

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.1.3.7.1 «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»

форма обучения – заочная  
курс – 4  
семестр – 8  
зачетных единиц – 4  
всего часов – 144  
в том числе:  
лекции – 6  
коллоквиумы – нет  
практические занятия – 8  
лабораторные занятия – нет  
самостоятельная работа – 130  
зачет – нет  
экзамен – 8 семестр  
контрольная работа – 8 семестр  
курсовая работа – нет  
курсовой проект – нет

Рабочая программа обсуждена на заседании  
кафедры ТОХП  
20.06.2022 года, протокол №10  
Зав. кафедрой Левкина Н.Л.Левкина

Рабочая программа утверждена  
на заседании УМКН направления  
27.06.2022 года, протокол №5  
Председатель УМКН Левкина Н.Л.Левкина

Энгельс 2022

## **1. Цели и задачи дисциплины**

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

Задачи изучения дисциплины:

- ознакомление студентов со способами и приемами моделирования для решения практических задач проектирования и совершенствования тепло- и массообменных аппаратов химических 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 ООП ВО**

«Математическое моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов и установок» входит в перечень дисциплин (вариативная часть, дисциплины по выбору студента Б.1.3) основной образовательной программы бакалавриата по направлению 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Дисциплина базируется на предварительном изучении следующих курсов: Б.1.1.5 Математика, Б.1.1.6 Физика, Б.1.1.9 Информатика, Б.1.2.15 Механика жидкости и газа, Б.1.2.5. Физико-химические свойства веществ. Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знание основных законов физики и математики, умения строить модели и решать конкретные задачи определенной степени сложности, владение системой знаний, формирующей физическую картину в области создания и эксплуатации технологического оборудования химических и нефтегазовых производств. Знания, умения и навыки, полученные студентами в процессе изучения дисциплины, являются базой для изучения следующих дисциплин: Б.1.2.13. Оборудование химических и нефтехимических производств, Б.1.2.9. Управление техническими системами.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

- способность к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки (ПК-1);
- способность разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-6).

Студент должен знать:

- сущность физического и математического моделирования явлений, процессов и технических устройств (ПК-1);
- основные приемы и методы математического моделирования (ПК-6);
- основные способы оптимизации технических устройств (ПК-1);
- математические модели тепло- и массообменных процессов (ПК-6).

Студент должен уметь:

- составлять простейшие математические модели тепло- и массообменных процессов и установок (ПК-1);
- определять основные, режимные и конструктивные характеристики оборудования, отвечающие условиям оптимальности (ПК-6).

Студент должен владеть:

- методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования (ПК-1);
- методами расчета тепловых и массообменных процессов (ПК-1);
- навыками составления математических моделей (ПК-6).

#### 4. Распределение трудоемкости дисциплины по темам и видам занятий

№ мод.	№ нед.	№ темы	Наименование темы	Часы/ Из них в интерактивной форме					
				Всего	Лекции	Коллоквиумы	Лабораторные	Практические	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8 семестр									
1	-	1	Основные понятия метода моделирования	33	1	-	-	2	30
	-	2	Оптимизация	33	1	-	-	2	30
2	-	3	Физические основы моделирования процессов теплопереноса	31	1	-	-	-	30
	-	4	Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы	13	1	-	-	2	10
3	-	5	Модели теплового и динамического пограничных слоев	34	2	-	-	2	30
ИТОГО:				144	6	-	-	8	130

#### 5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1, 2	2	1	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. Цель оптимизации. Формулирование задачи оптимизации. Выбор критерия оптимальности. Ограничения. Оптимизирующие факторы. Целевая функция. Методы оптимизации.	1, 3, 6, 9

3, 4	2	2	Механизм переноса теплоты, импульса и массы в сплошной среде, математическое описание конвективного переноса. Гипотезы Фурье, Ньютона, Фика. Аналогия Рейнольдса. Аналогия между теплообменом и массообменом. Тройная аналогия.	7, 8
5	2	3	Понятие о пограничном слое. 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 и в трубе.	7, 8

## 6. Содержание коллоквиумов

Коллоквиумы программой и учебным планом не предусмотрены.

