

Энгельсский технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Саратовский государственный  
технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Технология и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых  
производств»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

Б.1.3.4.1 «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и  
массообменных процессов и установок»  
направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и  
оборудование» профиль «Оборудование химических и нефтегазовых  
производств»

Формы обучения: очная, заочная

Объем дисциплины:

в зачетных единицах: 5 з.е.

в академических часах: 180 ак.ч.

Рабочая программа по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов и установок» направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», профиль «Оборудование химических и нефтегазовых производств» составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», утвержденным приказом Минобрнауки России от 09 августа 2021 г. №728.

Рабочая программа:

**обсуждена и рекомендована** к утверждению решением кафедры Технология и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых производств от «19» июня 2023 г., протокол № 13.

Заведующий кафедрой Левкина /Н.Л. Левкина/

**одобрена** на заседании УМКН от «26» июня 2023 г., протокол №5.

Председатель УМКН Левкина /Н.Л. Левкина/

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины: подготовка бакалавров для производственной, проектно-конструкторской и исследовательской деятельности в области создания и эксплуатации технологического оборудования нефтегазовых производств.

Задачи изучения дисциплины:

- ознакомление студентов со способами и приемами моделирования для решения практических задач проектирования и совершенствования тепло- и массообменных аппаратов нефтегазовых производств;
- ознакомление студентов с методами оптимизации технологических процессов и аппаратов;
- обучение студентов составлению математических моделей тепло- и массообменных процессов и аппаратов для решения задач проектирования, оптимизации и управления.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов и установок» относится к дисциплинам по выбору Блока 1 «Дисциплины (модули)».

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен к проведению работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции (составляющей компетенции)	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-1 Способен к проведению работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	ИД-5 <sub>ПК-1</sub> Способен проводить обработку и анализ научно-технической информации в области создания и эксплуатации технологического тепло- и массообменного оборудования химических и нефтегазовых производств.	<b>знать:</b> сущность физического и математического моделирования явлений, процессов и технических устройств; основные приемы и методы математического моделирования; основные способы оптимизации технических устройств; математические модели тепло-

Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции (составляющей компетенции)	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
		<p>и массообменных процессов.</p> <p><b>уметь:</b> составлять простейшие математические модели тепло- и массообменных процессов и установок; определять основные, режимные и конструктивные характеристики оборудования, отвечающие условиям оптимальности.</p> <p><b>владеть:</b> методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования; методами расчета тепловых и массообменных процессов; навыками составления математических моделей.</p>

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

##### *очная форма обучения*

Вид учебной деятельности	ак. часов	
	Всего	по семестрам 7 семестр
1. Аудиторные занятия, часов всего, в том числе:	64	64
• занятия лекционного типа,	32	32
• занятия семинарского типа:		
практические занятия	32	32
лабораторные занятия		
в том числе занятия в форме практической подготовки		
2. Самостоятельная работа студентов, всего	116	116
– курсовая работа (проект)	-	-
– расчетно-графическая работа	-	-
3. Промежуточная аттестация		экзамен
Объем дисциплины в зачетных единицах	5	5
Объем дисциплины в акад. часах	180	180

##### *заочная форма обучения*

Вид учебной деятельности	ак. часов	
	Всего	по семестрам 9 семестр
1. Аудиторные занятия, часов всего, в том числе:	26	26
• занятия лекционного типа,	12	12

Вид учебной деятельности	ак. часов	
	Всего	по семестрам
		9 семестр
• занятия семинарского типа:		
практические занятия	14	14
лабораторные занятия		
в том числе занятия в форме практической подготовки		
2. Самостоятельная работа студентов, всего	154	154
– курсовая работа (проект)	-	-
– расчетно-графическая работа	-	-
3. Промежуточная аттестация		экзамен
Объем дисциплины в зачетных единицах	5	5
Объем дисциплины в акад. часах	180	180

## **5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием количества академических часов и видов учебных занятий**

### **5.1. Содержание дисциплины**

#### **Тема 1. Основные понятия метода моделирования.**

Основные понятия. Физическое и математическое моделирование. Системный подход при моделировании. Основные виды математических моделей. Блочный принцип построения моделей. Физические законы, уравнения и ограничения, используемые при составлении математических моделей.

Сущность и методология метода наименьших квадратов, используемого при обработке опытных данных.

#### **Тема 2. Оптимизация.**

Цель оптимизации. Формулирование задачи оптимизации. Выбор критерия оптимальности. Ограничения. Оптимизирующие факторы. Целевая функция.

Методы оптимизации, общая характеристика. Аналитические методы оптимизации. Метод оптимизации путем дифференцирования целевой функции. Оптимизация методом неопределенных множителей Лагранжа. Оптимизация методом линейного программирования. Численные методы оптимизации. Методы одномерного поиска. Методы многомерного поиска. Оптимизация перебором.

#### **Тема 3. Физические основы моделирования процессов теплопереноса**

Механизм переноса теплоты, импульса и массы в сплошной среде, математическое описание конвективного переноса. Гипотезы Фурье, Ньютона, Фика. Дифференциальные уравнения конвективного переноса.

Особенности записи уравнений переноса при турбулентном течении

жидкости. Эффективные коэффициенты переноса. Условия однозначности для процессов конвективного теплообмена.

#### **Тема 4. Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы.**

Аналогия Рейнольдса. Аналогия между теплообменом и массообменом. Тройная аналогия. Улучшение аналогии Рейнольдса. Границы применимости аналогий.

#### **Тема 5. Модели теплового и динамического пограничных слоев.**

Понятие о пограничном слое. Физические представления динамического и теплового пограничных слоев. Дифференциальные уравнения конвективного переноса в пограничном слое.

Уравнение для случаев обтекания пластины и течения в трубе. Решение гидродинамической задачи при ламинарном течении в трубе.

Характеристики переноса теплоты в турбулентном пограничном слое. Решение гидродинамической задачи при турбулентном течении в пограничном слое. Универсальный профиль скорости. Зоны турбулентного пограничного слоя.

Теплообмен в турбулентном пограничном слое на плоской стенке.

Решение дифференциального уравнения энергии для потока жидкости в круглой трубе. Интеграл Лайона.

Решение задачи теплообмена при ламинарном течении в трубе. Влияние граничных условий на стенке на число Нуссельта. Решение задачи теплообмена при турбулентном течении в трубе.

### **5.2. Разделы, темы дисциплины и виды занятий очная форма обучения**

№ п/п	Наименование раздела, темы дисциплины	Виды занятий, включая самостоятельную работу студентов (в акад. часах)			Код индикатора достижения компетенции
		занятия лекционного типа	занятия семинарского типа / из них в форме практической подготовки	самостоятельная работа	
1.	Основные понятия метода моделирования	4	8	20	ИД-5ПК-1
2.	Оптимизация	6	8	22	ИД-5ПК-1
3.	Физические основы моделирования процессов переноса	4	4	20	ИД-5ПК-1

4.	Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы	4	4	20	ИД-5ПК-1
5.	Модели теплового и динамического пограничных слоев	14	8	34	ИД-5ПК-1
	<b>Итого</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>116</b>	

### *заочная форма обучения*

№ п/п	Наименование раздела, темы дисциплины	Виды занятий, включая самостоятельную работу студентов (в акад. часах)			Код индикатора достижения компетенции
		занятия лекционного типа	занятия семинарского типа / из них в форме практической подготовки	самостоятельная работа	
1.	Основные понятия метода моделирования	2	4	24	ИД-5ПК-1
2.	Оптимизация	2	4	36	ИД-5ПК-1
3.	Физические основы моделирования процессов тепломассопереноса	2	2	34	ИД-5ПК-1
4.	Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы	2	2	20	ИД-5ПК-1
5.	Модели теплового и динамического пограничных слоев	4	2	40	ИД-5ПК-1
	<b>Итого</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>154</b>	

## 5.2. Перечень практических занятий

№ п/п	Наименование раздела, темы дисциплины	Наименование практического занятия	Объем дисциплины в акад. часах	
			очная форма обучения	заочная форма обучения
1	Основные понятия метода моделирования	Расчет теплофизических свойств веществ различными методами. Определение коэффициентов вязкости, теплопроводности, других параметров для однокомпонентных веществ и смесей при различных давлениях и температурах. Составление математических моделей	8	4

№ п/п	Наименование раздела, темы дисциплины	Наименование практического занятия	Объем дисциплины в акад. часах	
			очная форма обучения	заочная форма обучения
		для различных тепло- и массообменных процессов. Расчет характеристик процессов по составным моделям.		
2	Оптимизация	Расчет оптимальных характеристик тепло- и массообменных процессов и установок с использованием аналитических и численных методов.	8	4
3	Физические основы моделирования процессов теплопереноса	Составление дифференциальных уравнений процессов движения и теплообмена жидких сред.	4	2
4	Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы	Расчет характеристик теплообмена по данным о гидравлическом сопротивлении потока в трубе.	4	2
5	Модели теплового и динамического пограничных слоев	Моделирование и расчет характеристик течения и теплообмена в трубах и каналах с использованием положений теорий пограничного слоя.	8	2
	<b>Итого</b>		<b>32</b>	<b>14</b>

### 5.3. Перечень лабораторных работ

*Лабораторные занятия не предусмотрены.*

### 5.4. Задания для самостоятельной работы студентов

№ п/п	Наименование раздела, темы дисциплины	Задания, вопросы, для самостоятельного изучения (задания)	Объем дисциплины в акад. часах	
			очная форма обучения	заочная форма обучения
1	Основные понятия метода моделирования	Математическое моделирование и основные виды математических моделей. Составление математического описания объекта и выбор метода решения и реализации его в виде алгоритма решения и моделирующей программы. Проверка адекватности моделей.	20	24
2	Оптимизация	Расчет оптимальных конструктивных характеристик кольцевого канала для жидкости. Промышленные процессы и	22	36



№ п/п	Наименование раздела, темы дисциплины	Задания, вопросы, для самостоятельного изучения (задания)	Объем дисциплины в акад. часах	
			очная форма обучения	заочная форма обучения
		устройства – как объекты математического моделирования и оптимизации. Оптимизация технологических процессов. Определение параметров в корреляционной связи с использованием метода наименьших квадратов.		
3	Физические основы моделирования процессов теплопереноса	Составление математической модели теплообменного аппарата типа «труба в трубе». Математические модели теплообменных аппаратов.	20	34
4	Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы	Расчет коэффициента теплообмена потока в трубе с использованием аналогии Рейнольдса. Использование аналогии переноса тепла, массы и импульса в инженерных расчетах.	20	20
5	Модели теплового и динамического пограничных слоев	Моделирование процессов переноса теплоты и массы в технологических аппаратах.	34	40
	<b>Итого</b>		<b>116</b>	<b>154</b>

## **6. Расчетно-графическая работа**

*Расчетно-графическая работа не предусмотрена*

## **7. Курсовая работа**

*Курсовая работа не предусмотрена*

## **8. Курсовой проект**

*Курсовой проект не предусмотрен*

## **9. Контрольная работа**

Контрольная работа для заочной формы обучения включает 4 теоретических вопроса и решение 2 практических задач. Темы, задания, учебно-методическое обеспечение для выполнения контрольной работы приведены на сайте института, режим доступа

<http://techn.sstu.ru/new/SubjectFGOS/Default.aspx?kod=677&tip=26>

**10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации**

Оценивание результатов обучения по дисциплине и уровня сформированности компетенций (части компетенции) осуществляется в рамках текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации в соответствии с Фондом оценочных средств.

## 11. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 11.1 Рекомендуемая литература

1. Гумеров, А.М. Математическое моделирование химико-технологических процессов Электронный ресурс: учебное пособие. - 2-е изд., перераб., СПб.: Издательство «Лань», 2021. - 176 с. - ISBN 978-5-8114-1533-5. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система Лань: [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/168613>

2. Ахмадиев, Ф. Г. Математическое моделирование и методы оптимизации : учебное пособие / Ф. Г. Ахмадиев, Р. М. Гильфанов. - Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. - 178 с. - ISBN 978-5-4497-1383-4. - Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/116448.html>

3. Технологические машины и оборудование. Моделирование и специализированные пакеты программ для их создания: учебное пособие / Г. В. Алексеев, Б. А. Вороненко, М. В. Гончаров, Е. С. Сергачева. - Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2019. - 308 с. - ISBN 978-5-4486-0474-4. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/80292.html>

4. Системный анализ процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие / Э. Д. Иванчина, Е. С. Чернякова, Н. С. Белинская, Е. Н. Ивашкина. - Томск: Томский политехнический университет, 2017. - 115 с. - ISBN 978-5-4387-0787-5. - Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/84033.html>

5. Печенегов Ю.Я. Расчет гидравлических процессов на ЭВМ. – Саратов: СГТУ, 2010. - 40 с. Экземпляры всего: 5.

6. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : учебное пособие для вузов / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. - 5-е изд. - Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2020. - 544 с. - ISBN 078-5-93808-349-4. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/97815.html>

7. Печенегов, Ю.Я. Введение в моделирование и оптимизацию тепло- и массообменных процессов и установок: Учебное пособие. - Саратов: СГТУ, 1994. - 60 с. Экземпляры всего: 23.

8. Печенегов, Ю.Я. Математическое моделирование и расчет процессов тепло- и массообменных процессов в инженерных задачах: Учебное пособие. - Саратов: СГТУ, 1994 – 80 с. Экземпляры всего: 14.

9. Авдюнин, Е.Г. Моделирование и оптимизация промышленных

теплоэнергетических установок : учебник / Авдюнин Е. Г. - Москва : Инфра-Инженерия, 2019. - 184 с. - ISBN 978-5-9729-0297-2. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785972902972.html>

10. Шафрай, А.В. Математическое моделирование процессов и технологических систем Электронный ресурс / Шафрай А. В., Бородулин Д. М., Бакин И. А., Комаров С. С. : учебное пособие. - Кемерово : КемГУ, 2020. - 119 с. - ISBN 978-5-8353-2654-9. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система Лань: [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/162603>

11. Викторов, М.М. Методы вычисления физико-химических величин и прикладные расчеты. – М.: Химия, 1977. – 360 с. Экземпляры всего: 3.

## **11.2. Периодические издания**

*Не используются*

## **11.3. Нормативно-правовые акты и иные правовые документы**

*Не используются*

## **11.4 Перечень электронно-образовательных ресурсов**

1. Учебно-методические материалы по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов и установок» (электронный образовательный ресурс размещен в ИОС ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.

<http://techn.sstu.ru/new/SubjectFGOS/Default.aspx?kod=677> )

2. Сайт ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А. <http://techn.sstu.ru/>

## **11.5 Электронно-библиотечные системы**

1. «ЭБС IPRbooks»,

2. ЭБС «Лань»

3. «ЭБС elibrary»

4. ЭБС «КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА»

## **11.6 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. <http://elibrary.ru> / Научная электронная библиотека

2. <http://www.iprbookshop.ru> / Электронная библиотечная система IPRbooks

3. <http://lib.sstu.ru> / Научно-техническая библиотека СГТУ имени Гагарина Ю.А.

4. <https://www.edu.ru> / «Российское образование» - федеральный портал

5. <http://www.runnet.ru> / Федеральная университетская компьютерная сеть России

### **11.7 Печатные и электронные образовательные ресурсы в формах, адаптированных для студентов с ограниченными возможностями здоровья (для групп и потоков с такими студентами)**

1. Адаптированная версия НЭБ, для использования инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечены печатными и электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

### **12. Информационно-справочные системы и профессиональные базы данных**

Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ), в том числе в случае применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий, к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

#### **12.1 Перечень информационно-справочных систем**

1. Справочная правовая система «Консультант Плюс»

#### **12.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения**

Образовательный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (подлежит обновлению при необходимости).

1) Лицензионное программное обеспечение:

2) Свободно распространяемое программное обеспечение

Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечивается индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечной системе и электронной информационно-образовательной среде.

### **13. Материально-техническое обеспечение**

*Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа*

Укомплектована специализированной мебелью и техническими средствами обучения: 12 столов, 24 стула; рабочее место преподавателя; доска для написания фломастером; проектор BENQ 631, рулонный проекционный экран, ноутбук с подключением к сети с выходом в Интернет и доступом в информационно-образовательную среду ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по рабочей программе дисциплины

*Учебная аудитория для проведения занятий практического типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, групповых и индивидуальных консультаций*

Укомплектована специализированной мебелью и техническими средствами обучения: 12 столов, 24 стула; рабочее место преподавателя; доска для написания фломастером; проектор BENQ 631, рулонный проекционный экран, ноутбук с подключением к сети с выходом в Интернет и доступом в информационно-образовательную среду ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по рабочей программе дисциплины

Рабочую программу составил:

старший преподаватель кафедры ТОХП  / В.А. Денисов /

#### 14. Дополнения и изменения в рабочей программе

Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Внесенные изменения утверждены на заседании УМКС/УМКН  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_

Председатель УМКС/УМКН \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /