

Северский технологический институт –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(СТИ НИЯУ МИФИ)

Кафедра «Химии и технологии материалов современной энергетики»

ОДОБРЕНО
Ученым советом СТИ НИЯУ МИФИ
протокол № 5 от 28.06.2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

НАИМЕНОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Химическая технология материалов ядерного топливного цикла

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоемкость, ЗЕ	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практические занятия, час.	Лабораторные работы, час.	В форме практической подготовки / в интерактивной форме, час.	СРС, час.	Форма(ы) контроля (Э, З, ДифЗ, КР, КП)
7	3	108	0	0	16	0	92	Зач.
8	4	144	0	0	32	16	112	Экз., КР
Итого	7	252	0	0	48	16	204	

Аннотация

Рабочая программа дисциплины «Моделирование химико-технологических процессов» составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта НИЯУ МИФИ и рабочим учебным планом по направлению подготовки (специальности) 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики», образовательной программы «Химическая технология материалов ядерного топливного цикла».

В результате освоения дисциплины, у выпускника должны быть сформированы следующие результаты обучения (РО):

1) **знать:**

- 3.1 области применения систем дифференциальных уравнений, линейных и нелинейных уравнений, а также регрессионного анализа;
- 3.2 экспериментальные методы исследования структуры потоков;
- 3.3 типовые модели структуры потоков в аппаратах;
- 3.4 основные принципы моделирования химико-технологических процессов;
- 3.5 основные приемы оптимизации технологических процессов;

2) **уметь:**

- У.1 подбирать справочную и нормативно-техническую литературу;
- У.2 использовать компьютерную технику для моделирования процессов и обработки экспериментальных данных;
- У.3 интерпретировать результаты, делать выводы, давать рекомендации;

3) **владеть или быть в состоянии продемонстрировать:**

- В.1 использования универсальных и специализированных пакетов программ на персональных компьютерах;
- В.2 моделирования химико-технологических процессов.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Целями освоения дисциплины «Моделирование химико-технологических процессов» являются:

формирование у студентов методологии и практических приемов, используемыми для моделирования производственных процессов, их оптимизации и управления ими.

Основными задачами дисциплины являются:

- приобретение навыков, необходимых для построения математических моделей химических процессов, отражающих молекулярный механизм процесса или, по крайней мере, правильно описывающих эмпирическую зависимость одной наблюдаемой в эксперименте величины от другой или нескольких других величин, с использованием современных средств вычислительной техники;

- приобретение знаний, необходимых для планирования эксперимента и для умелого использования свойств вещества в технологических целях, с использованием современных средств вычислительной техники;

- умение владеть элементами программирования, необходимыми операторскими навыками и быть способными к разумному использованию современных пакетов прикладных и математических программ.

2 Место учебной дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Моделирование химико-технологических процессов» (Б1.В.ДВ.4.1) -
Общепрофессиональный модуль образовательной программы.

3 Формируемые компетенции и планируемые результаты обучения

Универсальные и общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-4 Способен использовать методы математического моделирования отдельных стадий и всего технологического процесса, осуществлять теоретический анализ и экспериментальную проверку адекватности модели	З-ОПК-4 Знать: принципы математического моделирования химико-технологических процессов и методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и (или) физико-химических моделей У-ОПК-4 Уметь: применять известные методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, моделирования, идентификации и оптимизации при исследовании, проектировании и управлении процессами химической технологии, а также уметь использовать в своей практической деятельности для достижения этих целей известные пакеты прикладных программ В-ОПК-4 Владеть: методами построения математических моделей типовых профессиональных задач и содержательной интерпретации полученных результатов, методами математической статистики для обработки результатов экспериментов, пакетами прикладных программ, используемых при моделировании объектов и процессов
УКЕ-1 Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах	З-УКЕ-1 знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-УКЕ-1 уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи В-УКЕ-1 владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами

4 Воспитательный потенциал учебной дисциплины

Воспитательный потенциал дисциплины «Моделирование химико-технологических процессов» отражен в Рабочей программе воспитания в Северском технологическом институте – филиале федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (<http://www.ssti.ru/education.html>/Информация по образовательным программам).

5 Структура и содержание учебной дисциплины

5.1 Основные разделы дисциплины, трудоемкость и виды учебной работы

Настоящая рабочая программа составлена для формы обучения «очная» по специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики», образовательной программе «Химическая технология материалов ядерного топливного цикла».

Общая трудоемкость дисциплины составляет в **зачетных единицах – 7, 252 час.**, обучение по дисциплине проходит в **семестре 7, 8.**

Дисциплина (модуль) содержит **разделы:**

– **раздел 1** – «Системы линейных, нелинейных, дифференциальных уравнений в химии. Регрессионный анализ»

– **раздел 2** – «Гидродинамические модели. Модели реакторов с учетом протекания химической реакции. Модели теплообменных аппаратов.»

Трудоемкость, формы и график контроля по разделам дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Трудоемкость, формы и график контроля отдельных разделов дисциплины

№	Наименование раздела	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость, час				Аттестационные мероприятия		Макс. балл за раздел
		Лекции	Практ. занятия	Лабор. работы	Самост. работа	Текущий контроль (нед/форма)	Аттестация раздела (нед/форма)	
7 семестр (18 недель)								
1	Системы линейных, нелинейных, дифференциальных уравнений в химии. Регрессионный анализ			16	92	2/ЛР1, 4/ЛР2, 6/ЛР3, 8/ЛР4	8/КР1	60
	Зачет							40
Итого за 7 семестр:				16	92			100
8 семестр (16 недель)								
2	Гидродинамические модели. Модели реакторов с учетом протекания химической реакции. Модели теплообменных аппаратов.			32	30	1/ЛР5, 3/ЛР6, 5/ЛР7, 7/ЛР8, 9/ЛР9, 11/ЛР10, 13/ЛР11	15/КР2	60
	Курсовая работа				46			
	Экзамен				36			40
Итого за 8 семестр:				32	112			100

В таблице 2 представлено соответствие содержания каждого раздела и результатов обучения, что позволяет оценить их вклад в достижение целей курса.

Таблица 2 – Соответствие содержания требуемым результатам обучения

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Номера разделов	Аттестационные мероприятия
– Знать: принципы математического моделирования химико-технологических процессов и методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и (или) физико-химических моделей (З-ОПК-4)	1, 2	ЛР4, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР5, ЛР6, ЛР8, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
– Уметь: применять известные методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, моделирования, идентификации и оптимизации при исследовании, проектировании и управлении процессами химической технологии, а также уметь использовать в своей практической деятельности для достижения этих целей известные пакеты прикладных программ (У-ОПК-4)	1, 2	ЛР1, ЛР2, ЛР4, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР6, КР2, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
– Владеть: методами построения математических моделей типовых профессиональных задач и содержательной интерпретации полученных результатов, методами математической статистики для обработки результатов экспериментов, пакетами прикладных программ, используемых при моделировании объектов и процессов (В-ОПК-4)	1, 2	ЛР2, ЛР3, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР6, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
– знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (З-УКЕ-1)	1, 2	ЛР1, ЛР3, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР5, ЛР9, ЛР10, ЛР11, КР2, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
– уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи (У-УКЕ-1)	1, 2	ЛР2, ЛР3, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР7, ЛР9, ЛР10, ЛР11, КР2, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
– владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами (В-УКЕ-1)	1, 2	ЛР4, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР5, ЛР7, ЛР9, ЛР10, ЛР11, КР2, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа

5.2 Содержание лекционного курса дисциплины

Лекционный курс по дисциплине в соответствии с рабочим учебным планом не предусмотрен.

5.3 Содержание лабораторного практикума

В таблице 3 представлено содержание и трудоемкость лабораторного практикума дисциплины.

Таблица 3 – Содержание и трудоемкость лабораторного практикума дисциплины

Перечень лабораторных работ по разделам и их содержание	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час
Раздел 1 Системы линейных, нелинейных, дифференциальных уравнений в химии. Регрессионный анализ	
1.1 Системы линейных и нелинейных уравнений в химии. Применение нелинейных уравнений (СНЛУ) в химии для расчета равновесий многокомпонентных систем. Численные методы решения СНЛУ. Система MathCad.	4
1.2 Регрессионный анализ для обработки результатов эксперимента. Применение регрессионного анализа в химии для обработки экспериментальных данных: линейный и полиномиальный регрессионный анализ. Система MathCad, приложения пакета Microsoft Office (Word, Excel).	4
1.3 Регрессионный анализ для расчета кинетических параметров процесса. Применение регрессионного анализа в химии для расчета кинетических параметров процесса. Определения основных кинетических параметров моделей: порядка реакции, энергии активации, константы скорости реакции. Система MathCad.	4
1.4 Дифференциальные уравнения в химии. Применение дифференциальных уравнений в химии. Основные методы решения кинетических уравнений. Представление о численных методах решения дифференциальных уравнений кинетики и макрокинетики. Системы MathCad (MathLab).	4
<i>Итого по разделу 1:</i>	<i>16</i>
Раздел 2 Гидродинамические модели. Модели реакторов с учетом протекания химической реакции. Модели теплообменных аппаратов.	
2.1 Математическое моделирование. Гидродинамические модели.. Математическое моделирование химико-технологических процессов. Основные понятия. Типовые гидродинамические модели. Методы исследования структуры потоков.	4
2.2 Математические модели химических реакторов. . Математическое описание типовых моделей реакторов в общем и частном виде.	4
2.3 Расчет основных характеристик реакторов. . Расчет основных характеристик реакторов идеального смешения и вытеснения: времени пребывания, степени превращения, концентраций в разные моменты времени.	4
2.4 Оптимизация химических процессов.. Оптимизация химических процессов: расчет оптимальной температуры, оптимизация потока в параллельно соединенных реакторах.	4
2.5 Моделирование тепловых процессов химической технологии. Расчет теплообменников типа «труба в трубе».. Математическое описание структуры потока модели идеального вытеснения с учетом теплопередачи. Система уравнений для теплообменников типа «труба в трубе» без учета и с учетом тепловой емкости стенки.	4

Перечень лабораторных работ по разделам и их содержание	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час
2.6 Моделирование тепловых процессов химической технологии. Расчет теплообменников в режиме «перемешивание-перемешивание».. Математическое описание структуры потока модели идеального перемешивания с учетом теплопередачи. Система уравнений для теплообменников типа «перемешивание-перемешивание» и «перемешивание-вытеснение» без учета и с учетом тепловой емкости стенки.	4
2.7 Математическое описание гидродинамики насадочного абсорбера.. Расчет гидродинамики насадочного абсорбера. Ячеечная схема абсорбера. Проверка адекватности составленной математической модели насадочного абсорбера. Дисперсия адекватности, дисперсия воспроизводимости, критерий Фишера.	4
2.8 Контрольная работа.. Определение энергии активации, предэкспоненциального множителя, оптимальной температуры, составление математического описания ступени реактора и определение ее объема при помощи Mathcad.	4
<i>Итого по разделу 2:</i>	32
Всего по лабораторному практикуму дисциплины:	48

5.4 Тематика практических / семинарских занятий

Практические/семинарские занятия в соответствии с рабочим учебным планом не предусмотрены.

5.5 Курсовое проектирование

В соответствии с рабочим учебным планом предусмотрено выполнить: Курсовая работа (8 семестр).

Курсовая работа включает в себя следующие этапы:

- 1) Выдача задания. Изучение программ, используемых при моделировании химико-технологических процессов
- 2) Проработка литературы и других источников информации
- 3) Математическое описание процессов химического превращения (кинетические модели). Математическое описание процессов перемещения веществ (гидродинамические модели)
- 4) Составление математических моделей химических реакторов с учетом теплового режима: модели реактора идеального смешения (РИС) и реактора идеального вытеснения (РИВ)
- 5) Расчет теплоемкости и теплового эффекта реакций
- 6) Решение составленных систем дифференциальных уравнений в Mathcad. Сравнение моделей РИС и РИВ, написание выводов по проведенной работе
- 7) Оформление и сдача пояснительной записки к курсовой работе. Изучение программы Power Point с целью оформления доклада для защиты курсовой работы. Подготовка доклада и презентации к защите
- 8) Защита курсовой работы.