## 7. Перечень практических занятий

№ темы	Всего часов	№ занятий	Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии.	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	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 для различных тепло- и массообменных процессов. Расчет характеристик процессов по составным моделям.	2, 4, 5, 6, 10
2	2	2	Расчет оптимальных характеристик тепло- и массообменных процессов и установок с использованием аналитических и численных методов.	3, 5, 6
4	2	3	Расчет характеристик теплообмена по данным о гидравлическом сопротивлении потока в трубе.	2, 5, 10

5	2	4	Моделирование и расчет характеристик течения и теплообмена в трубах и каналах с использованием положений теорий пограничного слоя.	2, 7, 8
---	---	---	--	---------

### 8. Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ программой и учебным планом не предусмотрено.

### 9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего часов	Вопросы для самостоятельного изучения	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
1	30	<p>Математическое моделирование и основные виды математических моделей.</p> <p>Составление математического описания объекта и выбор метода решения и реализации его в виде алгоритма решения и моделирующей программы.</p> <p>Проверка адекватности моделей.</p> <p>Физические законы, уравнения и ограничения используемые при составлении математических моделей.</p> <p>Роль и место теории подобия и анализа размерностей в моделировании. Сущность и методология метода наименьших квадратов, используемого при обработке опытных данных.</p> <p>Составление математического описания газового теплообменника типа «труба в трубе», выбор метода решения и реализации его в виде алгоритма решения и моделирующей программы.</p>	1, 3, 6, 9
2	30	<p>Промышленные процессы и устройства – как объекты математического моделирования и оптимизации.</p> <p>Оптимизация технологических процессов.</p> <p>Метод оптимизации путем дифференцирования целевой функции. Оптимизация методом неопределенных множителей Лагранжа. Оптимизация методом линейного программирования. Численные методы оптимизации. Метод одномерного поиска. Методы многомерного поиска. Оптимизация перебором.</p> <p>Расчет оптимальных конструктивных характеристик кольцевого канала для жидкости.</p>	1, 3, 6, 9
3	30	<p>Методы исследования и расчета конвективного теплообмена. Дифференциальные уравнения конвективного переноса. Особенности записи уравнений переноса при турбулентном течении жидкости.</p> <p>Эффективные коэффициенты переноса. Условия однозначности для процессов конвективного теплообмена.</p>	1, 7, 8
4	10	<p>Улучшение аналогии Рейнольдса. Границы применимости аналогий.</p>	7, 8

5	30	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. Полуэмпирические и эмпирические зависимости теплообмена. Моделирование гидромеханических процессов. Моделирование теплообменных процессов. Моделирование массообменных процессов. Моделирование процессов переноса теплоты и массы в химико-технологических аппаратах.	1, 2, 4, 7, 8
---	----	---	---------------

### 10. Расчетно-графическая работа

Расчетно-графическая работа программой и учебным планом не предусмотрена.

### 11. Курсовая (контрольная) работа

Курсовая работа программой и учебным планом не предусмотрена.

Предусмотрена контрольная работа, включающая 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>

### 12. Курсовой проект

Курсовой проект программой и учебным планом не предусмотрен.

### 13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Изучение дисциплины Б.1.3.7.1 «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов и установок» направлено на формирование профессиональных компетенций: научно-исследовательская деятельность (ПК-1) и проектно-конструкторская деятельность (ПК-6). Перечень показателей для профессиональных компетенций составлен с учетом имеющихся в программе профессионального модуля умений и знаний.

Указанные компетенции формируются в соответствии со следующими этапами:

1. Формирование и развитие теоретических знаний, предусмотренных указанными компетенциями (лекционные занятия, самостоятельная работа студентов);

2. Приобретение и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями (практические занятия, самостоятельная работа студентов);

3. Закрепление теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями, в ходе решения конкретных технических задач на практических занятиях, успешной сдачи экзамена.

Сформированность компетенции в рамках освоения данной дисциплины оценивается по трехуровневой шкале:

- пороговый уровень является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения дисциплины;

- продвинутый уровень характеризуется превышением минимальных характеристик сформированности компетенции по завершении освоения дисциплины;
- высокий уровень характеризуется максимально возможной выраженностью компетенции и является важным качественным ориентиром для самосовершенствования.

Для компетенции ПК-1:

Пороговый уровень освоения компетенции: знает сущность физического и математического моделирования явлений, процессов и технических устройств, основные способы оптимизации технических устройств.

