

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет атомной энергетики и технологий  
Кафедра «Атомная энергетика»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине «Моделирование химико-технологических процессов»

### **Направления подготовки**

«18.03.01 Химическая технология»

### **Основная профессиональная образовательная программа**

«Химическая технология неорганических веществ»

### **Квалификация выпускника**

Бакалавр

### **Форма обучения**

Заочная

### **Цель освоения дисциплины**

Подготовка бакалавров к научно-исследовательской и технологической деятельности, связанной с разработкой и исследованием математических моделей химико-технологических процессов и повышением эффективности ХТП методами математического моделирования.

Задачи изучения дисциплины:

- изучить и освоить методы построения статических и динамических математических моделей химико-технологических процессов, в том числе методами регрессионного анализа;
- применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств, пакетов прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования;
- сформировать компетенции у обучающихся согласно ОС НИЯУ МИФИ.

Обучение проводится в соответствии с профессиональным стандартом «26.001. Специалист по обеспечению комплексного контроля производства наноструктурированных композиционных материалов».

### **Место дисциплины в структуре ООП ВО**

Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо для изучений данной дисциплины: Математика, Физика, Информатика, Общий курс химии, Аналитическая химия, Новые информационные технологии в профессиональной деятельности, Процессы и аппараты химической технологии. В результате изучения этих дисциплин обучающиеся должны знать основные закономерности естественно - научных дисциплин, знать и применять методы математического анализа, теории дифференциальных уравнений, основы кинетики химических реакций, закономерности массо- и теплопереноса.

Освоение дисциплины «Моделирование химико-технологических процессов» в последующем необходимо при прохождении производственной (преддипломной) практики, а также в рамках Государственной итоговой аттестации.

Обобщенные трудовые функции, которые сможет полностью или частично продемонстрировать студент при освоении данной дисциплины в соответствии с профессиональным стандартом 26.001:

- А/01.6. Проведение анализа сырья, полуфабрикатов и готовой продукции производства наноструктурированных композиционных материалов (ПК-5, ПК-7);
- А/02.6. Разработка новых и совершенствование действующих методов проведения анализов, испытаний и исследований (ПК-1);
- А/03.6. Выявление и анализ причин брака/несоответствующей продукции (ПК-5);
- А/06.6. Разработка предложений по комплексному использованию сырья и утилизации отходов производства (ПК-7);
- А/07.6. Проведение испытаний новых образцов продукции, разработка техни-

ческой документации (ПК-1);

- В/04.6. Подготовка проведения комплексного контроля продукции (ПК-5).

**Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

В процессе освоения данной дисциплины у студента формируются следующие компетенции:

– профессиональные

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1	способен планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	З-ПК-1 Знать применение методов математического анализа, моделирования и теоретических основ для проведения научно-исследовательских работ и испытаний У-ПК-1 Уметь выполнять физические и химические экспериментальные работы, проводит обобщение и обработку их результатов, оценивает погрешности, выдвигает гипотезы и устанавливает границы их применения В-ПК-1 Владеть методами подготовки методического руководства по проведению физических и химических экспериментов и научно-исследовательских работ
ПК-5	способен применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров	З-ПК-5 Знать аналитические и численные методы решения задач по составлению локальных технических документов и использует пакеты прикладных программ для расчета параметров технологического процесса У-ПК-5 Уметь применять прикладные программные средства для построения графиков, диаграмм, таблиц и проводит их анализ В-ПК-5 Владеть навыками использования сетевых компьютерных технологий и баз данных при проведении испытаний сырья, полуфабрикатов и готовой продукции
ПК-7	способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения	З-ПК-7 Знать технологии и системы экологического менеджмента при проведении испытаний с использованием технических средств У-ПК-7 Уметь выполнять работы по сбору и накоплению данных при разработке технологических процессов В-ПК-7 Владеть навыками выбора технических устройств и технологий с учетом экологических последствий их применения для подготовки проекта плана мероприятий по использованию сырья в дополнительных производственных целях

## Задачи воспитания, реализуемые в рамках освоения дисциплины

Направление/ цели	Создание условий, обеспечивающих	Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин	Вовлечение в разноплановую внеучебную деятельность
<b>Профессиональное воспитание</b>	- формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности <b>(B22)</b>	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностями и эмоциональными свойствами членов проектной группы.	1.Организация научного подхода и чувства «Все в одной команде» через участие студентов в проведении круглых столов и семинаров. Формирование вертикальных связей и формальных правил жизни при проведении студенческих конкурсов
	- формирование культуры информационной безопасности <b>(B23)</b>	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.	2.Повышение знаний по информатизации общества и коммуникационных технологий для решения коммуникативных и познавательных задач студентами.

### Структура и содержание учебной дисциплины

Дисциплина преподается студентам в 8-ом семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 ак. часа.

### Календарный план

№ Р а з д е л а	№ Т е м ы	Наименование раздела (темы) дисциплины	Виды учебной деятельно- сти (в часах)					Аттеста ция раз- дела (форма)	Макси маль- ный балл за раздел
			Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	СРС		
8 семестр									
1 раздел. Основные понятия и вероятностный поход к моделированию ХТП									
1	1	Основные понятия моде- лирования ХТП	28	2			26		
1	2	Вероятностный подход к моделированию	28	2			26	T1	30 б.
2 раздел. Детерминированный подход к моделированию ХТП									
2	3	Математическое модели- рование гидродинамиче- ской структур однофазных поток	28	2		4	22		
2	4	Математическое моделиро- вание теплообменныхпро- цессов	32	2/2		4	26		
2	5	Математическое моделиро- вание кинетики химических реакций	28	2/2			26	T2	30 б.
Вид промежуточной аттестации			144	10/4		8	126	Зачет с оценкой	40 б.

Сокращенное наименование форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
T	Тестирование

### Содержание лекционного курса

Темы лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Всего часов	Учебно- мето- дическое обеспечение
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1 Основные понятия моделирования ХТП 1.1 Понятие модели. Классификация моделей 1.2 Виды моделирования 1.2.1 Физическое моделирование 1.2.2 Математическое моделирование 1.3 Классификация математических моделей 1.4 Принципы математического моделирования процессов химиче- ской технологии 1.5 Исследование химико-технологических процессов методом ма- тематического моделирования. Блочный принцип построения мате- матической модели ХТП 1.6 Классификация уравнений модели 1.7 Этапы построения математической модели ХТП	2	1-6
2 Вероятностный подход к моделированию 2.1 Функция одной переменной. Выбор вида и определение пара- метров эмпирической зависимости	2	1-6

2.2 Функции многих переменных. Множественная регрессия		
3 Математическое моделирование гидродинамической структур однофазных потоков 3.1 Модель идеального перемешивания 3.2 Модель идеального вытеснения 3.3 Однопараметрическая диффузионная модель 3.4 Ячеечная модель 3.5 Комбинированные модели	2	1-6
4. Математическое моделирование теплообменных процессов 4.1 Математические модели теплообменников 4.2 Теплообменник типа «перемешивание-перемешивание» 4.3 Теплообменник типа «перемешивание-вытеснение» 4.4 Теплообменник типа «вытеснение-вытеснение»	2	1-6
5 Математическое моделирование кинетики химических реакций 5.1 Классификация реакций 5.2 Скорость химической реакции 5.3 Кинетические уравнения	2	1-6

### Перечень практических занятий

Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Всего часов	Учебно- методическое обеспечение
1	2	3
Математическое моделирование структуры однофазных потоков	4	1-6
Моделирование теплообменника типа «труба в трубе»	4	1-6

### Задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Всего часов	Учебно- методическое обеспечение
1	2	3
1 Математическое моделирование гидродинамической структур однофазных потоков 1.1 Время пребывания элементов потока как случайная величина 1.2 Экспериментальное изучение распределения времени пребывания элементов потока 1.3 Интегральная и дифференциальная функции распределения времени пребывания элементов потока 1.5 Алгоритм идентификации математического описания структуры потоков	26	1-6
2 Математическое моделирование теплообменных процессов 2.1 Основы теплового расчета 2.1.1 Проектный расчет теплообменного аппарата 2.1.2 Проверочный расчет теплообменного аппарата 2.2 Оптимальное проектирование теплообменного аппарата. 2.2.1 Постановка задачи оптимального проектирования 2.2.2 Алгоритм расчета критерия оптимизации 2.3 Пример моделирования противоточного теплообменника	26	1-6
3 Математическое моделирование кинетики химических реакций 3.1.4 Механизм химической реакции. Простые и сложные реакции 3.1.5 Степень превращения 3.1.6 Степень полноты реакции 3.1.7 Стехиометрические уравнения. Стехиометрическая матрица 3.2 Этапы идентификации математической модели кинетики химических реакций 3.2.1 Экспериментальное исследование кинетики химических реак-	22	1-6

ций 3.2.2 Формулирование гипотез о возможных механизмах реакции 3.2.3 Разработка математической модели кинетики химических реакций 3.2.4 Формулирование критерия адекватности 3.2.5 Отыскание кинетических констант (параметрическая идентификация модели) 3.4 Примеры моделирования кинетики		
4 Математическое моделирование массообменных процессов 4.1 Постановка задачи 4.2 Блочный принцип построения моделей массопередачи 4.3 Общая характеристика математического описания 4.3.1 Уравнение баланса массы 4.3.2 Уравнение равновесия 4.3.3 Уравнение кинетики 4.4 Моделирование массообменного процесса на примере моделирования процесса адсорбции 4.4.1 Уравнение материального баланса 4.4.2 Уравнение кинетики сорбции 4.4.3 Уравнение равновесия сорбции 4.4.4 Уравнение теплового баланса 4.4.5 Уравнение передачи тепла	26	1-6
5 Математическое моделирование химических реакторов 5.1 Классификация химических реакторов 5.2 Математические модели процесса в реакторе 5.2.1 Математические модели реакторов идеального смешения 5.2.2 Математические модели химических реакторов идеального вытеснения 5.2.3 Каскад реакторов идеального смешения 5.3 Сравнение химических реакторов идеального смешения и идеального вытеснения и каскада РИС	26	1-6

### Контрольная работа

Задание 1. Для заданных экспериментальных данных найти оценки коэффициентов линейного одномерного уравнения  $y = b_0 + b_1 x$ . Определить ошибку прогноза выходной переменной на основании остаточной суммы квадратов отклонений.

Варианты задания 1 представлены в таблице.

№ п/п	Вход X	Выходная переменная по вариантам											
		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
1	0	-0,1	4,9	-2,1	6,9	-4,1	8,9	-6,1	-7,1	11,9	-9,1	13,9	-11,1
2	1	5,1	3,1	5,1	3,1	5,1	3,1	-12,9	5,1	3,1	5,1	3,1	5,1
3	2	2,6	-6,4	4,6	-8,4	6,6	-10,4	-27,4	9,6	-13,4	11,6	-15,4	13,6
4	3	6,3	-9,7	10,3	-13,7	14,3	-17,7	-35,7	20,3	-23,7	24,3	-27,7	28,3
5	4	11,1	-11,9	17,1	-17,9	23,1	-23,9	-42,9	32,1	-32,9	38,1	-38,9	44,1
6	5	14,4	-15,6	22,4	-23,6	30,4	-31,6	-51,6	42,4	-43,6	50,4	-51,6	58,4
7	6	14,3	-22,7	24,3	-32,7	34,3	-42,7	-63,7	49,3	-57,7	59,3	-67,7	69,3
8	7	19,3	-24,7	31,3	-36,7	43,3	-48,7	-70,7	61,3	-66,7	73,3	-78,7	85,3
9	8	24,3	-26,7	38,3	-40,7	52,3	-54,7	-77,7	73,3	-75,7	87,3	-89,7	101,3
10	9	24,0	-34,0	40,0	-50,0	56,0	-66,0	-90,0	80,0	-90,0	96,0	-106,0	112,0
11	10	32,5	-32,5	50,5	-50,5	68,5	-68,5	-93,5	95,5	-95,5	113,5	-113,5	131,5
12	11	28,8	-43,2	48,8	-63,2	68,8	-83,2	-109,2	98,8	-113,2	118,8	-133,2	138,8
13	12	35,8	-43,2	57,8	-65,2	79,8	-87,2	-114,2	112,8	-120,2	134,8	-142,2	156,8
14	13	33,8	-52,2	57,8	-76,2	81,8	-100,2	-128,2	117,8	-136,2	141,8	-160,2	165,8
15	14	46,6	-46,4	72,6	-72,4	98,6	-98,4	-127,4	137,6	-137,4	163,6	-163,4	189,6
16	15	43,6	-56,4	71,6	-84,4	99,6	-112,4	-142,4	141,6	-154,4	169,6	-182,4	197,6
17	16	45,4	-61,6	75,4	-91,6	105,4	-121,6	-152,6	150,4	-166,6	180,4	-196,6	210,4
18	17	46,3	-67,7	78,3	-99,7	110,3	-131,7	-163,7	158,3	-179,7	190,3	-211,7	222,3
19	18	52,4	-68,6	86,4	-102,6	120,4	-136,6	-169,6	171,4	-187,6	205,4	-221,6	239,4
20	19	52,9	-75,1	88,9	-111,1	124,9	-147,1	-181,1	178,9	-201,1	214,9	-237,1	250,9
21	20	60,8	-74,2	98,8	-112,2	136,8	-150,2	-185,2	193,8	-207,2	231,8	-245,2	269,8

Задание 2. Построить регрессионное уравнение и провести полный дисперсионный анализ результатов:

- а) провести анализ значимости полученных коэффициентов модели на основании t-критерия,
- б) построить доверительные интервалы для полученных оценок, в которых находятся истинные значения коэффициентов,
- в) определить составляющие основного уравнения дисперсионного анализа, число степеней свободы каждой составляющей,
- г) показатели адекватности построенной модели по коэффициенту множественной корреляции, критерию Фишера, величине остаточной ошибки модели,
- д) определить величину ошибки прогноза модели,
- е) провести графический анализ остатков и сделать вывод о целесообразности или нецелесообразности изменения структуры модели.

Варианты задания 2 представлены в таблице.

№ п/п	X1	X2	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
0	9,4	7,4	49,1	51,0	52,9	54,8	86,5	124	162
1	12,6	12,4	51,2	49,5	47,8	46,1	94,0	148	202
2	5,6	9,5	19,9	10,1	0,3	-9,5	18,8	53	87
3	7,8	8,6	31,1	27,5	23,9	20,3	51,2	88	125
4	6,3	8,0	26,1	20,6	15,2	9,7	36,4	69	102
5	5,8	8,9	20,3	12,1	3,9	-4,3	23,0	56	89
6	10,3	9,3	45,9	45,9	45,9	45,9	83,0	126	169
7	9,3	12,7	26,6	17,8	8,9	0,1	42,0	90	138
8	9,6	9,0	47,8	47,1	46,4	45,7	80,9	122	163
9	11,7	14,8	32,1	24,0	16,0	8,0	58,9	116	173
10	13,3	6,8	75,9	87,0	98,1	109,2	147,4	192	236
11	11,8	13,8	37,3	31,2	25,2	19,1	68,4	124	179
12	9,0	11,4	29,6	22,8	16,0	9,2	47,8	92	137
13	11,5	7,1	61,0	67,8	74,6	81,4	116,6	158	199
14	7,0	9,3	26,6	19,9	13,3	6,7	37,1	74	110
15	10,1	9,4	49,3	48,7	48,1	47,5	84,3	127	170
16	6,5	8,5	21,8	15,8	9,8	3,8	31,8	66	100
17	12,9	7,4	68,3	77,2	86,1	95,0	133,7	178	223
18	11,5	10,9	49,1	48,3	47,4	46,6	89,5	138	187
19	11,2	7,3	57,9	63,8	69,6	75,5	110,4	151	192
20	11,4	10,6	45,9	45,4	44,8	44,3	86,4	134	183
21	9,5	10,3	39,2	35,7	32,2	28,7	66,3	110	153
22	10,3	8,2	54,7	56,9	59,1	61,3	96,2	137	178
23	11,0	10,1	48,9	48,6	48,2	47,9	88,1	134	181
24	11,7	8,7	55,6	59,6	63,6	67,6	106,5	151	196
25	12,2	7,6	61,8	69,1	76,3	83,6	121,2	165	208
26	11,4	11,3	49,8	48,1	46,4	44,7	88,1	138	187
27	12,9	12,6	49,1	47,7	46,2	44,8	93,8	149	204
28	10,0	10,9	38,3	34,5	30,7	26,9	66,7	113	158
29	7,9	6,5	45,2	46,1	47,0	47,8	74,5	107	140
30	10,9	11,2	42,8	40,1	37,4	34,7	77,0	125	173
31	7,9	12,5	19,1	8,1	-3,0	-14,0	24,8	70	115
32	8,3	8,4	37,6	35,6	33,5	31,4	62,8	100	137
33	9,1	9,0	42,4	40,7	39,0	37,3	71,4	111	152
34	11,0	8,8	55,6	58,1	60,6	63,1	100,7	144	188
35	6,5	11,1	16,2	5,0	-6,3	-17,5	15,7	55	94
36	10,1	8,7	46,6	47,4	48,2	49,0	84,5	126	168
37	11,7	11,6	46,7	44,9	43,1	41,2	85,8	136	187
38	11,4	13,3	37,9	32,1	26,3	20,6	67,9	121	174



Система оценивания контрольной работы. Учитывается в шкале оценивания раздела 1.

Оценка (балл за выполнение контрольной работы)	Требования к знаниям
«зачтено» 12 - 20 баллов	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если выполнены оба задания контрольной работы, приведены результаты расчетов в программе Excel, сделаны соответствующие выводы. Имеет знания основного материала, четко и логически последовательно его излагает на опросе по результату выполнения контрольной работы.
«не зачтено» 0 - 12 баллов	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части материала, контрольная работа содержит существенные ошибки, отсутствуют выводы по результатам работы.

### Образовательные технологии

При реализации учебного материала курса используются различные образовательные технологии, способствующие созданию атмосферы свободной и творческой дискуссии как между преподавателем и студентами, так и в студенческой группе. Целью при этом является выработка у студентов навыков и компетенций, позволяющих самостоятельно вести исследовательскую и научно-педагогическую работу.

Практическая подготовка при реализации учебной дисциплины организуется путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка также включает в себя занятия лекционного типа, которые предусматривают передачу учебной информации обучающимся, необходимой для последующего выполнения работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций с использованием ПК и компьютерного проектора, практических занятий, с использованием ПК при проведении расчетов и моделирования. Самостоятельная работа студентов проводится под руководством преподавателей, с оказанием консультаций и помощи при подготовке к контрольным работам, выполнении домашних заданий.

### Фонд 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 представлена в следующей таблице:

№ п/п	Наименование контролируемых разделов (темы)	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Наименование оценочного средства
Входной контроль			
1	Входной контроль		Вопросы входного контроля (устно)
Аттестация разделов, текущий контроль успеваемости			
2	Основные понятия и вероятностный подход к моделированию ХТП	З-ПК-1; У-ПК-1, В-ПК-1 З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5 З-ПК-7, У-ПК-7	Практическая работа 1 Контрольная работа (заоч) Тест 1 (письменно)

3	Детерминированный подход к моделированию ХТП	З-ПК-1; У-ПК-1, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5 З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7	Практическая работа 2 Практическая работа 3 Тест 2 (письменно)
Промежуточная аттестация			
4	Зачет с оценкой	З-ПК-1; У-ПК-1, В-ПК-1 З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7	Вопросы к зачету (устно)

Оценочные средства для входного контроля представляют собой вопросы, которые задаются студентам в устной форме.

В качестве оценочного средства текущего контроля используются выполнение практических заданий.

В качестве оценочного средства аттестации разделов используются тесты 1 и 2, а для промежуточной аттестации предусмотрены теоретические вопросы.

По итогам обучения выставляется зачет с оценкой.

### **Вопросы входного контроля**

1. Непрерывная функция.
2. Производная функция.
3. Гидромеханические процессы.
4. Тепловые процессы.
5. Массообменные процессы.
6. Химические процессы.
7. Механические процессы.
8. Периодические процессы.
9. Непрерывные процессы.
10. Материальный баланс.

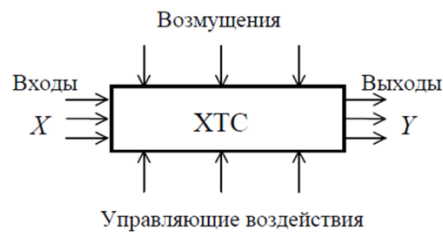
Аттестация раздела по дисциплине проводится в форме тестирования. Тест содержит от 10 вопросов. На выполнение задания отводится 30 минут. Тест – это форма контроля, направленная на проверку уровня освоения контролируемого теоретического и практического материала по дидактическим единицам дисциплины (терминологический аппарат, основные методы).

### **Тест №1 (примерный вид)**

1. Численные характеристики аппаратного оформления моделируемого объекта. Например, объем реактора, свободное сечение аппарата с насадкой, удельная поверхность катализатора и т.п. относят к

- а) параметры состояния потоков
- б) структурным параметрам
- в) физико-химическим параметрам
- г) конструктивным параметрам

2. В качестве входных переменных принимают



- а) температура, количество перерабатываемого сырья, влажность
  - б) тепловая, аэродинамическая и влажностная нагрузки
  - в) тепловая, газовая и влажностная нагрузка
  - г) температура, концентрация, количество готового продукта
3. Что отображает технологический оператор  $T$  в данном уравнении?

$$Y = T(X, U)$$

- а) отображает функциональное пространство входных переменных ( $X$ ) и пространство переменных состояния самой ФХС ( $U$ ) в пространство оценок входных переменных  $Y$
- б) отображает несущее в себе информацию о способе решения уравнений математической модели
- в) оценку входящих параметров
- г) отображает функциональные пространства входных переменных ( $X$ ) и переменные состояния самой ФХС ( $U$ ) в пространство значений выходных переменных ( $Y$ )

4. Методы активного планирования эксперимента позволяют.

- а) проводить эксперимент по заранее составленному плану при минимальных затратах на получение необходимых данных об изучаемом объекте и его оптимизацию
- б) проводить эксперимент по заранее составленному плану при максимальных затратах на получение необходимых данных об изучаемом объекте
- в) не проводить эксперимент
- г) проводить эксперимент без составления плана.

5. Что относится к недостаткам физического моделирования?

- а) дороговизна моделей сложных объектов
- б) не удастся визуально наблюдать за ходом процесса
- в) искажение сущности процесса, что значительно снижает точность результатов решения задач
- г) наглядность изучения явлений

6. На рисунке представлена..

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$Y$
1	-1	-1	$y_1$
2	+1	-1	$y_2$
3	-1	+1	$y_3$
4	+1	+1	$y_4$

- а) матрица планирования эксперимента;
- б) таблица опытов;
- в) матрица параметров;
- г) матрица инцидентий.

7. Какая модель, описывает процесс, в котором значение выходной величины однозначно определяется значением входной величины?

- а) стохастическая
- б) динамическая
- в) статическая
- г) детерминированной

8. К основным составляющим второй ступени иерархии химического предприятия (ХП) относят:

- а) механические, гидродинамические и тепловые процессы
- б) систему организации производства, планирование запасов сырья, реализацию готового продукта
- в) отделения, комплексы, агрегаты
- г) кинетика химических реакций и фазовые переходы

9. Уравнение, которое используются для описания объектов с распределенными параметрами называется

- а) конечным
- б) обыкновенное дифференциальное уравнение
- в) дифференциальным уравнением в частных производных
- г) уравнение теплового баланса

10. На каком из этапов математической модели ХТП осуществляется атематическое описание процесса состоит в формализации гипотез?

- а) этап 2
- б) этап 3
- в) этап 4
- г) этап 6

### Критерии оценки тестового задания 1:

На тестировании выносятся 10 вопросов. Количество правильных ответов равно количеству баллов.

### Шкала оценивания раздела 1

Текущий контроль успеваемости	Аттестация раздела	Максимальный / минимальный балл для аттестации раздела
Заочная форма обучения		
Контрольная работа - 20 баллов	Тест 1 - 10 баллов	30 баллов / 24 балла

### Тест №2 (ориентировочные вопросы)

1. Среднее время пребывания частиц в системе ячеечной модели определяется по формуле

- а)  $V = n \times V_i$
- б)  $V_i = \tau/n$
- в)  $\tau = V/v$
- г)  $\tau = V_i/v$

2. Каким уравнением в математическом моделировании описывается перенос электричества?

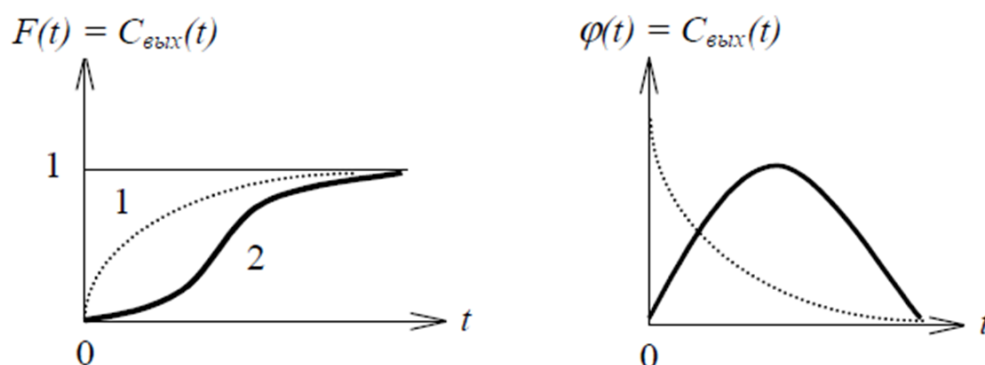
а)  $i = -\frac{1}{r} \cdot \frac{dU}{dx}$

б)  $q = -D \cdot \frac{dC}{dx}$

в)  $q = -l \cdot \frac{dT}{dx}$

г)  $c = \Delta\tau / (dx/dt)$

3. Отклонение опытной F-кривой 2 от идеальной кривой 1 указывает на существование в аппарате



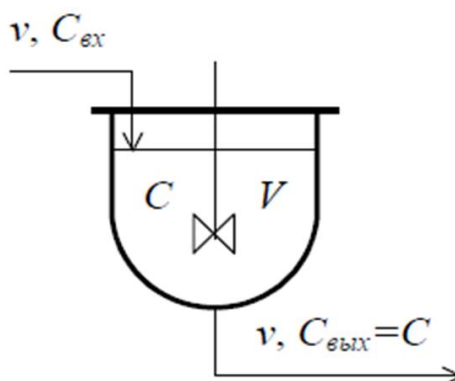
а) байпасного потока

б) застойной зоны

в) зоны идеального вытеснения

г) зоны смешения и вытеснения

4. К какой модели относится данная схема аппарата изображенная на рисунке?



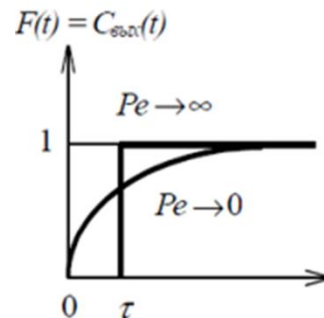
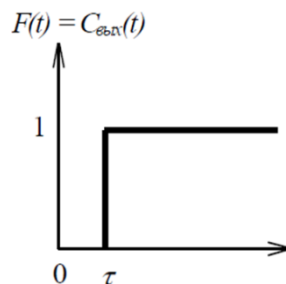
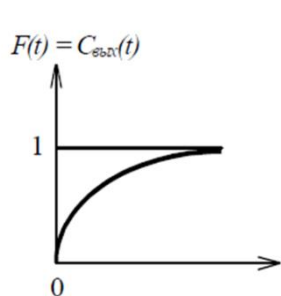
а) модель идеального вытеснения

б) однопараметрическая модель

в) модель идеального перемешивания

г) ячеечная модель

5. Какой из предоставленных графиков относится к модели идеального вытеснения при  $F(t) = C_{\text{вых}}(t)$



- а) 1
- б) 2
- в) 3
- г) ни один из графиков не относится к данной модели

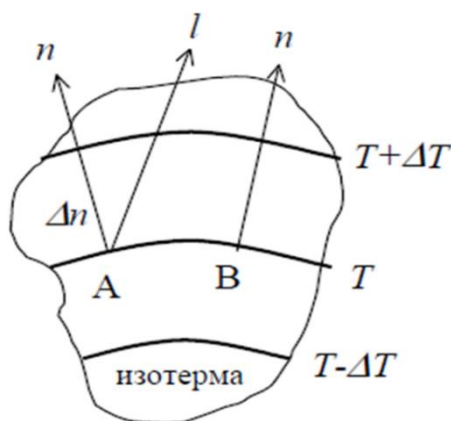
6. Если  $Pe \rightarrow 0, D_L \rightarrow \infty$ , то

- а) ОДМ переходит в МИП
- б) МИВ переходит в МИП
- в) ОДМ переходит в ДДМ
- г) ОДМ переходит в МИВ

7. Процесс распространения теплоты только вследствие движения молекул называется

- а) теплообменом
- б) конвекцией
- в) теплопередачей
- г) теплопроводность

8. Наибольшая разность температур на единицу длины наблюдается в направлении нормали к изотермической поверхности в точке А, так как расстояние между соседними изотермами  $\Delta n$  при этом



- а) больше, чем в точке В
- б) меньше, чем в точке В
- в) одинакова
- г) больше, чем в точке А

9. В уравнении, описывающее изменение температуры для теплообменника в зоне идеального смешения  $C_p$  это

$$VC_p \frac{dT}{d\tau} = vC_p (T_{ex} - T),$$

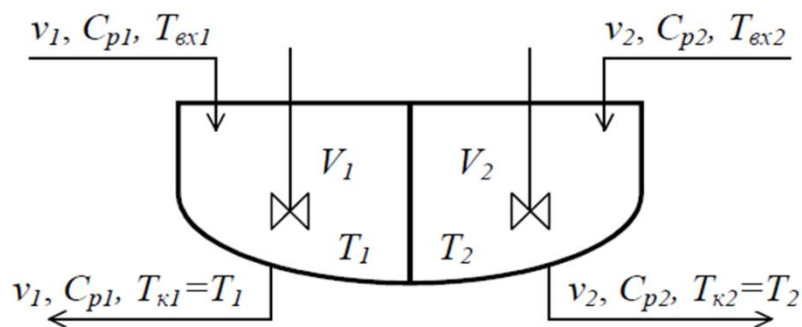
- а) теплоемкость потока
- б) концентрация вещества
- в) расход теплоносителя
- г) сечение зоны идеального вытеснения

10. В уравнении интенсивности источника теплоты К это

$$VqT = F \times K \times \Delta T,$$

- а) разность теплообмена
- б) коэффициент теплопередачи
- в) расход теплоносителя
- г) коэффициент продольного переноса теплоты

11. Какой тип теплообменника изображен на данном рисунке?



- а) перемешивание-перемешивание
- б) смешения и вытеснения
- в) перемешивание-вытеснение
- г) вытеснение-вытеснение

### Критерии оценки тестового задания 2:

На тестировании выносятся 10 вопросов. Количество правильных ответов равно количеству баллов.

### Шкала оценивания раздела 2

Текущий контроль успеваемости	Аттестация раздела	Максимальный / минимальный балл для аттестации раздела
Заочная форма обучения		
Практическая работа 2 - 10 баллов	Тест 2 - 10 баллов	30 баллов /
Практическая работа 3 - 10 баллов		24 балла

### Теоретические вопросы на зачет с оценкой

1. Понятие модели. Классификация моделей
2. Виды моделирования. Физическое моделирование
3. Виды моделирования. Математическое моделирование
4. Классификация математических моделей
5. Принципы математического моделирования процессов химической технологии
6. Исследование химико-технологических процессов методом математического моделирования

- 7.Блочный принцип построения математической модели ХТП
- 8.Классификация уравнений модели
- 9.Этапы построения математической модели ХТП
- 10.Функция одной переменной. Выбор вида и определение параметров эмпирической зависимости
- 11.Функции многих переменных. Множественная регрессия
- 12.Модель идеального перемешивания
- 13.Модель идеального вытеснения
- 14.Однопараметрическая диффузионная модель
- 15.Ячеечная модель
- 16.Комбинированные модели
- 17.Математические модели теплообменников
- 18.Теплообменник типа «перемешивание-перемешивание»
- 19.Теплообменник типа «перемешивание-вытеснение»
- 20.Теплообменник типа «вытеснение-вытеснение»
- 21.Классификация реакций
- 22.Скорость химической реакции
- 23.Кинетические уравнения

Зачет с оценкой проводится в устной форме, путем ответа на 4 вопроса из вышеприведенного перечня вопросов. При этом оценивается правильность и полнота ответа. Максимальный балл за зачет – 40 баллов (10 баллов за каждый вопрос).

#### **Шкалы оценки образовательных достижений**

<b>Баллы</b> (итоговой рейтинговой оценки)	<b>Оценка</b> (балл за ответ на зачете)	<b>Требования к знаниям</b>
90-100	«зачтено» «отлично» 36-40	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он раскрыл вопросы зачета на 90% и более, показал глубокие и прочные знания по разделам моделирования ХТП. Учебные достижения в семестровый период и результаты рубежного контроля демонстрируют достаточную степень овладения программным материалом
70-89	«зачтено» «хорошо» 29-35	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он раскрыл вопросы зачета на 70%-89%, показал глубокие знания, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос. Учебные достижения в семестровый период и результаты рубежного контроля демонстрируют достаточную степень овладения программным материалом
60-69	«зачтено» «удовлетворительно» 24-28	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он ответил на 60% - 69% вопросов зачета, в которых показал некоторые знания по разделам моделирования ХТП. При этом не усвоил всех деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении материала.
Менее 60	«не зачтено»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту,



	«неудовлетворительно» менее 24	который ответил менее 60% вопросов зачета, в которых не показал глубокие и прочные знания по разделам моделирования ХТП.
--	-----------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Итоговая оценка выставляется путем перевода набранных баллов в соответствии со следующей таблицей:

Оценка по 5-балльной шкале	Сумма баллов за разделы и экзамен	Оценка ECTS
5 – «отлично»	90-100	A
4 – «хорошо»	85-89	B
	75-84	C
	70-74	D
3 – «удовлетворительно»	65-69	E
	60-64	
2 – «неудовлетворительно»	Менее 60	F

### Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

#### Основная литература:

1. Гумеров, А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие / А. М. Гумеров. — 2-е изд., перераб. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 176 с. — ISBN 978-5-8114-1533-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/41014>.

2. Самойлов, Н. А. Примеры и задачи по курсу "Математическое моделирование химико-технологических процессов": учебное пособие / Н. А. Самойлов. — 3-е изд., испр. И доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 176 с. — ISBN 978-5-8114-1553-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/37356>.

#### Дополнительная литература:

3. Заварухин, С. Г. Математическое моделирование химико-технологических процессов и аппаратов : учебное пособие / С. Г. Заварухин. — 2-е изд. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 86 с. — ISBN 978-5-7782-3284-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118478>.

4. Гартман, Т. Н. Моделирование химико-технологических процессов. Принципы применения пакетов компьютерной математики : учебное пособие / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 404 с. — ISBN 978-5-8114-3900-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/126905>.

5. Казанцева, Н. В. Математическое моделирование в программных пакетах Excel и MathCad : учебно-методическое пособие / Н. В. Казанцева. — Екатеринбург : , 2018. — 99 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121397>.

6. Нарышкин, Д. Г. Равновесия в растворах электролитов. Расчеты с Mathcad : учебное пособие / Д. Г. Нарышкин, М. А. Осина, В. Ф. Очков. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 180 с. — ISBN 978-5-8114-2913-4. — Текст : электронный // Лань :

### **Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. Excel.
- 2 MathCad.

### **Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины**

Лекционные занятия проводятся в специализированных аудиториях, оснащенных мультимедийным оборудованием. Практические занятия проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерами.

### **Учебно-методические рекомендации для студентов**

1. Указания для прослушивания лекций

Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы.

Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю. Не надо опасаться, что вопросы могут быть простыми.

На лекции основное внимание следует уделять не формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач.

В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам решения задач (здесь возможен выборочный контроль знаний студентов). Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

Для более подробного изучения курса следует работать с рекомендованными литературными источниками и вновь появляющимися источниками.

2. Указания для участия в практических занятиях.

Перед выполнением практических заданий необходимо ознакомиться с основным теоретическими сведениями, порядком выполнения работ и примером, обсудить с преподавателем основные моменты.

В процессе решения задач вести дискуссию с преподавателем о правильности применения методов их решения. По возможности самостоятельно доводить решение предлагаемых задач до окончательного итога.

В конце практического занятия при необходимости выяснить у преподавателя неясные вопросы. Оформить выполнения работы в виде письменного отчета, в котором отобразить название и цель работы, основные теоретические сведения, ход работы с описанием всех этапов и скриншотов из программных продуктов, привлекаемых для решения задач. В конце отчета необходимо изложить выводы.

Подготовить ответы на контрольные вопросы.

3. Указания для выполнения самостоятельной работы

Получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы. Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю.

Подготовить письменный отчет о проделанной работе.

При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

Подготовить ответы на контрольные вопросы.

### **Методические рекомендации для преподавателей**

#### **1. Указания для проведения лекций**

На первой вводной лекции сделать общий обзор содержания курса и отметить новые методы и подходы к решению задач, рассматриваемых в курсе, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

При подготовке к лекционным занятиям необходимо продумать план его проведения, содержание вступительной, основной и заключительной части лекции, ознакомиться с новинками учебной и методической литературы, публикациями периодической печати по теме лекционного занятия. Перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных итогах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и осуществить выборочный контроль знания студентов.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия. Раскрывая содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов.

Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя, категориальный аппарат. В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного практического занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к выполнению работы.

На последней лекции уделить время для обзора наиболее важных положений, рассмотренных в курсе.

#### **2. Указания для проведения практических занятий**

Четко обозначить тему практической работы.

Обсудить основные понятия, связанные с темой практических заданий, порядок выполнения работы, программные продукты, используемые для решения поставлен-

ных задач.

В процессе выполнения работы следует постоянно общаться со студентами, не допуская по возможности их неправильных действий.

Требовать, чтобы результаты выполнения практической работы были оформлены в виде отчета в Word с добавлением скриншотов из математического или табличного редактора.

При приеме зачета по работе проверять наличие самостоятельных выводов о проделанной работе, а также готовность студентов пояснить весь ход проделанной работы.

### 3. Указания по контролю самостоятельной работы студентов

По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть индивидуальным или фронтальным.

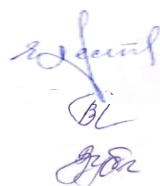
При использовании индивидуальных заданий требовать от студента письменный отчет о проделанной работе.

При применении фронтальных заданий вести коллективные обсуждения со студентами основных теоретических положений.

С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы требовать индивидуальные отчеты (допустимо вместо письменного отчета применять индивидуальные контрольные вопросы).

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ и учебным планом основной образовательной программы по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология».

Рабочую программу составил



доцент, Пестова Е.Д.

профессор, Бирюков В.П.

Рецензент

доцент, Зубова Н.Г.

Программа одобрена на заседании УМКН 18.03.01 «Химическая технология» от 15.11.2021 года, протокол № 2.

Председатель учебно-методической комиссии



Чернова Н.М.