

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Б1.О.27.04
(индекс дисциплины)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая химическая технология 4

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки
18.03.01 Химическая технология

направленность (профиль)
Машины и аппараты химических производств

Форма обучения: очно-заочная

Год набора: 2026

Общая трудоемкость: 4 ЗЕ

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр	9	Итого
Форма контроля	Экзамен	
Вид занятий		
Лекции	24	24
Лабораторные	24	24
Практические	12	12
Руководство: курсовые работы (проекты) / РГР	1	1
Промежуточная аттестация	0,35	0,35
Контактная работа	61,35	61,35
Самостоятельная работа	47	47
Контроль	35,65	35,65
Итого	144	144

Рабочую программу составил(и):

Доцент, кандидат химических наук **Болотин А.В.**

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

Рецензирование рабочей программы дисциплины:

☒

Отсутствует

☐

Рецензент

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана направления подготовки 18.03.01 Химическая технология

Срок действия рабочей программы дисциплины до «31» августа 2031 г.

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры

«Химическая технология и ресурсосбережение»

(протокол заседания № 1 от «29» августа 2025 г.).

1. Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – изучение теоретических закономерностей основных процессов химической технологии, знакомство с теорией химических реакторов и общими принципами разработки химико-технологических процессов на основе системного подхода.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплины и практики, на освоении которых базируется данная дисциплина: «Проблемы устойчивого развития», «Общая и неорганическая химия», «Органическая химия», «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа».

Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «Коллоидная химия», «Химия и физика высокомолекулярных соединений», «Химия и технология неорганических веществ», «Технология производства капролактама и полиамида», «Технология производства синтетического каучука».

3. Планируемые результаты обучения

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
ОПК-3 – Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом законодательства Российской Федерации, в том числе в области экономики и экологии.	ОПК-3.1 Использует при решении профессиональных задач законодательство Российской Федерации; нормативные и методические материалы по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов	Знать: Основные виды российских и международных нормативных документов в области стандартизации, основные принципы стандартизации и сертификации, основные принципы управления качеством продукции.
		Уметь: Осуществлять поиск нормативно-технической документации для решения практических задач.
		Владеть: Навыками разработки нормативно-технической документации в области стандартизации, сертификации и управления качеством.
ОПК-4 Способен обеспечивать проведение технологического процесса, использовать технические средства для контроля параметров технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции, осуществлять изменение	ОПК-4.1 Производит расчеты основных процессов химической технологии: гидромеханических, тепловых, массообменных и других с целью определения основных рабочих параметров	Знать: Процессы химической технологии, аппараты и методы их расчёта, основные понятия управления технологическими процессами, методы оптимизации химико-технологических процессов, методологию исследования взаимодействия процессов химических превращений и явлений переноса.

параметров технологического процесса при изменении свойств сырья.	аппаратов и энергозатрат на осуществление этих процессов	Уметь: Контролировать параметры технологического процесса, свойств сырья и готовой продукции.
		Владеть: Навыками использования технических средств контроля за параметрами технологического процесса, а также навыками осуществления изменений параметров технологического процесса и эксплуатации технологических аппаратов при отклонениях от установленных норм с соблюдением требований безопасности.
	ОПК-4.2 Оценивает технологическую эффективность и безопасность производства и принимает технические решения по изменению режимов работы оборудования и приборов	Знать: Назначение, устройство и применение типовых элементов технологического оборудования; Основные этапы проектирования надежного оборудования и правила оформления конструкторской документации.
		Уметь: Проектировать в соответствии с техническим заданием типовое оборудование, в том числе читать чертежи, изготавливать эскизы и другую техническую документацию; Выбирать по каталогам стандартные функциональные узлы и механизмы для комплектации машинных агрегатов, а также проводить расчетную оценку работоспособности и безопасности этих устройств в применении к заданным производственным условиям; Оформлять графическую и текстовую документацию на технические средства в соответствии с действующими стандартами.
		Владеть: Навыками проектирования простейших аппаратов и технологического оборудования.
	ОПК-4.3 Проводит мониторинг работоспособности технологического оборудования и помещений, используемых в технологическом процессе, и оценивает значимость обнаруженных	Знать: Отечественную и зарубежную нормативную документацию по метрологии, стандартизации и сертификации.
		Уметь: Анализировать характер и состояние производства и принимать решение о возможности использования конкретных средств измерения для контроля

	отклонений и несоответствий технологического процесса	технологического процесса химических производств; Выбирать методики анализа и проведения измерений в нормативной документации на продукты, полупродукты и отходы производства.
		Владеть: Навыками самостоятельного проведения измерения и анализа полученных результатов с точки зрения их правильности и воспроизводимости, с использованием методов математической статистики.

4. Структура и содержание дисциплины «Общая химическая технология 4».

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Модуль 1. «Явления самоорганизации и их роль в рациональной организации процессов химической технологии».	Лек 1	Понятие синергетики. Явления самоорганизации в физике и химии. Значение синергетики для химической технологии.	9	2	-	-	-
	Лек 2	Примеры образования диссипативных структур. Тепловая конвекция как прототип явлений самоорганизации в физике. Модель хищник-жертва в экологических системах).	9	2	-	-	-
	Лек 3	Концентрационные колебания в химических системах. Характеристики колебательных систем. Классификация колебаний. Колебательные химические реакции Брея-Либавски, Бриггса-Раушера Белоусова-Жаботинского. Проточный реактор с перемешиванием. Реакции на твердых катализаторах. Второй закон термодинамики в синергетике. Общие сведения о динамических системах. Их классификация.,	9	2	-	-	-

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Пр 1	Проведение реакции Белоусова-Жаботинского. Теоретическое изучение механизма колебательной реакции лимонной кислоты с броматом калия.	9	2	-	-	-
	Лаб 1	Экспериментальное изучение реакции Бриггса-Раушера («Йодные часы»).	9	4	-	-	-
	Пр 2	Расчёт энтропии. Решение задач из разделов «Второе начало термодинамики», «Линейная неравновесная термодинамика».	9	2	-	-	-
Модуль 2. «Неравновесная термодинамика необратимых процессов – новое направление в решении проблем химии и химической технологии».	Лек 4	Термодинамическая функция Ляпунова вдали от состояния термодинамического равновесия.	9	2	-	-	-
	Лек 5	Метод термодинамической функции Ляпунова для выявления химических осцилляторов в проточных реакторах.	9	2	-	-	-
	Лек 6	Метод термодинамической функции Ляпунова для определения размера реактора с целью поддержания устойчивого режима.	9	2	-	-	-

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Лек 7	Метод термодинамической функции Ляпунова для исследования устойчивости гидродинамических режимов в аппарате со взвешенным слоем.	9	2	-	-	-
	Лек 8	Осцилляторы при кристаллизации малорастворимых веществ и в реакторах с рециклами. Современное состояние проблемы колебательных реакций в химии и химической технологии.	9	2	-	-	-
	Пр 3	Исследование решений уравнений на устойчивость с помощью функции Ляпунова. Исследование особой точки систем или уравнений.	9	2	-	-	-
	Лаб 3	Основные типы нелинейного поведения каталитических систем на примере реакции Белоусова-Жаботинского.	9	4	-	-	-
	Пр 4	Построение фазовых портретов линейных систем, обладающих неподвижными точками. Узел (устойчивый, неустойчивый), седло, центр, фокус (устойчивый, неустойчивый).	9	2	-	-	-

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Лаб 4	Изучение математической модели Бриггса-Раушера, зависимости характера колебаний в модели от скорости реакции в модели Буассонада.	9	4	-	-	-
Модуль 3. «Введение в качественную теорию и теорию бифуркаций динамических систем применительно к химии и химической технологии».	Лек 9	Качественные линейные модели. Качественные исследования линейных систем дифференциальных уравнений. Фазовые портреты. Классификация неподвижных точек на прямой. Классификация неподвижных точек на плоскости.	9	2	-	-	-
	Лек 10	Качественная теория нелинейных систем на плоскости. Предельные циклы в нелинейных системах. Бифуркации в нелинейных системах.	9	2	-	-	-
	Лек 11	Детерминированный хаос в химических системах. Примеры хаотического поведения в химических системах. Переход к хаосу в модели Ресслера. Странные аттракторы. Странный аттрактор системы Лоренца. Колебания в режиме странного аттрактора в реакторе с рециклом в процессе получения фосфорной кислоты	9	2	-	-	-

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
		мокрым способом. Показатели Ляпунова и их определение. Этапы исследования физико-химических процессов. Показатели Ляпунова, производство энтропии, избыточное производство энтропии при синтезе фосфита натрия.					
	Лек 12	Базовые математические модели, способные приводить системы к самоорганизации: модель Лотки-Вольтерра; колебания в системах ферментативных реакций с обратной связью; автоколебания в ферментативных реакциях с субстратным и продуктивным угнетениями; колебания в реакторах непрерывного действия; модели «Брюсселятор» и «Орегонатор»; пространственная самоорганизация в процессах радикальной полимеризации.	9	2	-	-	-
	Пр 5	Решение задач, моделирующих процессы в химии и химической технологии.	9	2	-	-	-
	Лаб 5	Изучение бифуркаций на основе динамических моделей химических реакторов непрерывного и полупериодического действия.	9	4	-	-	-

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Пр 6	Решение дифференциальных уравнений, описывающих нелинейные системы.	9	2	-	-	-
	Лаб 6	Компьютерное моделирование реактора для проведения гетерогенно-каталитического процесса.	9	4	-	-	-
	Ср	Изучение теоретического материала. Подготовка отчетов по лабораторным работам и практическим занятиям.	9	47	-	-	-
	ПА	Экзамен	9	0.35	-	-	-
Итого:				144			

1.Образовательные технологии

При реализации учебного курса дисциплины используется технология традиционного обучения, включающая лекции и практические занятия, которые предполагают последовательное изложение материала преподавателем. Лекция с элементами дискуссии, с использованием технологий развития критического мышления. Лабораторное занятие с решением прикладных задач, проводится обсуждение результатов деятельности.

2.Методические указания по освоению дисциплины

При освоении темы необходимо:

- изучить учебный материал по дисциплине «Общая химическая технология», используя лекционный материал и материал библиотечного фонда по данной тематике;
- акцентировать внимание на изучении химико-технологических процессов; основных технологических показателях, моделей реакторов различного типа, основных промышленных процессов.

Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы:

1. Изучение теоретического материала по изучаемой теме, изложенного в учебно-методическом пособии.

2. Вопросы для самостоятельной работы студентов

- общая технологическая структура химического производства;
- основные показатели эффективности химического производства;
- классификация химических производств;
- закономерности гомогенных и гетерогенных реакций;
- основные стадии каталитических реакций;
- основные характеристики реакторов идеального смешения;
- основные характеристики реакторов идеального вытеснения;
- классификация реакторов по температурному режиму;
- способы теплообмена в химическом реакторе;
- способы повышения массообмена в реакторах для процессов между реагентами, находящимися в разных фазах;
- характеристики катализаторов каталитических стадий производства аммиака: парового риформинга метана, конверсии оксида углерода, синтеза аммиака;
- основные технологические параметры стадии синтеза аммиака;
- стадии производства серной и азотной кислот.

3. Подготовка к аудиторным занятиям (практическим и лабораторным работам и промежуточной аттестации).

4. Самостоятельное прочтение, просмотр, Интернет-ресурсы, повторение учебного материала.

5. Подготовка сообщений, докладов, выступлений на семинарских и практических занятиях, подбор литературы по дисциплинарным проблемам.

6. Практические занятия включают в себя решение прикладных, расчетных и ситуационных задач, обсуждение результатов деятельности.

7. Подготовка отчетов по практическим занятиям:

7.1. Предоставление отчета в электронном виде с названием файла в соответствие с вариантом и требованиями к содержанию отчета.

7.2. При сдаче отчета студент должен ответить на вопросы преподавателя по теме практической работе в устной форме, используя отчет по практической работе.

7.3. Форма отчета по лабораторной работе:

Название лабораторного занятия и вариант

Теоретическая часть
Реактивы, материалы, оборудование, посуда
Ход работы
Результаты и выводы по работе
Ответы на контрольные вопросы
7.4 Форма отчета по практическому занятию Название практического занятия и вариант
Цель и задачи
Теоретическая часть
Ход работы (расчеты)
Результаты и выводы по работе
Ответы на контрольные вопросы

Темы письменных работ

Письменные работы учебным планом не предусмотрены.

3.Оценочные средства

7.1. Паспорт оценочных средств

Семестр	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
9.	ОПК-3, ОПК-4	Отчеты по лабораторным № 1 - 6 и практическим работам № 1 - 6 в печатном и электронном виде. Вопросы к экзамену № 1-53.

7.2. Типовые задания или иные материалы, необходимые для текущего контроля

7.2.1 Отчет по лабораторному занятию

(наименование оценочного средства)

Типовой пример задания

Лабораторная работа «Моделирование реактора для проведения гетерогенно-каталитического процесса».

Цель работы: приобретение практических навыков в математическом описании реактора идеального вытеснения и реализация МО в виде моделирующей программы.

Задания к работе:

Работа выполняется на ПЭВМ каждым студентом самостоятельно. Исходные данные приведены в таблице:

Вариант	Значения параметров						
	Исходные данные			Зад. 2 и 5	Зад. 6	Задание 10	
	a, %	b, %	E, Дж/моль	tzad, мин	x _z	x ₀	x _k
1	11	10	89000	530	0.74	0	60
2	5	14	88800	540	0.80	64	90
3	11	9	88600	550	0.85	0	50
4	7	11	88400	560	0.90	0	55
5	8	10	88200	570	0.76	0	70
6	9	8	88000	580	0.81	10	60
7	8	13	87800	530	0.86	50	90
8	7.5	12	89400	540	0.91	60	80
9	7	10	89200	550	0.77	20	70
10	6	13	89000	560	0.82	20	60
11	10	6,7	88800	570	0.87	30	70
12	6	12	88600	580	0.92	40	90
13	8	9	88400	570	0.78	45	75
14	11	8	88200	540	0.83	85	92
15	8	11	88000	560	0.88	10	75
Пример	7.5	11,5	87800	550	0.75	0	64

Вариант выбирается по номеру студента в списке группы.