Продвинутый уровень освоения компетенции: владеет методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования, а так же методами расчета тепловых и массообменных процессов в сфере профессиональной деятельности.

Высокий уровень освоения компетенции: способен использовать современные технологии для применения методов моделирования и оптимизации объектов в сфере профессиональной деятельности.

Для компетенции ПК-6:

Пороговый уровень освоения компетенции: знает сущность основных приемов и методов математического моделирования и оптимизации процессов и установок;

Продвинутый уровень освоения компетенции: умеет определять основные, режимные и конструктивные характеристики оборудования, отвечающие условиям оптимальности, составляет простейшие математические модели.

Высокий уровень освоения компетенции: в совершенстве владеет навыками составления математических моделей тепло- и массообменных процессов и установок с последующей их оптимизацией.

При достаточном качестве освоения приведенных знаний, умений и навыков (оценка «отлично» на экзамене, модулях и практических занятиях) преподаватель оценивает освоение данной компетенции в рамках настоящей дисциплины на высоком уровне, при освоении приведенных знаний, умений и навыков (оценка «хорошо» на экзамене, модулях и практических занятиях) – на продвинутом, при освоении приведенных знаний, умений и навыков (оценка «удовлетворительно» на экзамене, модулях и практических занятиях) - на пороговом уровне. В противном случае компетенция в рамках настоящей дисциплины считается неосвоенной.

Под компетенцией ПК-1 понимается способность к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки.

Под компетенцией ПК-6 понимается способность разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.

Код компетенции	Этап формирования	Показатели оценивания	Критерии оценивания		
			Промежуточная аттестация	Типовые задания	Шкала оценивания
ПК-1	8 семестр	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- сущность физического и математического моделирования явлений, процессов и технических устройств;</li> <li>- основные способы оптимизации технических устройств.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- составлять простейшие математические модели тепло- и массообменных процессов и установок.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования;</li> <li>- методами расчета тепловых и массообменных процессов.</li> </ul>	Отчеты при решении практических задач.	Вопросы к экзамену. Контрольные тесты	«отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»
ПК-6	8 семестр	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные приемы и методы математического моделирования;</li> <li>- математические модели тепло- и массообменных процессов.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- определять основные, режимные и конструктивные характеристики оборудования, отвечающие условиям оптимальности.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками составления математических моделей.</li> </ul>	Отчеты при решении практических задач.	Вопросы к экзамену. Контрольные тесты	«отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»

Фонд оценочных средств текущей успеваемости и промежуточной аттестации студентов по итогам освоения дисциплины «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов и установок» представляют собой комплект контролирующих материалов следующих видов:

- Экспрессные опросы. Представляют собой набор коротких вопросов по определенной теме, требующих быстрого и короткого ответа. Проверяются знания текущего материала.

- Экзаменационные билеты состоят из двух теоретических вопросов по всем разделам, изучаемых в семестре и практической задачи.

- Тестовые задания в адаптивной среде тестирования (АСТ) для проверки знаний по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов и установок», включающие все основные разделы курса,



рассчитаны на выполнение в течение 25 минут; предназначены для проверки знаний, умений и навыков при решении конкретных задач.

**Критерии оценки для контрольного тестирования:**

- контрольное тестирование «отлично», если студент дал правильные ответы на контрольные вопросы от 80% и более;
- контрольное тестирование «хорошо», если студент дал правильные ответы на контрольные вопросы от 50 до 79%;
- контрольное тестирование «удовлетворительно», если студент дал правильные ответы на контрольные вопросы от 20 до 49%;
- контрольное тестирование не зачтено, если студент дал правильные ответы в промежутке от 0 до 49%.

**Критерии оценки для экзамена:**

- оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявивший творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины.

- оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

- оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, знакомый с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившим погрешность в ответе на теоретические вопросы, но обладающий необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине (формирования и развития компетенций, закреплённых за данной дисциплиной), или, если студент после начала экзамена отказался его сдавать или нарушил правила сдачи экзамена (списывал, подсказывал, обманом пытался получить более высокую оценку и т.д.)

### **Экзаменационные вопросы**

1. Общие принципы построения эмпирических уравнений при физическом моделировании. Теории подобия и размерностей.

2. Дифференциальные уравнения неразрывности и движения, описывающие течение в пограничном слое, имеют три неизвестных величины ( $\hat{w}_x$ ,  $\hat{w}_y$ ,  $dp/dx$ ). Какой прием используется для замыкания системы этих двух уравнений?

3. Постановка и формулирование задачи оптимизации. Критерий оптимальности. Целевая функция. Оптимизирующие факторы. Ограничения и равенства параметров.

4. Запишите гидродинамические и тепловые граничные условия для течения в пограничном слое.

5. Оптимизация путем дифференцирования целевой функции.
6. В каком соотношении находятся между собой толщины динамического и теплового пограничных слоев при  $Pr < 1$ ,  $Pr \sim 1$ ,  $Pr > 1$ .
7. Оптимизация методом неопределенных множителей Лагранжа.
8. Каков физический смысл понятия «длина пути смешения»? Как рассчитывается и где используется длина пути смешения?
9. Численные методы оптимизации при одном оптимизирующем параметре (сканирование, дихотомии, золотого сечения).
10. Стенка обтекается продольным турбулентным потоком воды. В фиксированном сечении потока касательное напряжение трения на стенке  $\sigma_{ст} = 0,1$  Па. Каковы локальные значения продольной скорости потока на границах вязкого подслоя?
11. Численные методы оптимизации при целевой функции зависящей от многих аргументов. (Гаусса-Зейделя, градиентный, метод перебора).
12. При турбулентном течении воздуха в трубе со скоростью 10 м/с касательное напряжение трения на стенке 0,2 Па. Теплоемкость воздуха 1 кДж/(кг·К). Найдите при этих условиях величину коэффициента теплообмена, используя аналогию Рейнольдса.
13. Математическое моделирование и общая методика расчета рекуперативных ТА.
14. При турбулентном течении воды в трубе со скоростью 1 м/с коэффициент теплообмена имеет величину 10000 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Теплоемкость воды 4,19 кДж/(кг·К). Найдите для этих условий течения величину коэффициента сопротивления трения потока, используя аналогию Рейнольдса.
15. Математическая модель и расчет теплообменного аппарата с изменением агрегатного состояния обоих теплоносителей.
16. При турбулентном течении воздуха в трубе со скоростью 50 м/с коэффициент сопротивления трения составляет величину 0,032. Найдите коэффициент массообмена для этих условий течения. Найдите также коэффициент теплообмена при теплоемкости воздуха 1 кДж/(кг·К) и его плотности 1 кг/м<sup>3</sup>. При выполнении расчетов используйте метод аналогии процессов переноса импульса теплоты и массы.
17. Математическая модель и расчет теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей.
18. Для цилиндрической емкости объемом 3,14 м<sup>3</sup>, открытой сверху, найдите высоту и диаметр удовлетворяющий требованию минимальной суммарной площади поверхности стенок.
19. Расчет и выбор оптимальной конструкции теплообменного аппарата.
20. Зависимость стоимости изготовления продукции  $C$ , руб/кг от производительности  $\Pi$ , кг/ч выражена формулой  $C = \Pi^2 - 4\Pi + 10$ . Найдите производительность, при которой стоимость изготовления будет минимальной.
21. Система уравнений, описывающих движение жидкости и теплообмен. Дифференциальные уравнения движения, энергии и неразрывности при постоянных свойствах жидкости.
22. Теплообмен при турбулентном течении воздуха в трубе описан формулой  $Nu = 0,018Re^{0,8}$ . Используя эту формулу постройте зависимость коэффициента теплообмена от диаметра трубы.
23. Методы исследования и расчета конвективного переноса (экспериментальные, аналитические, численные). Сравнение методов.
24. Опишите метод расчета теплопроводности газа с использованием принципа, термодинамического подобия. Достоинства и недостатки метода.
25. Аналогия между теплообменом и массообменом. Тройная аналогия. Границы применимости аналогий.
26. Определите высоту и диаметр цилиндрического сосуда с максимальным объемом, имеющего площадь стенок (крышки нет)  $F = 3,14$  м<sup>2</sup>.

27. Решение гидродинамической задачи при ламинарном обтекании плоской стенки и при ламинарном течении в трубе.
28. Каково влияние на расчетные зависимости теплообмена тепловых граничных условий при ламинарном течении в трубе?
29. Определение коэффициентов турбулентной вязкости и турбулентной теплопроводности.
30. Как при известном распределении коэффициента турбулентной вязкости  $\mu_T = f(y)$  найти распределение коэффициента турбулентной теплопроводности  $\lambda_T = f(y)$  по нормам к стенке трубы?
31. Особенности записи уравнений переноса при турбулентном течении жидкости. Эффективные коэффициенты переноса.
32. Опишите метод расчета вязкости газа с использованием принципа термодинамического подобия. Преимущества и недостатки метода.
33. Общие принципы построения математических моделей. Системный подход при составлении модели теплообменника.
34. Локальный коэффициент трения при обтекании пластины  $C_F = \text{const} \sqrt{\text{Re}_x}$ . Получите выражение для среднеинтегрального коэффициента трения на длине пластины  $x$ .
35. Математическая модель и расчет теплообменного аппарата с изменением агрегатного состояния одного из теплоносителей.
36. Найдите размеры прямоугольной емкости, открытой сверху, объемом  $32 \text{ м}^3$ , удовлетворяющие требованию минимальной суммарной площади поверхности дна и стенок.
37. Аналогия Рейнольдса. Вывод зависимости между коэффициентами теплообмена и сопротивления трения. Улучшение аналогии Рейнольдса.
38. Дайте общую характеристику и алгоритм расчета свойств газовых смесей различными методами.
39. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Их структура и толщина.
40. Определите величины сторон прямоугольного сосуда объемом  $8 \text{ м}^3$ , соответствующих минимальной площади сторон.
41. Решение гидродинамической задачи при турбулентном течении в пограничном слое. Универсальный профиль скорости.
42. Теплообмен при турбулентном течении в трубах однофазных теплоносителей описывается формулой  $\text{Nu} = 0,023 \text{ Re}^{0,8} \text{ Pr}^{0,43}$ . В интервале изменения диаметра трубы  $d = 0,01 \div 0,1 \text{ м}$ , найдите оптимальное его значение, соответствующее максимуму коэффициента теплообмена. Расход теплоносителя и его свойства постоянны.
43. Расчет теплообмена турбулентного потока при обтекании плоской стенки.
44. Гидравлическое сопротивление при турбулентном течении однофазного теплоносителя в гладких трубах описывается формулой Блазиуса  $\xi = 0,3164 / \text{Re}^{0,25}$ . При постоянных расходе и свойствах теплоносителя определите для интервала диаметра трубы  $d = 0,01 \div 0,1 \text{ м}$  оптимальное его значение, соответствующее минимальному значению  $\xi$ .
45. Дифференциальные уравнения конвективного переноса в пограничном слое на плоской стенке и круглой трубе.
46. Изобразите графически зависимость  $w_x = f(y)$  в вязком подслое турбулентного пограничного слоя.
47. Математическое описание конвективного переноса. Гипотезы Фурье, Ньютона, Фика. Дифференциальные уравнения конвективного переноса (общая форма записи).
48. Постройте зависимость числа Прандтля от температуры  $t$  для теплоносителя при  $C_p = \text{const}$ ,  $p = \text{const}$ ,  $v = a / (v + kt)$ ,  $\lambda = mnt$ , где  $a, v, k, n$  – постоянные величины.
49. Решение задачи теплообмена при турбулентном течении в трубе.
50. В трубе диаметром  $2 \text{ см}$  и длиной  $2 \text{ м}$  движется вода. Перепад давления потока воды в трубе  $1000 \text{ Па}$ . Найдите скорость движения воды и величину касательного напряжения на стенке, если коэффициент сопротивления трения потока равен  $0,03$ .

51. Общее решение задачи теплообмена при течении жидкости при течении жидкости в трубе. Интеграл Лайона.

52. Гидравлическое сопротивление при ламинарном течении в трубе однофазного теплоносителя описывается формулой Пуазейля  $\xi = 64/Re$ . При постоянных расходе и свойствах теплоносителя для интервала скорости  $w = 0,1 \div 0,7$  м/с, определите оптимальное значение  $w$ , соответствующее минимуму  $\xi$ .

53. Решение задачи теплообмена при ламинарном течении в трубе.

54. При ламинарном течении в трубе однофазного теплоносителя теплообмен описывается формулой  $Nu = 1,86 Re^{0,33} Pr^{0,33} (d/l)^{0,33}$ . Расход теплоносителя и его свойства постоянны. Длина трубы  $l = const$ . Для интервала диаметра трубы  $d = 0,005 \div 0,05$  м. Найдите оптимальное значение  $d$ , соответствующее максимуму коэффициента теплообмена  $\alpha$ .

### Тестовые задания по дисциплине

Режим доступа - <http://techn.sstu.ru/new/SubjectFGOS/Default.aspx?kod=677&tip=13>

*Примеры тестовых заданий для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины*

1. Под моделированием понимают

- а) операция получения наилучших результатов в данных условиях
- б) способ изучения процессов, явлений и устройств, при котором исследуется не непосредственно сам объект-оригинал, а некоторая промежуточная вспомогательная система
- в) способ изучения самого объекта в натуре
- г) совокупность связей между частями системы

2. Целевая функция определяет

- а) зависимость критерия оптимальности от входных параметров объекта
- б) установление ограничений типа равенств или неравенств
- в) зависимость критерия оптимальности от выходных параметров объекта
- г) выбор критерия оптимальности

3. Используя метод сканирования найти оптимальное значение  $x$  в интервале  $1 \leq x \leq 7$ , при котором целевая функция  $F = x^2 - 7x + 20$  имеет экстремум. Количество рассчитываемых значений функции  $q = 4$

- а) 1
- б) 3
- в) 5
- г) 7

4. Движущей силой переноса массы в сплошных средах является

- а)  $\frac{\partial T}{\partial y}$
- в)  $\frac{\partial C^*}{\partial y}$
- б)  $\frac{\partial w}{\partial y}$
- г)  $\frac{\partial F}{\partial y}$

### 14. Образовательные технологии

Для достижения планируемых результатов обучения в дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов и установок» используются различные образовательные технологии, в том числе:

– информационно-развивающие технологии, направленные на формирование системы знаний, запоминание и свободное оперирование ими. Используется лекционно-семинарский метод, самостоятельное изучение литературы, применение новых

информационных технологий для самостоятельного пополнения знаний, включая использование технических и электронных средств информации.

– личностно-ориентированные технологии обучения, обеспечивающие в ходе учебного процесса учет различных способностей обучаемых, создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей, развитие активности личности в учебном процессе. Личностно-ориентированные технологии обучения реализуются в результате индивидуального общения преподавателя и студента при экспресс-опросе, при выполнении домашних индивидуальных заданий, решении задач повышенной сложности, на еженедельных консультациях.

При организации учебных занятий используются активные и интерактивные методы обучения: диалог, беседа, работа в команде. Предусмотрено чтение лекций с применением мультимедийных технологий. Внеаудиторная самостоятельная работа студентов проводится с использованием библиотечных ресурсов института, ресурсов сети Интернет и локальных сетевых ресурсов института.

## **15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине**

### **Обязательные издания**

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. Технологические машины и оборудование. Моделирование и специализированные пакеты программ для их создания [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. В. Алексеев, Б. А. Вороненко, М. В. Гончаров, Е. С. Сергачева. - Электрон. текстовые данные. - Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2019. - 308 с. - 978-5-4486-0474-4. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/80292.html>

3. Системный анализ процессов и аппаратов химической технологии [Электронный ресурс]: учебное пособие / Э. Д. Иванчина, Е. С. Чернякова, Н. С. Белинская, Е. Н. Ивашкина. - Электрон. текстовые данные. - Томск: Томский политехнический университет, 2017. - 115 с. - 978-5-4387-0787-5. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/84033.html>

### **Дополнительные издания**

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

5. 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>

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

7. 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.

8. 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>

9. 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>

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

#### Интернет-ресурсы

11. <https://www.studentlibrary.ru>
12. <http://www.iprbookshop.ru>
13. <https://e.lanbook.com>

#### Источники ИОС

14. <http://techn.sstu.ru>

### 16. 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

Программное обеспечение: Microsoft Windows 7, Microsoft Office 2010 (Word, Excel, PowerPoint), GoogleChrome.

#### 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

Программное обеспечение: Microsoft Windows 7, Microsoft Office 2010 (Word, Excel, PowerPoint), GoogleChrome.

Рабочую программу составил  25.06.2021г. / В.А. Денисов /

### 17. 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 \_\_\_\_\_/ \_\_\_\_\_/