютерный класс. Помещение для самостоятельной работы. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых	Стол� ученические, стулья ученические, ПК с выходом в сеть Интернет.	445020 Самарская область, г. Тольятти, Центральный р-н, ул. Белорусская, д. 14, 4 этаж, позиция по ТП №48.	84,80	16

№ п/п	Наименование оборудо- ванных учебных каби- нетов, лабораторий, ма- стерских и др. объектов для проведения практи- ческих и лабораторных занятий	Перечень основного обо- рудования	Фактический адрес учебных кабинетов, лабораторий, ма- стерских и др.	Площадь, м <sup>2</sup>	Количество посадочных мест
	работ). Учебная ауди- тория для проведения групповых и индиви- дуальных консульта- ций. Учебная аудито- рия для проведения занятий текущего контроля и промежу- точной аттестации. (Г-401)				