

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Ивангородский гуманитарно-технический институт (филиал)  
федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования

"Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения"

Кафедра № 2

УТВЕРЖДАЮ

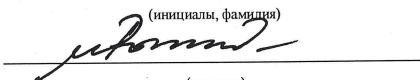
Ответственный за образовательную  
программу

проф., д.ф.-м.н.

(должность, уч. степень, звание)

Ю.В. Рождественский

(инициалы, фамилия)



(подпись)

«19» июня 2025 г

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

проф., д.ф.-м.н.  
(должность, уч. степень, звание)



19.06.2025

(подпись, дата)

Ю.В. Рождественский  
(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 2

«19» июня 2025 г, протокол № 10

Заведующий кафедрой № 2

д.ф.-м.н.  
(уч. степень, звание)



19.06.2025

(подпись, дата)

Ю.В. Рождественский  
(инициалы, фамилия)

Заместитель директора ИФ ГУАП по методической работе

(должность, уч. степень, звание)



19.06.2025

(подпись, дата)

Н.В. Шустер  
(инициалы, фамилия)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Моделирование химико-технологических процессов»  
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	18.03.01
Наименование направления подготовки/ специальности	Химическая технология
Наименование направленности	Технология переработки природного газа (ИФ)
Форма обучения	очная
Год приема	

## Аннотация

Дисциплина «Моделирование химико-технологических процессов» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/ специальности 18.03.01 «Химическая технология» направленности «Технология переработки природного газа (ИФ)». Дисциплина реализуется кафедрой «№2».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

УК-1 «Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач»

УК-2 «Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений»

УК-7 «Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности»

ПК-1 «Способен анализировать технологический процесс как объект управления»

ПК-2 «Способен систематизировать и обобщать информацию по использованию технологического оборудования предприятия»

ПК-3 «Способен осуществлять оперативный контроль ведения технологического процесса и выполнения технологических операций с целью выявления технологических потерь на объектах нефтегазопереработки и нефтегазохимии»

ПК-4 «Способен вести учет расхода сырья, присадок, реагентов, катализаторов, энергоресурсов, выпуска готовой продукции»

ПК-5 «Способен осуществлять контроль выполнения мероприятий, направленных на устранение нарушений технологического режима в процессе переработки нефти, газа и химического сырья»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с математическим моделированием химико-технологических процессов в производстве неорганических веществ, разработкой математических моделей с использованием алгебраических и дифференциальных уравнений, основными параметрами процесса в статическом и динамическом режимах; основами оптимизации химико-технологических процессов.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа обучающегося.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме дифференцированного зачета.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский»

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

### 1.1. Цели преподавания дисциплины

Целями освоения дисциплины «Моделирование химико-технологических процессов» являются овладение бакалавром основами математического моделирования химико-технологических процессов в производстве неорганических веществ; умение разрабатывать математические модели с использованием алгебраических и дифференциальных уравнений, рассчитывать основные параметры процесса в статическом и динамическом режимах; дать основы оптимизации химико-технологических процессов.

1.2. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Универсальные компетенции	УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.3.1 знать методики поиска, сбора и обработки информации, в том числе с использованием информационных технологий, включая интеллектуальные УК-1.У.1 уметь применять методики поиска, сбора и обработки информации, в том числе с использованием искусственного интеллекта
Универсальные компетенции	УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.У.3 уметь выдвигать альтернативные варианты действий с целью выбора оптимальных способов решения задач, в том числе с помощью цифровых средств УК-2.В.3 владеть навыками использования цифровых средств для решения поставленной задачи
Универсальные компетенции	УК-7 Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности	УК-7.В.1 владеть навыками организации здорового образа жизни с целью поддержания должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной деятельности
Профессиональные компетенции	ПК-1 Способен анализировать технологический	ПК-1.3.1 знать методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации

	процесс как объект управления	
Профессиональные компетенции	ПК-2 Способен систематизировать и обобщать информацию по использованию технологического оборудования предприятия	ПК-2.3.1 знать отечественный и международный опыт в областях химии и химической технологии, нефтехимии и газохимии
Профессиональные компетенции	ПК-3 Способен осуществлять оперативный контроль ведения технологического процесса и выполнения технологических операций с целью выявления технологических потерь на объектах нефтегазопереработки и нефтехимии	ПК-3.3.2 знать теоретические основы технологии переработки нефти, газа и химического сырья и производства готовой продукции объектов нефтегазопереработки и нефтехимии ПК-3.В.1 владеть навыками анализа фактических параметров работы оборудования объектов нефтегазопереработки и нефтехимии с целью выявления отклонений от заданных параметров технологического режима
Профессиональные компетенции	ПК-4 Способен вести учет расхода сырья, присадок, реагентов, катализаторов, энергоресурсов, выпуска готовой продукции	ПК-4.У.1 уметь анализировать информацию о расходе сырья, присадок, реагентов, катализаторов, энергоресурсов в процессе переработки нефти, газа и химического сырья ПК-4.В.1 владеть навыками расчета норм расхода сырья, присадок, реагентов, катализаторов, энергоресурсов
Профессиональные компетенции	ПК-5 Способен осуществлять контроль выполнения мероприятий, направленных на устранение нарушений технологического режима в процессе переработки нефти, газа и химического сырья	ПК-5.3.1 знать виды аварий, инцидентов на объектах нефтегазопереработки и нефтехимии

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- Информатика
- Математика. Аналитическая геометрия и линейная алгебра,
- Математика. Математический анализ,
- Математика. Теория вероятностей и математическая статистика

- Процессы и аппараты химической технологии
- Общая химическая технология

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, применяются при выполнении выпускной квалификационной работы бакалавра, а также при изучении следующих дисциплин:

- Основы проектирования химических производств.

### 3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№б
1	2	3
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)</b>	5/ 180	5/ 180
<b>Из них часов практической подготовки</b>	21	21
<b>Аудиторные занятия, всего час.</b>	68	68
в том числе:		
лекции (Л), (час)	34	34
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	34	34
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
<b>Самостоятельная работа, всего (час)</b>	112	112
<b>Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.)</b>	Дифф. Зач.	Дифф. Зач.

### 4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
<b>Семестр 6</b>					
Раздел 1. Тема 1.1. Основные понятия и определения Тема 1.2. Математическое моделирование кинетики химических реакций Тема 1.3. Математическое моделирование химических реакторов Тема 1.4. Математическое моделирование массообменных процессов	34		34		112
Итого в семестре:	34		34		112
Итого	34	0	34	0	112

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
<b>1</b>	<p style="text-align: center;"><b>Тема 1.1 Основные понятия и определения</b></p> <p>Цель математического моделирования, классификация химико-технологических процессов и математических моделей. Виды моделирования: физическое и математическое моделирование. Принципы математического моделирования процессов химической технологии. Этапы моделирования. Состав математического описания. Алгебраические уравнения, трансцендентные уравнения, обыкновенные дифференциальные уравнения, дифференциальные уравнения в частных производных. Статистический анализ модели и проверка ее на адекватность. Использование модели.</p> <p style="text-align: center;"><b>Тема 1.2 Математическое моделирование кинетики химических реакций</b></p> <p>Основные понятия химической кинетики. Классификация реакций. Скорость химической реакции. Кинетические уравнения. Механизм химической реакции. Формулирование гипотез о возможных механизмах реакции. Простые и сложные реакции: последовательная реакция, параллельная реакция, смешанная реакция. Стехиометрические уравнения. Стехиометрическая матрица. Методы упрощения математической модели кинетики. Линейные инварианты. Ключевые вещества. Этапы идентификации математической модели кинетики химических реакций: Прямая и обратная задачи кинетики. Экспериментальное исследование кинетики химических реакций: Интегральный метод анализа опытных данных, Дифференциальный метод анализа опытных данных. Разработка математической модели кинетики химических реакций. Формулирование критерия адекватности. Отыскание кинетических констант (параметрическая идентификация модели)</p> <p style="text-align: center;"><b>Тема 1.3 Математическое моделирование химических реакторов</b></p>

	Классификация химических реакторов. Организация материальных потоков. Организация тепловых потоков. Математические модели процесса в реакторе. Математические модели реакторов идеального смешения. Математические модели химических реакторов идеального вытеснения. Каскад реакторов идеального смешения. Сравнение химических реакторов идеального смешения и идеального вытеснения и каскада РИС
	<p style="text-align: center;"><b>Тема 1. 4 Математическое моделирование массообменных процессов</b></p> Блочный принцип построения моделей массопередачи. Общая характеристика математического описания: Уравнение баланса массы, Уравнение равновесия, Уравнение кинетики. Начальные и граничные условия. Моделирование массообменного процесса на примере моделирования процесса адсорбции: Уравнение материального баланса, Уравнение кинетики сорбции, Уравнение равновесия сорбции, Уравнение теплового баланса, Уравнение передачи тепла

#### 4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено					
Всего					

#### 4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 6				
1	Вводное занятие	2		1
2	Математическое моделирование статических процессов с использованием системы алгебраических и трансцендентных уравнений	4	2	1
3	Математическое моделирование статических процессов с использованием	4	2	1

	системы алгебраических и трансцендентных уравнений			
4	Математическое моделирование кинетики сложных реакций в изотермических условиях	4	2	1
5	Математическое моделирование кинетики сложных реакций в изотермических условиях	4	2	1
6	Математическое моделирование кинетики сложных реакций в адиабатическом режиме	4	2	1
7	Математическое моделирование кинетики сложных реакций в адиабатическом режиме	4	2	1
8	Математическое моделирование изотермического реактора	4	3	1
9	Математическое моделирование адиабатического реактора	4	3	1
10	Математическое моделирование процесса адсорбции	4	3	1
	Всего	34	21	

4.5. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы  
Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся  
Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 6, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	80	80
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	16	16
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	16	16
Всего:	112	112

5. Перечень учебно-методического обеспечения  
для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. 7-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.

Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляро в в библиотеке (кроме электронны х экземпляро в)
<a href="https://znanium.ru/catalog/product/1913021">https://znanium.ru/catalog/product/1913021</a>	<p>Ефремов, Г. И. Моделирование химико-технологических процессов : учебник / Г.И. Ефремов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 260 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/1090526. - ISBN 978-5-16-016255-3. - Текст : электронный. - URL: <a href="https://znanium.ru/catalog/product/1913021">https://znanium.ru/catalog/product/1913021</a>. – Режим доступа: по подписке.</p>	-
<a href="https://znanium.ru/catalog/product/2082910">https://znanium.ru/catalog/product/2082910</a>	<p>Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем : учебник / В.П. Тарасик. — Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2024. — 592 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-011996-0. - Текст : электронный. - URL: <a href="https://znanium.ru/catalog/product/2082910">https://znanium.ru/catalog/product/2082910</a>. – Режим доступа: по подписке.</p>	-
<a href="https://urait.ru/bcode/561297">https://urait.ru/bcode/561297</a>	<p>Бочкарев, В. В. Оптимизация химико-технологических процессов : учебник для вузов / В. В. Бочкарев. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 263 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00378-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <a href="https://urait.ru/bcode/561297">https://urait.ru/bcode/561297</a>.</p>	-

<a href="https://znanium.ru/catalog/product/1896364">https://znanium.ru/catalog/product/1896364</a>	Компьютерное моделирование : учебник / В.М. Градов, Г.В. Овечкин, П.В. Овечкин, И.В. Рудаков. — Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2023. — 264 с. - ISBN 978-5-906818-79-9. - Текст : электронный. - URL: <a href="https://znanium.ru/catalog/product/1896364">https://znanium.ru/catalog/product/1896364</a> . – Режим доступа: по подписке.	-
---	---	---

#### 7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
<a href="http://edu.ru/">http://edu.ru/</a>	Бесплатная электронная библиотека онлайн "Единое окно к образовательным ресурсам"
<a href="https://www.intuit.ru/">https://www.intuit.ru/</a>	Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ"
<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>	eLIBRARY.RU - Научная электронная библиотека
<a href="http://lib.guap.ru/">http://lib.guap.ru/</a>	Библиотека ГУАП
<a href="https://znanium.com/">https://znanium.com/</a>	Электронно-библиотечная система Znanium
<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>	Образовательная платформа Юрайт

#### 8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
1.	Microsoft Office Professional Plus
2.	Microsoft Windows 10 Professional
3.	Microsoft Visio
4.	Firefox
5.	Acrobat Reader DC
6.	Консультант Плюс
7.	7-Zip
8.	MATLAB
9.	Gnu/Linux (Ubuntu)
10.	OpenOffice
11.	LibreOffice

8.2. Перечень информационно-справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
1	Не предусмотрено

## 9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	<p>Лаборатория прикладной математики и информационных технологий для занятий лекционного типа, занятий практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы № 206</p> <p>Основное оборудование:            стол преподавателя – 1 шт.            столы ученические – 17 шт.            стулья – 35 шт.            доска маркерная – 1 шт.            тематические стенды – 11 шт.            Системный блок UNIVERSAL i3 D2 – 8 шт            Монитор ACER V173Dob – 8 шт            Проектор BENQ MW550 – 1 шт.            Экран для проектора Cactus Wallscreen CS-PSW-183x244 4:3            Экран SCREEN MEDIA APOLLO T200x200 – 1 шт.            Мышь Genius PS/2 – 8шт            Сетевой фильтр Defender ES – 1 шт.            Коммутатор 16 port – 1 шт.            Клавиатура Logitech USB – 8 шт            Ноутбук Acer Aspire E1-570G-53334G50Mnii.NX.MJ4ER.001 – 1 шт.</p>	206
2	<p>Помещения для организации самостоятельной работы № 111</p> <p>Библиотека, читальный зал:            Мебель;            WiFi с выходом в вычислительную сеть ИФ ГУАП и Интернет, обеспечивающий доступ в электронную информационно-образовательную среду организации и к подписным ресурсам: Электронно-библиотечные системы «ZNANIUM», «Юрайт», «Лань»;            Оборудованные места для самостоятельной работы, зонированные офисными перегородками – бшт.            Системный блок UNIVERSAL i3 D2 -8 шт            Монитор ACER V173Dob - 8 шт            Клавиатура 8 - шт            Мышь Genius PS/2 - 8 шт            МФУ Kyocera m2035dn - 2 шт</p>	111

Коммутатор 8 port -2 шт	
-------------------------	--

## 10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Дифференцированный зачёт	Список вопросов; Тесты;

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал;</li> <li>– уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает;</li> <li>– опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления;</li> <li>– умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи;</li> <li>– делает выводы и обобщения;</li> <li>– свободно владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы;</li> <li>– не допускает существенных неточностей;</li> <li>– увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления;</li> <li>– аргументирует научные положения;</li> <li>– делает выводы и обобщения;</li> <li>– владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы;</li> <li>– допускает несущественные ошибки и неточности;</li> <li>– испытывает затруднения в практическом применении знаний направления;</li> <li>– слабо аргументирует научные положения;</li> <li>– затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li> <li>– частично владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся не усвоил значительной части программного материала;</li> <li>– допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении;</li> <li>– испытывает трудности в практическом применении знаний;</li> <li>– не может аргументировать научные положения;</li> <li>– не формулирует выводов и обобщений.</li> </ul>

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
1.	Цель математического моделирования.	УК-1.3.1
2.	Классификация химико-технологических процессов и математических моделей.	УК-1.3.1
3.	Виды моделирования: физическое и математическое моделирование.	УК-1.3.1
4.	Принципы математического моделирования процессов химической технологии.	УК-1.У.1
5.	Этапы моделирования.	УК-1.У.1
6.	Состав математического описания.	УК-1.У.1
7.	Алгебраические уравнения, трансцендентные уравнения.	УК-2.У.3
8.	Обыкновенные дифференциальные уравнения, дифференциальные уравнения в частных производных.	УК-2.У.3
9.	Статистический анализ модели и проверка ее на адекватность.	УК-2.У.3
10.	Использование модели.	УК-2.У.3
11.	Основные понятия химической кинетики.	УК-2.В.3
12.	Классификация реакций.	УК-2.В.3
13.	Скорость химической реакции.	УК-2.В.3
14.	Кинетические уравнения.	УК-2.В.3
15.	Механизм химической реакции.	УК-7.В.1
16.	Формулирование гипотез о возможных механизмах реакции.	УК-7.В.1
17.	Простые и сложные реакции: последовательная реакция, параллельная реакция, смешанная реакция.	УК-7.В.1
18.	Стехиометрические уравнения.	УК-7.В.1
19.	Стехиометрическая матрица.	ПК-1.3.1
20.	Методы упрощения математической модели кинетики.	ПК-1.3.1
21.	Линейные инварианты.	ПК-1.3.1
22.	Ключевые вещества.	ПК-1.3.1
23.	Этапы идентификации математической модели кинетики химических реакций.	ПК-2.3.1
24.	Прямая и обратная задачи кинетики.	ПК-2.3.1
25.	Экспериментальное исследование кинетики химических реакций.	ПК-2.3.1
26.	Интегральный метод анализа опытных данных.	ПК-2.3.1
27.	Дифференциальный метод анализа опытных данных.	ПК-3.3.2
28.	Разработка математической модели кинетики химических реакций.	ПК-3.3.2
29.	Формулирование критерия адекватности.	ПК-3.3.2
30.	Отыскание кинетических констант (параметрическая идентификация модели)	ПК-3.3.2

31.	Классификация химических реакторов.	ПК-3.В.1
32.	Организация материальных потоков.	ПК-3.В.1
33.	Организация тепловых потоков.	ПК-3.В.1
34.	Математические модели процесса в реакторе.	ПК-3.В.1
35.	Математические модели реакторов идеального смешения.	ПК-4.У.1
36.	Математические модели химических реакторов идеального вытеснения.	ПК-4.У.1
37.	Каскад реакторов идеального смешения.	ПК-4.У.1
38.	Сравнение химических реакторов идеального смешения и идеального вытеснения и каскада РИС	ПК-4.У.1
39.	Блочный принцип построения моделей массопередачи.	ПК-4.В.1
40.	Общая характеристика математического описания.	ПК-4.В.1
41.	Уравнение баланса массы.	ПК-4.В.1
42.	Уравнение равновесия.	ПК-4.В.1
43.	Уравнение кинетики.	ПК-5.3.1
44.	Начальные и граничные условия.	ПК-5.3.1
45.	Моделирование массообменного процесса на примере моделирования процесса адсорбции: Уравнение материального баланса, Уравнение кинетики сорбции, Уравнение равновесия сорбции, Уравнение теплового баланса, Уравнение передачи тепла	ПК-5.3.1

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
1.	Как называют математические модели неизменные во времени? 1) Статические; 2) Динамические; 3) С сосредоточенными параметрами; 4) С распределенными параметрами.	УК-1.3.1
2.	Как называют математические модели переменные во времени? 1) Статические; 2) Динамические; 3) С сосредоточенными параметрами; 4) С распределенными параметрами	УК-1.3.1
3.	Как называют математические модели неизменные в пространстве? 1) Статические; 2) Динамические; 3) С сосредоточенными параметрами; 4) С распределенными параметрами	УК-1.У.1
4.	Как называют математические модели, изменяющиеся в пространстве? 1) Статические; 2) Динамические;	УК-1.У.1

	3) С сосредоточенными параметрами; 4) С распределенными параметрами.	
5.	По какому принципу записывают уравнения материального баланса в динамических моделях? 1) «Накопление = Приход – Расход»; 2) «Накопление = Приход + Расход»; 3) «Приход = Расход»; 4) «Накопление + Приход = Расход»	УК-2.У.3
6.	По какому принципу записывают уравнения материального баланса в статических моделях? 1) «Накопление = Приход – Расход»; 2) «Накопление = Приход + Расход»; 3) «Приход = Расход»; 4) «Накопление + Приход = Расход»	УК-2.У.3
7.	Что осуществляется на 1-ом этапе математического моделирования? 1) Составляется физическое описание объекта; 2) Составляется математическое описание объекта; 3) составляется стохастическое описание объекта	УК-2.В.3
8.	Что осуществляется на 2-ом этапе математического моделирования? 1) Составляется физическое описание объекта; 2) Составляется математическое описание объекта; 3) составляется стохастическое описание объекта	УК-7.В.1
9.	Какова суть экспериментального метода моделирования (метода «чёрного ящика»)? 1) Изменяя входные параметры объекта, измеряют его выходные параметры, и обрабатывают их как функцию входных параметров; 2) Изменяя выходные параметры объекта, измеряют его входные параметры, и обрабатывают их как функцию входных параметров; 3) Изменяя входные параметры объекта, обрабатывают их как функцию выходных параметров 4) Изменяя выходные параметры объекта, обрабатывают их как функцию входных параметров	ПК-1.3.1
10.	Какова суть комбинированного экспериментально-аналитического метода? 1) Математическое описание составляется на основе аналитического метода, а параметры модели (коэффициенты уравнений) находят из эксперимента; 2) Математическое описание составляется на основе физического метода, а параметры модели (коэффициенты уравнений) находят из эксперимента; 3) Математическое описание составляется на основе экспериментального метода (метода «чёрного ящика»);	ПК-1.3.1
11.	Какими уравнениями описывается кинетика химических реакций? 1) Алгебраические и трансцендентные уравнения; 2) Обыкновенные дифференциальные уравнения; 3) Дифференциальные уравнения в частных производных;	ПК-2.3.1

	4) интегральные и интегрально-дифференциальные уравнения	
12.	Какие уравнения являются уравнениями элементарных процессов для локальных элементов потоков? 1) $dM = \beta \Delta C dF d\tau$ 2) $X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1$ 3) $k = k_0 \exp(-E/RT)$	ПК-3.3.2
13.	Какие уравнения являются полуэмпирическими и эмпирическими зависимостями для различных параметров процесса? 1) $dM = \beta \Delta C dF d\tau$ 2) $X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1$ 3) $\alpha = A Re^n Pr^m$	ПК-3.3.2
14.	Какие уравнения являются ограничениями на параметры процесса 1) $dM = \beta \Delta C dF d\tau$ 2) $X_1 + X_2 + \dots + X_n = 1$ 3) $\alpha = A Re^n Pr^m$	ПК-3.3.2
15.	Какие уравнения описывают «элементарные» процессы? 1) Уравнения теплообмена 2) Уравнения материальных балансов 3) Уравнения тепловых балансов	ПК-3.В.1
16.	Какие уравнения описывают связи между «элементарными» процессами? 1) Уравнения массообмена 2) Уравнения материальных балансов 3) Уравнения равновесия	ПК-3.В.1
17.	Какие уравнения описывают свойства потока? 1) Гидродинамические уравнения 2) Идеальное перемешивание 3) Кинетические уравнения	ПК-4.У.1
18.	Какие преимущества имеет метод физического моделирования? 1) Наглядность изучения явлений 2) Позволяет осуществить с помощью одного устройства исследование целого класса задач 3) Позволяет сравнительно просто изменять параметры исследуемого объекта	ПК-4.У.1
19.	Какие преимущества имеет метод математического моделирования? 1) Наглядность изучения явлений 2) Позволяет осуществить с помощью одного устройства исследование целого класса задач 3) Полная воспроизводимость процесса	ПК-4.В.1
20.	Какие недостатки имеет метод математического моделирования? 1) При исследовании каждого нового процесса необходимо создать новую модель 2) Дороговизна моделей сложных объектов 3) Принимаемые допущения при моделировании нередко существенно искажают сущность процесса	ПК-5.3.1

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
-------	----------------------------

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

## 11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

### 11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала.

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления;
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходиться к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Выделяются следующие виды лекций:

- Вводная лекция

Вводная лекция к дисциплине знакомит обучающихся с целью и назначением курса, его ролью и местом в системе дисциплин. В ходе такой лекции связывается теоретический и практический материал с практикой будущей работы, рассказывается общая методика работы над курсом, предлагаются литературные источники, помогающие усвоению материала дисциплины и освоению компетенций, ставятся научные проблемы, выдвигаются гипотезы, определяется форма текущего контроля и промежуточной аттестации.

Вводная лекция к разделу. Аналогично вводной лекции к дисциплине раскрывает ряд вопросов, но связанных не с дисциплиной в целом, а с тематикой конкретного раздела.

– Обзорная лекция

Проводится с целью систематизации знаний на более высоком уровне, рассмотрения особо трудных вопросов дисциплины.

– Проблемная лекция

На данной лекции новое знание вводится как неизвестное, которое необходимо "открыть". В рамках лекции создается проблемная ситуация, которую обучающие решают поэтапно с подсказками и помощью преподавателя.

– Лекция вдвоем

Эта разновидность лекции является продолжением и развитием проблемного изложения материала в диалоге двух преподавателей. Здесь моделируются реальные ситуации обсуждения теоретических и практических вопросов двумя специалистами.

– Лекция с заранее запланированными ошибками

Данная лекция призвана активизировать внимание обучающихся, развивать их мыслительную деятельность, формировать умение выступать в роли экспертов.

Задача преподавателя состоит в том, чтобы заложить в лекцию определенное количество ошибок содержательного, методического, поведенческого характера. Подбираются наиболее типичные ошибки, которые обычно не выпячиваются, а как бы затушевываются. Задача обучающихся состоит в том, чтобы по ходу лекции отмечать ошибки, фиксировать и называть их в конце.

