

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.1.3.8.1 «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 – очная
курс – 4
семестр – 7
зачетных единиц – 5
часов в неделю – 4
всего часов – 180
в том числе:
лекции – 32
коллоквиумы – нет
практические занятия – 32
лабораторные занятия – нет
самостоятельная работа – 116
зачет – нет
экзамен – 7 семестр
РГР – нет
курсовая работа – нет
курсовой проект – нет

Рабочая программа обсуждена на заседании
кафедры ТОХП
19 июня 2023 г., протокол № 13
Зав. кафедрой Левкина Н.Л. Левкина

Рабочая программа утверждена на заседании
УМКН направления ТМОБ
26 июня 2023 г., протокол № 5
Председатель УМКН Левкина Н.Л. Левкина

Энгельс 2023

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
7 семестр									
1	1-3	1	Основные понятия метода моделирования	30	6	-	-	8	16
	4-7	2	Оптимизация	42	8	-	-	8	26
2	8,9	3	Физические основы моделирования процессов теплообмена	36	4	-	-	6	26
	10	4	Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы	24	2	-	-	6	16
3	11-16	5	Модели теплового и динамического пограничных слоев	48	12	-	-	4	32
ИТОГО:				180	32	-	-	32	116

5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	Основные понятия. Физическое и математическое моделирование. Системный подход при моделировании. Основные виды математических моделей. Блочный принцип построения моделей.	1, 6, 9
	2	2	Физические законы, уравнения и ограничения, используемые при составлении математических моделей. Роль и место теории подобия и анализа размерностей в моделировании.	1, 6, 9
	2	3	Сущность и методология метода наименьших квадратов, используемого при обработке опытных данных.	1, 6, 9

2	2	4	Цель оптимизации. Формулирование задачи оптимизации. Выбор критерия оптимальности. Ограничения. Оптимизирующие факторы. Целевая функция.	3, 6, 9
	2	5	Методы оптимизации. Метод оптимизации путем дифференцирования целевой функции. Оптимизация методом неопределенных множителей Лагранжа. Оптимизация методом линейного программирования.	3, 6, 9
	4	6, 7	Численные методы оптимизации. Методы одномерного поиска. Методы многомерного поиска. Оптимизация перебором.	3, 6, 9
3	2	8	Механизм переноса теплоты, импульса и массы в сплошной среде, математическое описание конвективного переноса. Гипотезы Фурье, Ньютона, Фика. Дифференциальные уравнения конвективного переноса.	7, 8
	2	9	Особенности записи уравнений переноса при турбулентном течении жидкости. Эффективные коэффициенты переноса. Условия однозначности для процессов конвективного теплообмена.	7, 8
4	2	10	Аналогия Рейнольдса. Аналогия между теплообменом и массообменом. Тройная аналогия. Улучшение аналогии Рейнольдса. Границы применимости аналогий.	7, 8
5	2	11	Понятие о пограничном слое. Физические представления динамического и теплового пограничных слоев. Дифференциальные уравнения конвективного переноса в пограничном слое.	7, 8
	2	12	Уравнение для случаев обтекания пластины и течения в трубе. Решение гидродинамической задачи при ламинарном течении в трубе.	7, 8
	2	13	Характеристики переноса теплоты в турбулентном пограничном слое. Решение гидродинамической задачи при турбулентном течении в пограничном слое. Универсальный профиль скорости. Зоны турбулентного пограничного слоя.	7, 8
	2	14	Теплообмен в турбулентном пограничном слое на плоской стенке. Решение дифференциального уравнения энергии для потока жидкости в круглой трубе. Интеграл Лайона.	7, 8
	2	15	Решение задачи теплообмена при ламинарном течении в трубе. Влияние граничных условий на стенке на число Нуссельта.	7, 8
	2	16	Решение задачи теплообмена при турбулентном течении 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	8	1 - 4	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.	5, 10
2	8	5 - 8	Расчет оптимальных характеристик тепло- и массообменных процессов и установок с использованием аналитических и численных методов.	5, 8, 9
3	6	9 - 11	Составление дифференциальных уравнений процессов движения и теплообмена жидких сред.	1, 7, 8, 9
4	6	12 - 14	Расчет характеристик теплообмена по данным о гидравлическом сопротивлении потока в трубе.	2, 4, 9
5	4	15, 16	Моделирование и расчет характеристик течения и теплообмена в трубах и каналах с использованием положений теорий пограничного слоя.	5, 8, 9

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	16	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.	1, 6, 7, 8, 9

2	26	Расчет оптимальных конструктивных характеристик кольцевого канала для жидкости (обязательная индивидуальная работа – далее ОИР). Промышленные процессы и устройства – как объекты математического моделирования и оптимизации. Оптимизация технологических процессов. Определение параметров в корреляционной связи с использованием метода наименьших квадратов (ОИР).	6, 7, 8, 9
3	26	Составить математическую модель теплообменного аппарата типа «труба в трубе» (ОИР). Математические модели теплообменных аппаратов.	6, 7, 8, 9
4	16	Расчет коэффициента теплообмена потока в трубе с использованием аналогии Рейнольдса (ОИР). Использование аналогии переноса тепла, массы и импульса в инженерных расчетах.	6, 7, 8, 9
5	32	Моделирование гидромеханических процессов. Моделирование теплообменных процессов. Моделирование массообменных процессов. Моделирование процессов переноса теплоты и массы в химико-технологических аппаратах.	1, 6, 7, 8, 9

10. Расчетно-графическая работа

Расчетно-графическая работа программой и учебным планом не предусмотрена.

11. Курсовая работа

Курсовая работа программой и учебным планом не предусмотрена.

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	7 семестр	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сущность физического и математического моделирования явлений, процессов и технических устройств; - основные способы оптимизации технических устройств. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - составлять простейшие математические модели тепло- и массообменных процессов и установок. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования; - методами расчета тепловых и массообменных процессов. 	Отчеты по обязательным индивидуальным работам в рамках СРС. Оценки по модулям.	Вопросы к модулям и экзамену. Контрольные тесты	«отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»
ПК-6	7 семестр	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные приемы и методы математического моделирования; - математические модели тепло- и массообменных процессов. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - определять основные, режимные и конструктивные характеристики оборудования, отвечающие условиям оптимальности. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками составления математических моделей. 	Отчеты по обязательным индивидуальным работам в рамках СРС. Оценки по модулям.	Вопросы к модулям и 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:

- Письменные опросы по теории (модули). Проверяются знания текущего материала.
- 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.)

Текущий контроль

Модуль 1

1. Физическое и математическое моделирование.
2. Содержание, возможности, роль и место физического и математического моделирования в научных исследованиях и инженерном анализе.
3. Системный подход при моделировании.
4. Основные виды математических моделей.
5. Блочный принцип построения моделей.
6. Физические законы, уравнения и ограничения используемые при составлении математических моделей.

7. Роль и место теории подобия и анализа размерностей в моделировании.
8. Сущность и методология метода наименьших квадратов, используемого при обработке опытных данных.
9. Способы приведения нелинейных эмпирических уравнений к линейной форме при вычислении постоянных параметров по методу наименьших квадратов.
10. Цель оптимизации.
11. Формулирование задачи оптимизации.
12. Выбор критерия оптимальности.
13. Ограничения.
14. Оптимизирующие факторы.
15. Целевая функция.
16. Метод оптимизации путем дифференцирования целевой функции.
17. Оптимизация методом неопределенных множителей Лагранжа.
18. Оптимизация методом линейного программирования.
19. Численные методы оптимизации.
20. Методы одномерного поиска.
21. Методы многомерного поиска.
22. Оптимизация перебором.

Модуль 2

1. Механизм переноса теплоты, импульса и массы в сплошной среде, математическое описание конвективного переноса.
2. Гипотезы Фурье, Ньютона, Фика.
3. Дифференциальные уравнения конвективного переноса.
4. Особенности записи уравнений переноса при турбулентном течении жидкости.
5. Эффективные коэффициенты переноса.
6. Условия однозначности для процессов конвективного теплообмена.
7. Методы исследования и расчета конвективного теплообмена.
8. Аналогия Рейнольдса.
9. Улучшение аналогии Рейнольдса.
10. Аналогия между теплообменом и массообменом.
11. Тройная аналогия.
12. Границы применимости аналогий.

Модуль 3

1. Понятие о пограничном слое.
2. Физические представления динамического и теплового пограничных слоев.
3. Дифференциальные уравнения конвективного переноса в пограничном слое. Уравнение для случаев обтекания пластины и течения в трубе.
4. Решение гидродинамической задачи при ламинарном течении в трубе. Характеристики переноса теплоты в турбулентном пограничном слое.
5. Решение гидродинамической задачи при турбулентном течении в пограничном слое.
6. Универсальный профиль скорости. Зоны турбулентного пограничного слоя.
7. Теплообмен в турбулентном пограничном слое на плоской стенке.
8. Решение дифференциального уравнения энергии для потока жидкости в круглой трубе. Интеграл Лайона.
9. Решение задачи теплообмена при ламинарном течении в трубе. Влияние граничных условий на стенке на число Нуссельта.
10. Решение задачи теплообмена при турбулентном течении в трубе.
11. Полуэмпирические и эмпирические зависимости теплообмена.

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/(м²·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/м³. 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 м³, 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 Π , 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) $F = 3,14 \text{ м}^2$.

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 $C_F = \text{const} \sqrt{Re_x}$. 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 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 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 $Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,43}$. 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 $\xi = 0,3164 / Re^{0,25}$. 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 ξ .

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 $C_p = \text{const}$, $\rho = \text{const}$, $\nu = a / (b + kt)$, $\lambda = mnt$, где a, b, k, n – постоянные величины.

49. Решение задачи теплообмена при турбулентном течении в трубе.

50. В трубе диаметром 2 см и длиной 2 м движется вода. Перепад давления потока воды в трубе 1000 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 ξ .

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 $l = \text{const}$. Для интервала диаметра трубы $d = 0,005 \div 0,05$ м. Найдите оптимальное значение d , соответствующее максимуму коэффициента теплообмена α .

Тестовые задания по дисциплине

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

Примеры 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

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

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.

– лично-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. Лично-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 _____ / _____ /