Для выполнения работы необходимо изучить:

- влияние температуры на константу равновесия и равновесный состав;
- влияние температуры на скорость реакции окисления диоксида серы;
- методику расчета равновесного состава контактного газа;
- использование стандартных функций программы для нахождения максимума функции.

– расчет времени контакта для достижения заданной степени превращения на основе кинетического уравнения.

Задачи работы:

1. Построить график зависимости влияния температуры на скорость окисления SO_2 при заданном значении степени превращения (x_z). Описать эту зависимость;
2. Определить значение максимальной скорости реакции окисления SO_2 , достигаемой при x_z ;
3. Определить температуру, соответствующую максимальной скорости реакции окисления SO_2 ;
4. Составить функцию пользователя для расчета состава контактного газа при любом значении степени превращения SO_2 ;
5. Рассчитать время контакта, необходимое для окисления SO_2 от степени превращения x_0 до x_k при постоянной температуре.

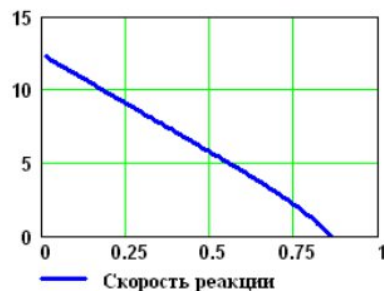
Требования к содержанию отчета: Отчет должен содержать: тему лабораторной работы, фамилию, группу студента, исходные данные, результаты выполнения заданий, выводы.

Пример выполнения заданий в среде MathCad:

Задание 5. Постройте график зависимости скорости реакции при заданном значении температуры от степени превращения.

$T_{\text{зад}} := 823.15$

$x2 := 0.01, 0.02 \dots 0.95$



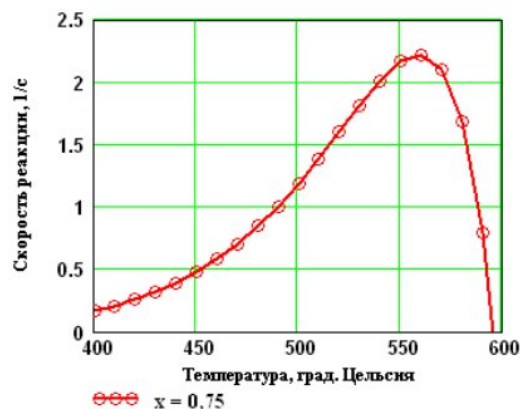
Вывод: При увеличении степени превращения при постоянной температуре $t = 550^\circ\text{C}$ скорость реакции уменьшается и при $x \sim 0.86$ становится равной нулю, так как достигается равновесная степень превращения (см. задание 2).

Рисунок 4 – Зависимость скорости реакции от степени превращения

Задание 6. Постройте график зависимости влияния температуры на скорость реакции при заданном значении степени превращения xz .

$T := 400 + 273.15, 410 + 273.15 \dots 660 + 273.15$

$xz := 0.75$



Выводы:

1. При повышении температуры скорость реакции вначале возрастает, достигает максимального значения, а затем резко снижается. Это характерно для всех обратимых экзотермических реакций, так как при повышении температуры константа скорости увеличивается, а константа равновесия уменьшается.
2. При заданной степени превращения существует температура (**topt**), при которой достигается максимальная скорость процесса (**Rmax**).

Рисунок 5 – Зависимость скорости реакции от температуры при степени превращения $xz = 0.75$

Задание 7. Определите максимальную скорости реакции **Rmax** при xz .

$j := 0 \dots 250$ $T1_j := 400 + 273.15 + j$

$M_j := r(0.75, T1_j)$ $\max R := \max(M^T)$ $\max R = 2.22$

Задание 8. Определите температуру **topt**, соответствующую максимальной скорости реакции

$T2 := 850$ Given $10^6 \max R - 10^6 r(0.75, T2) = 0$ $T_{\text{opt}} := \text{Find}(T2)$

$\text{topt} := T_{\text{opt}} - 273.15$ $\text{topt} = 559 \text{ } ^\circ\text{C}$

Задание 9. Составьте функцию пользователя для расчета состава контактного газа при любом значении степени превращения SO_2 .

$$N(x) := \left[a \cdot \frac{(1-x)}{1-0.5 \cdot a \cdot x} \quad \frac{b-0.5 \cdot a \cdot x}{1-0.5 \cdot a \cdot x} \quad \frac{1-a-b}{1-0.5 \cdot a \cdot x} \quad \frac{a \cdot x}{1-0.5 \cdot a \cdot x} \right]^T$$

Состав газа при $x := 0.8$ $N(x) \cdot 100 = \begin{pmatrix} 1.546 \\ 8.763 \\ 83.505 \\ 6.186 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \text{SO}_2 \\ \text{O}_2 \\ \text{N}_2 \\ \text{SO}_3 \end{pmatrix}$ Проверка: $\sum_{i=0}^3 N(x)_i = 1$

Задание 10. Рассчитайте время контакта, необходимое для окисления SO_2 от степени превращения x_0 до x_k при постоянной температуре T_z .

Скорость реакции окисления SO_2 – это степень превращения SO_2 в единицу времени, то есть $\frac{dx}{dt} = r(x, T)$, откуда $dt = \frac{dx}{r(x, T)}$. Составим функцию пользователя для расчета τ .

$$\tau(T, x_0, x_k) := \int_{x_0}^{x_k} \frac{1}{r(x, T)} dx$$

$T_z := 500 + 273.15$ $\tau(T_z, 0, 0.64) = 0.197$ $\tau(T_z, 0.7, 0.9) = 0.264$ $\tau(T_z, 0.9, 0.935) = 0.615$

Контрольные вопросы

1. Каковы условия движения потока при режиме идеального вытеснения?
2. Охарактеризуйте реакцию окисления диоксида серы.
3. Как изменяется константа равновесия для обратимых экзотермических реакций?
4. Приведите зависимость константы скорости реакции от температуры.
5. Приведите график зависимости скорости реакции от температуры.
6. Почему скорость реакции окисления диоксида серы при повышении температуры проходит через максимум?
7. Как можно определить максимальное значение функции в системе MathCad?
8. Каким образом можно определить значение температуры, соответствующее максимальному значению скорости окисления диоксида серы?
9. Приведите характеристическое уравнение реактора идеального вытеснения.
10. Как рассчитывается время контактирования для достижения заданной степени превращения?

Список рекомендуемой литературы

1. Гартман, Т.Н. Основы компьютерного моделирования химикотехнологических процессов: учеб. пособие / Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин. - М.: Академкнига, 2008. - 416 с.
2. Макаров, Е. Г. Инженерные расчеты в MathCad 14 / Евгений Макаров. - СПб.: Питер, 2007. - 592 с.
3. Общая химическая технология: Учебник для технических вузов / А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.С. Беренгартен и др. – М.: Академкнига, 2007. – 528 с

Критерии оценки:

8 баллов – студент выполнил работу в полном объеме, без ошибок. Ответил на все поставленные ему вопросы.

7 баллов – студент выполнил работу в полном объеме, без ошибок ответил на один из поставленных преподавателем вопросов.

6 баллов – студент выполнил работу в полном объеме, без ошибок. Не ответил ни на один вопрос.

5 баллов – студент выполнил работу в полном объеме. Допустил одну ошибку. Ответил только на один вопрос.

4 балла – студент выполнил работу в полном объеме. Допустил более 2 ошибок. Ответил на все вопросы.

3 балла – студент выполнил работу менее чем на 50%. Ответил на все наводящие вопрос.

2 балла – студент выполнил работу. Допустил более 2 ошибок. Ответил только на один вопрос.

1 балл – студент выполнил работу менее чем на 50%, не ответил ни на один вопрос.

0 баллов – студент не выполнил работу.

7.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.3.1. Вопросы к промежуточной аттестации

Семестр 9

№ п/п	Вопросы к экзамену
1.	Закономерность появления синергетики в современной науке;
2.	Кибернетика и синергетика: свойства и отличия;
3.	Взаимосвязь синергетики и теоретических представлений восточной философии;
4.	Взаимосвязь синергетики и теоретических представлений западной философии;
5.	Роль синергетики в формировании нового типа детерминизма в современной постнеклассической науке;
6.	Эволюционно-синергетическая парадигма как основа целостной культуры;
7.	Понятия микро-, макросистемы, макро-, микросостояния, открытости и замкнутости систем.
8.	Термодинамика как наука об эволюции закрытых систем. Начала термодинамики;
9.	Термодинамический смысл понятия энтропии. Энтропия как функция состояния термодинамического процесса;
10.	Синергетический смысл понятия энтропия. Энтропия как мера хаоса систем. Негэнтропия и информация;
11.	Негэнтропийный принцип Л.Бриллюэна ;
12.	Аттракторы. Параметры порядка;
13.	Диссипативные системы вдали от равновесия. Режимы с обострением. Теория диссипативных структур И.Р.Пригожина ;
14.	Бифуркации и историчность развития. Бифуркационное дерево как модель эволюции природы, человека, общества;
15.	Проблема управления самоорганизующимися системами;
16.	Математические закономерности эволюции в теории катастроф;
17.	Понятие «открытая система» и «неравновесное состояние». Возникновение самоорганизации в неравновесных системах;
18.	Самоорганизация в физических системах: ячейки Бенара и квантовые генераторы (лазеры);
19.	Самоорганизация в химических системах: реакция Белоусова-Жабртинского ;
20.	Самоорганизация в биологических системах: наследственность, изменчивость, отбор в естествознании, роль флуктуаций;
21.	Самоорганизация в космологических системах: происхождение галактик и Солнечной системы;

22.	Особенности моделирования социальных процессов;
23.	Циклические биосферные и социальные процессы;
24.	Синергетические модели и их роль в анализе процессов развития природы и общества;
25.	Предмет и задачи синергетики. Основные понятия синергетики;
26.	Тепловая конвекция как прототип явлений самоорганизации в физике. Модель хищник-жертва в экологических системах;
27.	Концентрационные колебания в химических системах;
28.	Характеристики колебательных систем. Классификация колебаний;
29.	Реакции Брея-Либавски и Бриггса-Раушера ;
30.	Колебательная реакция Белоусова-Жаботинского ;
31.	Проточный реактор с перемешиванием. Реакции на твердых катализаторах;
32.	Диссипативная функция многофазной гетерогенной среды;
33.	Уравнения состояния;
34.	Соотношение взаимности Л.Онзагера ;
35.	Анализ производства энтропии в процессе сокристаллизации компонентов;
36.	Массоперенос в химико-технологических схемах;
37.	Определение устойчивости гидродинамического режима в кристаллизаторе со взвешенным слоем;
38.	Расчёт предельного пересыщения при кристаллизации.
39.	Метод термодинамических функций Ляпунова для выявления химических осцилляторов;
40.	Определение размера реактора для поддержания устойчивого режима;
41.	Фазовые портреты;
42.	Классификация неподвижных точек на прямой и на плоскости;
43.	Асимптотическая устойчивость линейных систем;
44.	Линеаризация нелинейных систем;
45.	Предельные циклы в нелинейных системах;
46.	Параметры порядка и принцип подчинения. Отображение Пуанкаре ;
47.	Качественные исследования линейных систем дифференциальных уравнений;
48.	Качественная теория нелинейных систем на плоскости. Точечные отображения;
49.	Бифуркация типа седло-узел. Бифуркация Андропова-Хопфа ;
50.	Бифуркация рождения двух циклов. Бифуркация трех неподвижных точек в две неподвижные точки;
51.	Странный аттрактор системы Лоренца ;
52.	Теория универсальности Фейгенбаума ;
53.	Показатели Ляпунова и их определение. Этапы исследования физико-химических процессов.

7.3.2. Критерии и нормы оценки

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
	Экзамен	«Отлично»	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> Весь учебный материал по изучаемой дисциплине и аргументированно использует его в нестандартных ситуациях, проявляя при этом неординарные творческие способности в учебной деятельности; Основные принципы, теории,

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
			<p>законы, правила, используемые для изучения объектов дисциплины; признаки, параметры, характеристики, свойства объектов, изучаемые в дисциплине;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Модели, схемы, структуры, описывающие объекты дисциплины; • Методы, способы, приемы решения основных задач; • Оценки, пределы, ошибки, ограничения применяемых методов, моделей, теорий. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Применять полученные знания в нестандартных условиях, делать аргументированные выводы, оценивать с практической точки зрения отдельные новые факты, явления процессы, решать творческие задачи, воспринимать иную позицию (точку зрения), как альтернативную, при обучении пользоваться дополнительными источниками информации; • давать полные, логичные и обоснованные ответы на основные и дополнительные вопросы по изучаемой дисциплине. <p>Владет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Глубокими и крепкими знаниями, научной терминологией; умением дополнять, адаптировать и развивать методы, алгоритмы, приемы, методики для решения конкретных задач; • Умением анализировать и использовать нормативно – правовые документы, учебную, научную и другие виды литературы, результаты наблюдений и деятельности.

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
		«Хорошо»	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Основополагающие теории и факты, логично освещает причинно – следственные связи между ними. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Работать самостоятельно, подготовить реферат и защитить его положения, давать полные логичные ответы и не допускать грубых ошибок (при ответе допускаются не принципиальные неточности), систематизировать программный материал с помощью преподавателя. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Умением свободного использования изученного материала в стандартных условиях; умением анализировать, делать выводы по техническим и экономическим расчетам, правильно использовать технологию, составлять простые таблицы, схемы.

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
		«Удовлетворительно»	<p>Знает и понимает суть дисциплины, основных положений учебного материала;</p> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Поверхностно анализировать события, ситуации, делать определенные выводы, самостоятельно воспроизводить большую часть материала. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Умением давать правильные ответы (допускаются некоторые неточности и непринципиальные ошибки); • Умением работать только с учебной литературой, указанной преподавателем.
		«Неудовлетворительно»	<ul style="list-style-type: none"> • Не отвечает ни на один из теоретических вопросов, не может ответить ни на один дополнительный вопрос.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

8.1. Обязательная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Романков П.Г.	Массообменные процессы химической технологии	Учебное пособие	2020	ЭБС «IPRbooks»
2	Москвичев Ю. А., Григоричев А.К., Павлов О.С.	Теоретические основы химической технологии	учебное пособие	2020	ЭБС «Лань»
3	Шадрина Е.М., Маркичев Н.А.	Расчет энергосберегающих технологических установок	учебное пособие	2018	ЭБС «Лань»
4	Рахманов Ю. А.	Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии	учебно-методическое пособие	2018	ЭБС «Лань»
5	Баранов Д.А.	Процессы и аппараты химической технологии	учебное пособие	2020	ЭБС «Лань»
6	Заварухин С.Г.	Математическое моделирование химико-технологических процессов и аппаратов	учебное пособие	2017	ЭБС «Лань»
7	Гартман Т.Н., Клушин Д.В.	Моделирование химико-технологических процессов. Принципы применения пакетов компьютерной математики	учебное пособие	2020	ЭБС «Лань»
8	Казиев В.М.	Введение в анализ, синтез и моделирование систем	учебное пособие	2020	ЭБС «IPRbooks»
9	Козадерова О.А.	Расчеты материальных и тепловых балансов в технологии минеральных удобрений	Учебное пособие	2018	ЭБС «IPRbooks»
10	Романков П.Г.	Массообменные процессы химической технологии	Учебное пособие	2017	ЭБС «IPRbooks»

8.2. Дополнительная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно- методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1.	Липин А.А.	Системный анализ и методы химической кибернетики	учебное пособие	2016	ЭБС «Лань»
2.	Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А.	Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс	учебник	2019	ЭБС «Лань»
3.	Москвичев Ю. А., Григоричев А.К., Павлов О.С.	Теоретические основы химической технологии	учебное пособие	2020	ЭБС «Лань»
4.	Руденко Е.Ю.	Современные проблемы экологии, энерго- и ресурсосбережения в биотехнологии	лабораторный практикум	2018	ЭБС «Лань»

8.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- **Химическая промышленность сегодня.** Журнал *«Химическая промышленность сегодня»* публикует оригинальные статьи химико-технологического профиля, содержащие новые результаты завершенных исследований в области химической технологии и биотехнологии, промышленного внедрения и эксплуатации химических производств. Журнал также публикует обзоры наиболее интересных и актуальных научных достижений и практических разработок по публикациям отечественной и иностранной печати, информацию о проведении научных конференций, симпозиумов и научно-практических совещаний в области химической технологии и химической промышленности.

Основные научные направления:

- Безопасность химических производств;
- Биотехнология;
- Кинетика и катализ;
- Математическое моделирование химических процессов;
- Мембраны и мембранная технология;
- Переработка нефти и газа;
- Перспективные химические технологии;
- Применение химических продуктов;
- Производство минеральных удобрений;
- Процессы и аппараты химических технологий;
- Сырье и материалы;
- Технология неорганических веществ;
- Технология органических веществ;
- Технология полимеров;
- Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов;
- Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов;
- Технология биологически-активных и фармацевтических веществ;
- Технология электрохимических процессов;
- Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ;
- Энерго- и ресурсосберегающие технологии;

Выпуская в свет каждый новый номер журнала *«Химическая промышленность сегодня»*, редакция ставит перед собой задачу объединить вокруг издания творческие силы ученых химиков, производителей сырья и оборудования, инженеров и технологов химических производств.

Помимо традиционных научно-технических статей, каждый номер посвящен Главной теме – важной проблеме, актуальному вопросу или значимому событию отрасли.

В настоящее время читателями журнала являются представители ведущих химических предприятий, исследовательских центров, студенты и преподаватели российских ВУЗов.

- **Теоретические основы химической технологии.** Журнал публикует сообщения о новых технологических процессах в обрабатывающей промышленности с точки зрения фундаментальной науки. Статьи в журнале посвящены основам тепломассообмена, процессам разделения, межфазным явлениям, течению сыпучих материалов, биотехнологии, оптимизации, автоматизации и управлению, экономии энергии, металлов и сырья, защите окружающей среды и смежным темам. Журнал входит в Перечень ВАК и систему РИНЦ. Для зарегистрированных пользователей Научной электронной

библиотеки (eLibrary) доступен полнотекстовый архив с 2011 года:
<http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=8244>

- **Математическое моделирование.** Журнал "*Математическое моделирование*" основан в 1989 году. Журнал выходит ежемесячно в печатном и электронном виде. Журнал публикует обзоры, оригинальные статьи и краткие сообщения, посвященные математическому моделированию с применением ЭВМ и численным методам решения сложных и актуальных проблем науки и современной технологии. Помещаются также работы, имеющие высокий предметный и математический уровень, показывающие возможности вычислительного эксперимента в данной области и освещающие следующие вопросы: *постановки научно-технических задач, построение математических моделей для них, математические методы их исследований и вычислительные алгоритмы их решения, пакеты прикладных программ для решения актуальных задач, иллюстрированные расчеты, апробация моделей путем сравнения с экспериментальными или теоретическими данными.* Публикуются также рефераты препринтов и депонированных рукописей, письма в редакцию, научная информация (планы и итоги конференций, школ и т.п.). Возможна публикация объявлений и рекламных материалов.
- **"Компьютерные исследования и моделирование".** Рецензируемый российский журнал "Компьютерные исследования и моделирование" публикует результаты оригинальных исследований и работы обзорного характера в области *компьютерных исследований и математического моделирования в физике, технике, биологии, экологии, экономике, психологии* и других областях знания. Журнал редактируется и издается Институтом компьютерных исследований в сотрудничестве с кафедрой биофизики биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

– **American Journal of Engineering and Applied Sciences.** Рецензируемый журнал - 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://thescpub.com/journals/ajeas>

– **Philosophical Transactions.** Журнал предоставляет свободный доступ к научным публикациям по следующим темам: инженерные, физические, математические науки:
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/>

– **Journal of Engineering and Applied Sciences (Medwell Journals).** Журнал представляет статьи с результатами научных исследований в области инженерных наук (математика, электротехника, машиностроение, энергетика, автомобилестроение, биохимическая инженерия, строительная инженерия и т.д.):
<http://www.medwelljournals.com/archive.php?jid=1816-949x>

– **DOAJ.** 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:
<https://doaj.org/>

8.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1.	Windows	Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия, бессрочный
2.	Office Standart	Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия, бессрочный; Договор № 727 от 20.07.2016г., срок действия, бессрочный
3.	MathCAD версия 14 или 15	Акт п/п от 21.07.09 (Гос. Контракт 487 от 28.05.09), бессрочный

8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
1.	Лаборатория "Процессов и АХП". Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. 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-118)	Лабораторные установки по изучению процесса ректификации, процесса теплопередачи (труба в трубе), лабораторная установка для измерения давления, стационарное медиа оборудование, интерактивная доска. Столы ученические, стулья ученические.
2.	Лаборатория «Технология органических соединений». Учебная аудитория для проведения лабораторных работ. (А-311)	Столы лабораторные островные физические; Столы островные химические; полки для посуды; мойки; Столы лабораторные; Столы письменные; шкаф вытяжной 1500ШВ; шкафы сушильный WS31; баня водяная многоместная; печь муфельная.; плитка электрическая; магнитная мешалка.; термостат VT8; аппарат для определения температуры вспышки; лабораторная ректификационная колонна; весы аналитические ВЛР200; весы электронные HL100; штативы лабораторные; табуреты лабораторные; стул; химическая посуда, доска меловая.

3.	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. 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-306)	Столы ученические двухместные (моноблоки), стол преподавательский, стул преподавательский, доска аудиторная (меловая), таблица Менделеева.
4.	Помещение для самостоятельной работы обучающихся. (Г-401)	Столы, стулья, компьютеры
5.	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. (УЛК-203)	Переносной проектор, экран, столы компьютерные, стол преподавательский, стулья, доска аудиторная (маркерная)- ПК с выходом в сеть Интернет
6.	Лаборатория "Процессы и аппараты защиты окружающей среды". Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. 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-409).	Столы ученические моноблоки, Столы, стулья, доска аудиторная (меловая), проектор, ноутбук, экран переносной, установка технологического комплекса, позволяющая снизить распространение аэродисперсной системы в пространстве, установка, позволяющая создать аэродинамическую тягу.