– Лекция-пресс-конференция

Преподаватель просит обучающихся задавать письменно вопросы по данной теме. В течение двух-трех минут обучающиеся формулируют наиболее интересующие их вопросы и передают преподавателю, который в течение трех-пяти минут сортирует вопросы по их содержанию и начинает лекцию. Лекция излагается не как ответы на вопросы, а как связный текст, в процессе изложения которого формируются ответы.

– Лекция-консультация

Материал излагается в виде вопросов и ответов или вопросов, ответов и дискуссий.

Структура предоставления лекционного материала:

– Вводная часть лекции

Первое представление о лекции содержится уже в формулировке темы. Она должна быть краткой, выражать суть основной идеи, быть привлекательной по форме. Целесообразно здесь сказать на значение этой темы для последующего усвоения знаний и развития личности обучающихся, для будущей профессиональной деятельности. Далее можно сообщить цели лекции и ее план. Желательно сориентировать слушателей на последующий контроль знаний, полезно указать на связь нового материала с пройденным и предыдущим. Темп изложения этой части лекции, как правило, должен быть выше темпа изложения основного, что заставляет обучающихся психологически собраться и сосредоточиться. Вводная часть лекции обычно занимает 5-7 минут.

– Основная часть лекции

Переходу к изложению первого вопроса, как правило, должна предшествовать пауза. В это время лектор может проверить, все ли слушатели готовы к восприятию лекции (позы, выражения лиц, разговоры). Заметив обучающихся, не готовых к восприятию, опытные преподаватели произносят краткую мобилизующую фразу, останавливают взгляд на нерадивых, реже - называют фамилию, имя и не тратят время на длительные замечания.

Для того чтобы преодолеть потенциальную пассивность слушателей, необходимо всеми возможными способами придать лекции проблемный характер, побуждая слушателей к самостоятельной познавательной активности и творчеству.

К таким активным средствам можно отнести:

- обращение к обучающимся с вопросами, уточняющими понимание основных идей и фактов темы;
  - организацию мини-столкновений различных точек зрения по выдвинутым преподавателем положениям;
  - постановку вопросов, задач с множественностью решений и др.;
  - индивидуальный стиль изложения материала;
  - обеспечение обратной связи.
- Заключение

В процессе чтения лекции преподаватель должен позаботиться о ее завершении. Рассчитать время, а не прерывать лекцию на полуслове. Обычно для заключения материала бывает достаточно 5-7 минут. Завершая лекцию, преподаватель отвечает на вопросы слушателей, подводит итог, дает методические указания к самостоятельной работе, комментирует предлагаемую литературу. Заканчивать лекцию нужно конструктивно по содержанию и положительно по эмоциональному настрою. Обучающиеся должны уйти заинтересованными, заинтригованными, желающими опробовать завтра же предложения лектора, а также в хорошем настроении и активном тоне.

## 1.2 Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ.

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом, и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;
- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;
- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

Лабораторные работы проводятся в форме практической подготовки. При выполнении лабораторных работ обучающиеся выполняют отдельные трудовые функции, связанные с будущей профессиональной деятельностью:

- принятие проектных решений;
- выполнение действий согласно инструкции, образцу или самостоятельно принятого решения;
- оформление отчетности.

Выполнение обучающимся лабораторных работ не в полном объеме может привести к понижению оценки за дисциплину из-за низкого уровня освоения компетенций:

- выполнение менее 75% лабораторных работ - понижение максимальной оценки на 1 балл;
- выполнение менее 50% лабораторных работ - понижение максимальной оценки на 2 балла;

- невыполнение лабораторных работ - понижение максимальной оценки на 3 балла.  
Задание и требования к проведению лабораторных работ.  
Задания и требования к лабораторным работам размещены в Личном кабинете ГУАП в разделе дисциплины.

Структура и форма отчета о лабораторной работе.

Отчет о лабораторной работе сдается в электронном виде (документ Word, документ PDF) через Личный кабинет ГУАП. Отчет к лабораторной работе содержит следующие элементы:

- титульный лист с названием дисциплины, номером и названием лабораторной работы;
- цели и задачи работы;
- задание;
- схема алгоритма (при необходимости);
- текст программы (при необходимости);
- контрольные примеры (при необходимости);
- выводы.

Требования к оформлению отчета о лабораторной работе.