6 Образовательные технологии

При проведении лабораторных работ используются следующие образовательные технологии: IT-методы, Работа в команде, Другие методы.

Для организации самостоятельной работы используются следующие образовательные технологии: IT-методы, Исследовательский метод.

Общее число часов занятий, проводимых в интерактивной форме – 16 час.

7 Аннотация фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационные мероприятия
ОПК-4	З-ОПК-4	ЛР4, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР5, ЛР6, ЛР8, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
ОПК-4	У-ОПК-4	ЛР1, ЛР2, ЛР4, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР6, КР2, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
ОПК-4	В-ОПК-4	ЛР2, ЛР3, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР6, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
УКЕ-1	З-УКЕ-1	ЛР1, ЛР3, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР5, ЛР9, ЛР10, ЛР11, КР2, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
УКЕ-1	У-УКЕ-1	ЛР2, ЛР3, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР7, ЛР9, ЛР10, ЛР11, КР2, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа
УКЕ-1	В-УКЕ-1	ЛР4, КР1, Зачет (7 сем.), ЛР5, ЛР7, ЛР9, ЛР10, ЛР11, КР2, Экзамен (8 сем.), Курсовая работа

Шкалы оценки образовательных достижений. Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего (**60 баллов**) и промежуточного контроля (**40 баллов**). Для допуска к промежуточному контролю по дисциплине студенту в течение календарного модуля необходимо набрать не менее 60% баллов при условии сдачи **всех** дисциплинарных разделов. Раздел считается сданным, если выполнены все виды контроля и набрано по ним не менее 60 % баллов от максимального по разделу.

В соответствии с учебным планом промежуточная аттестация в конце семестра осуществляется в форме Экзамена.

Аттестация в 7 семестре:

Вид контроля	Наименование видов контроля	Максимальная положительная оценка в баллах	Минимальная положительная оценка в баллах
Текущая аттестация			
ЛР1	Лабораторная работа	13	7.8
ЛР2	Лабораторная работа	13	7.8
ЛР3	Лабораторная работа	13	7.8
ЛР4	Лабораторная работа	13	7.8
КР1	Контрольная работа	8	4.8

Сумма:	60	36
Промежуточная аттестация		
Зачет	40	24
Итого:	100	60

Аттестация в 8 семестре:

Вид контроля	Наименование видов контроля	Максимальная положительная оценка в баллах	Минимальная положительная оценка в баллах
Текущая аттестация			
ЛР5	Лабораторная работа	12	7.2
ЛР6	Лабораторная работа	8	4.8
ЛР7	Лабораторная работа	8	4.8
ЛР8	Лабораторная работа	8	4.8
ЛР9	Лабораторная работа	4	2.4
ЛР10	Лабораторная работа	4	2.4
ЛР11	Лабораторная работа	8	4.8
КР2	Контрольная работа	8	4.8
Сумма:		60	36
Промежуточная аттестация			
Экзамен		40	24
Итого:		100	60

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов по дисциплине	100–90	89–85	84–75	74–70	69–65	64–60	ниже 60
Оценка (ECTS)	A	B	C	D		E	F
Оценка по 4-х бальной шкале	отлично (отл.)	хорошо (хор.)			удовлетворительно (удовл.)	неудовлетворительно (неуд.)	
Зачет	Зачтено						Не зачтено

Оценка *«отлично»* выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.

Оценка *«хорошо»* выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

Оценка *«удовлетворительно»* выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.

Оценка *«неудовлетворительно»* выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Вопросы для Зачета (7 семестр):

- 1 Практическое задание по вариантам.
- 2 Области применения систем дифференциальных уравнений в химии.
- 3 Построение кинетической модели гомогенной химической реакции. Особенности записи систем кинетических уравнений в Mathcad.

- 4 Типы химических реакций, понятия скорости реакции, порядка реакции, закон действующих масс, понятие механизма реакции.
- 5 Способы решения дифференциальных уравнений с использованием Mathcad.
- 6 Математическое описание гетерогенно-каталитических процессов.
- 7 Области применения систем линейных и нелинейных уравнений в химии.
- 8 Способы решения систем линейных уравнений с использованием Mathcad.
- 9 Способы решения систем нелинейных уравнений с использованием Mathcad.
- 10 Применение регрессионного анализа в химии.
- 11 Как находятся коэффициенты в уравнении регрессии и коэффициент корреляции? Что означают эти величины? Как эти величины можно найти с использованием Mathcad?
- 12 Использование встроенных функций Mathcad для расчета линейной регрессии при анализе экспериментально полученных зависимостей в химии.
- 13 Полиномиальный регрессионный анализ с применением встроенных функций Mathcad при анализе экспериментально полученных зависимостей в химии.
- 14 Понятие энергии активации. Уравнение Аррениуса. Определение энергии активации с помощью регрессионного анализа.
- 15 Определение порядка реакции с помощью регрессионного анализа.
- 16 Единицы измерения константы скорости. Уравнение Аррениуса. Определение константы скорости с помощью регрессионного анализа.
- 17 Исследование кинетики гетерогенных процессов. Понятие лимитирующей стадии. Кинетическая область.
- 18 Исследование кинетики гетерогенных процессов. Понятие лимитирующей стадии. Внешнедиффузионная область.
- 19 Исследование кинетики гетерогенных процессов. Понятие лимитирующей стадии. Диффузионная область.

Вопросы для Экзамена (8 семестр):

- 1 Математическое описание механизма химических реакций. Способы решения систем дифференциальных уравнений в Mathcad.
- 2 Математическое описание гетерогенно-каталитических процессов. Способы решения систем дифференциальных уравнений в Mathcad.
- 3 Математические модели, используемые для описания кинетики гетерогенных процессов.
- 4 Основные этапы математического моделирования.
- 5 Классификация математических моделей.
- 6 Схема построения математической модели химико-технологического процесса.
- 7 Экспериментальные методы исследования структуры потоков.
- 8 Типовая гидродинамическая модель — модель реактора идеального смешения.
- 9 Типовая гидродинамическая модель — модель реактора идеального вытеснения.
- 10 Понятие ячеечной модели.
- 11 Понятие комбинированной модели. Другие виды течения жидкости (газа).
- 12 Классификация химических реакторов.
- 13 Математическая модель идеального смешения с учетом протекания химической реакции в динамическом и установившемся режиме.
- 14 Математическая модель идеального вытеснения с учетом протекания химической реакции в динамическом и установившемся режиме.
- 15 Уравнение теплового баланса для РИС и РИВ в динамическом и установившемся режиме.
- 16 Математическая модель каскада реакторов идеального смешения.
- 17 Расчет основных характеристик РИС.
- 18 Расчет основных характеристик РИВ.
- 19 Расчет основных характеристик ячеечной модели.

- 20 Оптимальная температура процесса с учетом обратимости и теплового эффекта реакции.
- 21 Оптимальная температура обратимой экзотермической реакции.
- 22 Оптимальное распределения потока по параллельно работающим аппаратам.
- Алгоритм решения данной задачи.
- 23 Основные понятия моделирования тепловых процессов химической технологии.
- 24 Математическая модель теплообменника типа «перемешивание-перемешивание».
- 25 Математическая модель теплообменника типа «вытеснение-вытеснение».
- 26 Математическое описание теплообменника типа «перемешивание-вытеснение».
- 27 Математическое описание гидродинамики насадочного абсорбера.
- 28 Вывод уравнения модели реактора идеального смешения в неустановившемся режиме.
- 29 Вывод уравнения модели реактора идеального вытеснения в неустановившемся режиме.
- 30 Решение задачи, включающей в себя элементы заданий, выполняемых в течение 7-8го семестров.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

8.1 Основная литература

- Л1.1 Гумеров А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие: [Текст]: учебное пособие / А. М. Гумеров - Санкт-Петербург: Лань, 2014 - 176 с.
- Л1.2 Марков Ю. Г. Математические модели химических реакций [Текст]: учебник / Ю. Г. Марков, И. В. Маркова - Санкт-Петербург: Лань, 2013 - 184 с.
- Л1.3 Самойлов Н. А. Примеры и задачи по курсу "Математическое моделирование химико-технологических процессов" [Электронный ресурс] / Самойлов Н. А. - Санкт-Петербург: Лань, 2021 - 176 с.

8.2 Дополнительная литература

- Л2.1 Беккер В. Ф. Моделирование химико-технологических объектов управления; Текст: учебное пособие / В. Ф. Беккер - Москва: Инфра-М, 2014 - 142 с.
- Л2.2 Благовещенский В. В. Компьютерные лабораторные работы по физике в пакете MathCad [Текст]: учебное пособие / В. В. Благовещенский - Санкт-Петербург: Лань, 2013 - 95 с.
- Л2.3 Закгейм А. Ю. Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов [Текст]: учебное пособие / А. Ю. Закгейм - М.: Логос, 2012 - 302, [2] с.
- Л2.4 Информатика для химиков-технологов: учебное пособие для студентов вузов / Л. С. Гордеев [и др.]; под ред. Л. С. Гордеева, В. Ф. Корнюшко - М.: Высшая школа, 2006 - 286 с.
- Л2.5 Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой; сост. Н. М. Барон, А. М. Пономарева, А.А. Равдель, З. Н. Тимофеева - СПб.: Иван Федоров, 2002 - 240 с.
- Л2.6 Моделирование систем [Текст]: учебное пособие для вузов / И. А. Елизаров [и др.] - Старый Оскол: ТНТ, 2013 - 136 с.
- Л2.7 Островский Г. М. Методы оптимизации химико-технологических процессов: учебное пособие / Г. М. Островский, Ю. М. Волин, Н. Н. Зиятдинов - М.: КДУ, 2008 - 424 с.
- Л2.8 Чистякова Т. Б. Математическое моделирование химико-технологических объектов с распределенными параметрами: учебное пособие для вузов / Т. Б. Чистякова, А. Н. Полосин, Л. В. Гольцева; Санкт-Петербургский государственный технологический

институт (Технический университет) (СПбГТИ(ТУ)), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления - СПб.: Профессия, 2010 - 240 с.

Л2.9 Муслимова А. В. Дифференциальные уравнения в химии [Электронный ресурс]: методические указания для студентов специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики» / А. В. Муслимова; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт - филиал НИЯУ МИФИ (СТИ НИЯУ МИФИ) - Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2017 - 26 с.

Л2.10 Муслимова А. В. Исследование гомогенных и гетерогенно-каталитических процессов в реакторах идеального смешения и вытеснения [Электронный ресурс]: методические указания для студентов специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики» / А. В. Муслимова; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт - филиал НИЯУ МИФИ (СТИ НИЯУ МИФИ) - Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2017 - 55 с.

Л2.11 Муслимова А. В. Регрессионный анализ для обработки результатов эксперимента [Электронный ресурс]: методические указания для студентов специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики» Северск / А. В. Муслимова; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт - филиал НИЯУ МИФИ (СТИ НИЯУ МИФИ) - Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2017 - 26 с.

Л2.12 Муслимова А. В. Регрессионный анализ для расчета кинетических параметров процесса [Электронный ресурс]: методические указания для студентов специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики» Северск / А. В. Муслимова; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт - филиал НИЯУ МИФИ (СТИ НИЯУ МИФИ) - Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2017 - 43 с.

Л2.13 Муслимова А. В. Системы линейных и нелинейных уравнений в химии [Электронный ресурс]: методические указания для студентов специальности 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики» Северск / А. В. Муслимова; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт - филиал НИЯУ МИФИ (СТИ НИЯУ МИФИ) - Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2017 - 37 с.

8.3 Информационно-образовательные ресурсы

Э1 American Chemical Society (ACS) – Режим доступа: www.library.mephi.ru

Э2 The Royal Society of Chemistry (RSC) – Режим доступа: www.library.mephi.ru

Э3 Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>.

Э4 Цветные металлы – Режим доступа: <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/4/>.

Э5 Сборники статей «Инновационные технологии атомной энергетики и промышленности» - Режим доступа: <ftp://ftp.ssti.ru/library/conference/2012/c0003.pdf>

9 Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины приведено на сайте СТИ НИЯУ МИФИ <http://www.ssti.ru/objects.html>

10 Учебно-методические рекомендации для студентов

Самостоятельная работа студентов – это планируемая учебная и внеаудиторная работа студентов, выполняемая по заданию преподавателя и под его методическим руководством, но без его непосредственного участия.

Целью самостоятельной работы студентов является приобретение новых знаний, систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов.

Лабораторные работы. Подготовка к лабораторной работе включает в себя работу с конспектом лекций, рекомендуемой литературой, подготовку ответов к контрольным вопросам для допуска к выполнению лабораторной работы, написание отчета.

Лабораторные занятия проводятся в лабораториях Информационно-вычислительного центра.

Прежде чем начать занятия в данной лаборатории студент знакомится с правилами техники безопасности, о чем расписывается в журнале. В лабораториях ИВЦ запрещается находиться в верхней одежде. Запрещается класть на рабочий стол сумки, пакеты, шапки и другие посторонние предметы. Студент приступает к выполнению лабораторной работы только после ознакомления с описанием работы и подготовки к ней.

Промежуточная аттестация. Для подготовки к промежуточной аттестации студенту необходимо проработать конспекты лекционных и практических занятий, подготовить ответы к вопросам, выносимым на промежуточную аттестацию, при необходимости воспользоваться рекомендуемой литературой.

11 Учебно-методические рекомендации для преподавателей

На лабораторных занятиях студентам сообщаются новые сведения, систематизируется и обобщается накопленный запас знаний, формируются на этой основе познавательные и профессиональные интересы. Преподаватель, проводя занятия, должен стремиться увлечь студентов, активно воздействовать на их эмоции, вызвать интерес к учебному предмету, стремление постоянно пополнять знания.

Самостоятельная работа студентов по данному курсу

- Оформление отчетов по лабораторным работам
- Проработка вопросов к зачету № 6-8.
- Проработка вопросов к зачету № 9-12.
- Проработка вопросов к зачету № 13-18.
- Проработка вопросов к зачету № 1-5.
- Проработка вопросов к экзамену № 1-11.
- Проработка вопросов к экзамену № 12-16.
- Проработка вопросов к экзамену № 17-19.
- Проработка вопросов к экзамену № 20-22.
- Проработка вопросов к экзамену № 23, 25.
- Проработка вопросов к экзамену № 24, 26.
- Проработка вопроса к экзамену № 27.
- Проработка вопросов к экзамену № 28.
- Подготовка к промежуточному контролю: Зачет (7 семестр)

В течение 7 семестра осуществляется контроль знаний студентов: см. раздел 5.1.

По результатам аттестационных мероприятий формируется допуск студента к итоговому контролю – Зачету по дисциплине. Студент на Зачете должен показать знание программного материала, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагать, уметь тесно увязывать теорию с практикой, использовать в ответе материал рекомендуемой литературы.

- Подготовка к промежуточному контролю: Экзамен (8 семестр), Курсовая работа (8 семестр)

В течение 8 семестра осуществляется контроль знаний студентов: см. раздел 5.1.

По результатам аттестационных мероприятий формируется допуск студента к итоговому контролю – Экзамену, защите КР по дисциплине. Студент на Экзамене, защите

КР должен показать знание программного материала, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагать, уметь тесно увязывать теорию с практикой, использовать в ответе материал рекомендуемой литературы.

Автор(ы): А.В. Муслимова