- Общие требования и рекомендации по выполнению письменных работ : методические указания / С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения ; сост. А. А. Сорокин. - СПб. : Изд-во ГУАП, 2017. - 32 с.
- Общие требования и рекомендации по выполнению письменных работ : методические указания (с изменениями от 09.01.2019) [Электронный ресурс] / Ивангородский филиал С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения ; сост. А. А. Сорокин. - Ивангород : 2019. - 37 с. URL: <http://ifguar.ru/rp/ReportsFormattingRules.pdf>, Личный кабинет ГУАП

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы. В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Для обучающихся по заочной форме обучения, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине.

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению консультаций.

По изучаемой дисциплине проводятся следующие виды консультаций:

- Консультация перед экзаменом - проводится с целью:
  - уточнения организационных моментов;
  - систематизации знаний;
  - ответы на вопросы, вызывающие трудности при подготовке к экзамену.

Консультация имеет форму лекции, после которой преподаватель отвечает на вопросы обучающихся или в виде беседы в форме "ответ-вопрос".

- Консультация со слабоуспевающими обучающимися - предназначена для:

- ликвидации пробелов при изучении дисциплины;
- разъяснения спорных вопросов и вопросов, наиболее сложных для изучения;
- закрепления пройденного материала;
- ликвидации академических задолженностей.

Проводится регулярно согласно графику консультаций преподавателя (не реже 1 раза в 2 недели).

- Консультация по проектной и научно-исследовательской деятельности обучающихся - проводится с целью:
  - расширения научного кругозора обучающихся;
  - рассмотрения вопросов, не включенных в программу изучаемой дисциплины;
  - углубленного изучения материала курса;
  - помощи обучающимся в подготовке научных статей и докладов на конференции;
  - подготовки в участие в конкурсах и олимпиадах.

Проводится регулярно согласно графику консультаций преподавателя или по устной договоренности между обучающимся и преподавателем.

11.5. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины. Невыполнение требований или их части по прохождению текущего контроля успеваемости при успешном прохождении промежуточной аттестации может привести к понижению итоговой оценки.

Возможные методы текущего контроля:

- устный опрос на занятиях;
- систематическая проверка выполнения индивидуальных и домашних заданий;
- защита отчетов по лабораторным работам;
- проведение контрольных работ;
- тестирование;
- контроль самостоятельных работ;
- проведение контрольных работ;
- доклад на научной конференции;
- написание научной статьи.

11.6. Методические указания для обучающихся по прохождению тестирования.

Использование тестовых заданий возможно как при текущем контроле, так и при проведении промежуточной аттестации. Тесты могут проводиться как в письменной форме, так и с использованием электронных средств обучения.

Можно выделить основные уровни теста, в которых проверка возрастает от контроля знаний (индикатор достижения компетенции - "знать") до применения навыков при решении типовых и нетиповых задач ((индикаторы достижения компетенции - "уметь" и "владеть")):

- Первый уровень - узнавание ранее изученного материала;

- Второй уровень - репродуктивный - в заданиях не содержится материала для ответа или же его извлечение требует не только запоминания материала, но и его понимания (подстановка, конструктивный тест, типовая задача);
- Третий уровень - нетиповые задачи повышенной сложности, для которых требуется самостоятельное нахождение методов решения;
- Смешанный - использование элементов всех трех уровней для проверки разных индикаторов достижения компетенций.

Критерии оценки тестовых работ базируются на 100-бальной шкале согласно МДО ГУАП. СМК 2.77 "Положение о модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП" (допустимо применение любого количественного показателя оценки с приведением его к 100-процентной шкале):

- менее 55 - "не зачтено" или "неудовлетворительно" (2);
- от 55 до 69 - "зачтено" или "удовлетворительно" (3);
- от 70 до 84 - "зачтено" или "хорошо" (4);
- от 85 до 100 - "зачтено" или "отлично" (5).

11.7. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- дифференцированный зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, при выполнении курсовых проектов, курсовых работ, научно-исследовательских работ и прохождении практик с аттестационной оценкой "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Дифференцированный зачет проводится в одной из следующих форм:

- в устной форме в виде ответа на вопросы
- в письменной форме в виде теста

В случае дистанционной формы промежуточной аттестации, дифференцированный зачет проводится в виде теста с применением средств электронного обучения.

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой