



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.
Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИСАиИ
М.М. Суровцов

04.02.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

***ТЕПЛОМАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕПЛОМ
ОБОРУДОВАНИИ СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И
ВЕНТИЛЯЦИИ***

Направление подготовки (специальность)
08.03.01 Строительство

Направленность (профиль/специализация) программы
Теплогазоснабжение и вентиляция

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
очная

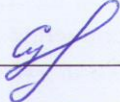
Институт/ факультет	Институт строительства, архитектуры и искусства
Кафедра	Урбанистики и инженерных систем
Курс	3
Семестр	6

Магнитогорск
2025 год

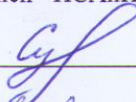
Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (приказ Минобрнауки России от 31.05.2017 г. № 481)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Урбанистики и инженерных систем

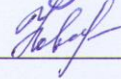
15.01.2025, протокол № 6

Зав. кафедрой _____  М.М. Суровцов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИСАиИ
04.02.2025 г., протокол № 3

Председатель _____  М.М. Суровцов

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры УиИС, канд. техн. наук _____  Ю.Н. Новоселова

Рецензент:

исполнительный директор ООО "МЕТАМ", канд. техн. наук _____  Г.А.Павлова

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Урбанистики и инженерных систем

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.М. Суровцов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Урбанистики и инженерных систем

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.М. Суровцов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Урбанистики и инженерных систем

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.М. Суровцов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Урбанистики и инженерных систем

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.М. Суровцов

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины «Тепломассообменные процессы в тепловом оборудовании систем ТГВ» являются: изучение основ использования законов тепломассообмена в технике, достижение способности применения полученных знаний в теплоэнергетике, теплогазоснабжении, вентиляции и кондиционировании воздуха.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Тепломассообменные процессы в тепловом оборудовании систем теплогазоснабжения и вентиляции входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Механика жидкости и газа с основами гидравлики

Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен)

Математика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Кондиционирование воздуха и холодоснабжение зданий

Централизованное теплоснабжение

Энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции

Использование нетрадиционных источников энергии

Современные системы климатизации зданий

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Тепломассообменные процессы в тепловом оборудовании систем теплогазоснабжения и вентиляции» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата
ОПК-1.1	Определяет характеристики физического и химического процесса (явления), характерного для объектов профессиональной деятельности, на основе теоретических и экспериментальных исследований
ОПК-1.2	Использует теоретические основы технических наук для применения инновационных технологий на реальных строительных объектах
ОПК-1.3	Решает инженерные задачи с помощью математического аппарата векторной алгебры, аналитической геометрии и математического анализа

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 49,3 акад. часов;
- аудиторная – 48 акад. часов;
- внеаудиторная – 1,3 акад. часов;
- самостоятельная работа – 58,7 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет с оценкой

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Введение								
1.1 Возникновение и история развития науки о тепломассообмене; вклад русских и советских ученых. Современные научные проблемы тепломассообмена вообще и в области строительства, теплогазоснабжения и вентиляции в частности. Перспективы развития науки о тепломассообмене	6	1			2	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1
Итого по разделу		1			2			
2. Теплопроводность								
2.1 Нестационарная теплопроводность. Операционный метод решения задач нестационарной теплопроводности. Метод расчета нестационарного температурного поля для тел конечных размеров (метод суперпозиции, теорема о перемножении решений). Влияние числа Фурье на температурное поле при нестационарном режиме: начальная стадия регулярного режима; темп регулярного режима. Понятие о	6	1			4	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1

нестационарном температурном поле при переменной температуре окружающей среды; температурные волны.								
Итого по разделу		1			4			
3. Конвективный теплообмен и теплопередача								
3.1 Теплообмен при течении жидкости в трубах. Ламинарный режим течения - гидродинамическая и тепловая стабилизация, начальный участок и участок стабилизированного течения. Теплообмен при стабилизированном ламинарном течении в трубе с круглым поперечным сечением для граничных условий первого (постоянная температура стенки) и второго (постоянная плотность теплового потока) рода. Изменение средней температуры жидкости вдоль канала, средний логарифмический температурный напор. Теплоотдача при турбулентном течении жидкости в трубе, влияние гидродинамической структуры потока на теплоотдачу, основные расчетные зависимости. Теплоотдача в каналах с поперечным сечением произвольной формы, в изогнутых каналах	6			6		Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1
3.2 Теплоотдача при свободном движении жидкости. Формулировка и решение задачи о теплообмене при свободном ламинарном движении жидкости вдоль вертикальной поверхности. Физический смысл числа Грасгофа, изменение локальной теплоотдачи вдоль поверхности. Турбулентный пограничный слой при свободном движении вдоль вертикальной поверхности. Теплоотдача		2		4	4	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями)	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1

при свободном движении жидкости вдоль поверхности горизонтального цилиндра. Свободное движение и теплообмен в ограниченном пространстве; методика расчета теплоотдачи, эквивалентный коэффициент теплопроводности. Теплоотдача при совместном осуществлении свободного и вынужденного движения. Постановка задачи конвективного теплообмена при взаимодействии газовых струй с потоком естественной конвекции, вязкостно-гравитационное течение жидкости в трубах и учет естественной конвекции.								
3.3 Особенности расчета теплопередачи в тепловых аппаратах при обтекании газовым потоком пучка труб. Шахматное и коридорное расположение труб.	6	2			3	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1, ОПК-1.2
Итого по разделу		4		10	7			
4. Массообмен								
4.1 Основные понятия и определения. Молекулярная диффузия, градиент концентрации, закон Фика, коэффициент диффузии. Стационарная одномерная молекулярная диффузия и расчет скорости испарения (плотность потока массы). Стефановский поток. Постановка задачи и расчет квазистационарного испарения горячей капли жидкого топлива	6	1			2	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1
4.2 Конвективный массообмен. Система дифференциальных уравнений конвективного		2			4	Поиск дополнительной информации по заданной теме	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1

теплообмена: уравнение массообмена, уравнение энергии, уравнения движения и неразрывности. Коэффициент массоотдачи. Аналогия процессов переноса теплоты и массы.						(работа с библиографичес- кими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).		
4.3 Массоперенос в капиллярнопористых телах. Практическое значение процесса для расчета теплообмена в строительных ограждениях и тепловой изоляции трубопроводов.	6	1			2	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографичес- кими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1, ОПК-1.2
Итого по разделу		4			8			
5. Теплообмен при фазовых превращениях								
5.1 Теплообмен при конденсации пара, плёночная и капельная конденсация. Теплообмен при плёночной конденсации неподвижного пара на вертикальной поверхности; волновое течение плёнки конденсата. Плёночная конденсация на наружной поверхности горизонтальной трубы. Расчет теплоотдачи для турбулентной плёнки конденсата. Особенности конденсата движущегося пара в трубах. Методика расчета коэффициента теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных трубных пучках.	6	2			2	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографичес- кими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1
5.2 Теплообмен при кипении жидкости, пузырьковый и плёночный режим кипения, кризис кипения, физические закономерности и механизм пузырькового кипения. Влияние различных факторов на интенсивность теплоотдачи при пузырьковом кипении.		2		2	1,5	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографичес- кими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1

Расчетные зависимости для теплоотдачи при кипении жидкости. Основные закономерности теплообмена при кипении жидкости, движущейся в трубе.								
Итого по разделу		4		2	3,5			
6. Теплообмен излучением								
6.1 Закономерности теплообмена излучением при наличии поглощающей (излучающей) и рассеивающей среды. Закон Бугера. Понятие об уравнении переноса лучистой энергии. Оптическая толщина среды. Теплообмен излучением в плоском слое поглощающей среды. Понятие о сложном теплообмене. Радиационно-кондуктивный и радиационно-конвективный теплообмен. Применение теории подобия для исследования и получения расчетных формул при сложном теплообмене. Особенности расчета теплового излучения в камерах сгорания тепловых двигателей.	6	2		2	4	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1
Итого по разделу		2		2	4			
7. Расчеты теплообменных аппаратов								
7.1 Классификация теплообменных аппаратов и теплоносителей. Конструкция теплообменных аппаратов поверхностного типа	6	2			4	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1
7.2 Кожухотрубчатые, секционные, пластинчатые, спиральные и ребристые теплообменные аппараты		2		2	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1

						материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).		
7.3 Теплообменные аппараты со смешиванием теплоносителей		1			6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1
7.4 Аппараты периодического действия и аппараты с кипящим слоем. Классификация теплообменных аппаратов. Основы теплового расчета теплообменников рекуперативного типа. Конструктивный и поверочный расчет теплообменника. Методика расчета теплообменника на основе понятия эффективности теплообменника и числа единиц переноса теплоты. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов регенеративного типа. Принципы гидравлического расчета теплообменных аппаратов. Связь гидравлического сопротивления и интенсивности теплообмена. Основы технико-экономической оптимизации теплообменных аппаратов.	6	2		2	6	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос. Проверка практических заданий	ОПК-1.1, ОПК-1.2
Итого по разделу		7		4	22			
8. Расчет тепломассообменных аппаратов при наличии фазовых превращений								
8.1 Классификация выпарных аппаратов и установок. Конструкции выпарных аппаратов с паровым обогревом.	6	1			4	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с	Устный опрос.	ОПК-1.1

Сушильные установки. Механизм и кинетика сушки влажных материалов						библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).		
Итого по разделу		1			4			
9. Гидравлический и механический расчеты теплообменных аппаратов								
9.1 Гидравлический расчет теплообменных аппаратов. Расчет теплообменных аппаратов на прочность.	6			6	4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями).	Устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу				6	4,2			
Итого за семестр		24		24	58,7		зао	
Итого по дисциплине		24		24	58,7		зачет с оценкой	

5 Образовательные технологии

Реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

При обучении студентов дисциплине «Тепломассообменные процессы в тепловом оборудовании систем ТГВ» следует осуществлять следующие образовательные технологии:

1. Традиционные образовательные технологии ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения).

Формы учебных занятий с использованием традиционных технологий:

Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя).

Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

2. Технологии проблемного обучения – организация образовательного процесса, которая предполагает постановку проблемных вопросов, создание учебных проблемных ситуаций для стимулирования активной познавательной деятельности студентов.

Формы учебных занятий с использованием технологий проблемного обучения:

Практическое занятие в форме практикума – организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков.

3. Технологии проектного обучения – организация образовательного процесса в соответствии с алгоритмом поэтапного решения проблемной задачи или выполнения учебного задания. Проект предполагает совместную учебно-познавательную деятельность группы студентов, направленную на выработку концепции, установление целей и задач, формулировку ожидаемых результатов, определение принципов и методик решения поставленных задач, планирование хода работы, поиск доступных и оптимальных ресурсов, поэтапную реализацию плана работы, презентацию результатов работы, их осмысление и рефлексия.

4. Интерактивные технологии – организация образовательного процесса, которая предполагает активное и нелинейное взаимодействие всех участников, достижение на этой основе лично значимого для них образовательного результата. Наряду со специализированными технологиями такого рода принцип интерактивности прослеживается в большинстве современных образовательных технологий.

5. Информационно-коммуникационные образовательные технологии – организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией.

Формы учебных занятий с использованием информационно-коммуникационных технологий:

Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

Практическое занятие в форме презентации – представление результатов проектной или исследовательской деятельности с использованием специализированных программных средств.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся
Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации
Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
а) Основная литература:

1. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен : учебник для вузов / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев - Москва : Издательский дом МЭИ, 2011. - 562 с. - ISBN 978-5-383-00563-7. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html> (дата обращения: 21.04.2025). - Режим доступа : по подписке.

2. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учебное пособие / А. А. Кудинов. - Москва : ИНФРА-М, 2020. - 375 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-011093-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1046937> (дата обращения: 21.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

3. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен: Учебник / О.Н. Брюханов, С.Н. Шевченко. - Москва : НИЦ Инфра-М, 2012. - 464 с. (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-004803-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/258657> (дата обращения: 21.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

б) Дополнительная литература:

1. Мирам А.О., Техническая термодинамика. Тепломассообмен / А.О. Мирам, В.А. Павленко - М. : Издательство АСВ, 2017. - 352 с. - ISBN 978-5-93093-841-8 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930938418.html> (дата обращения: 21.04.2025). - Режим доступа : по подписке.

2. Архипов, В. А. Физико-химические основы процессов тепломассообмена: Учебное пособие / Архипов В.А. - Томск:Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 199 с.: ISBN 978-5-4387-0539-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/673007> (дата обращения: 21.04.2025). – Режим доступа: по подписке

в) Методические указания:

1 Трубицына, Г.Н. Исследование кипения воды в неограниченном объеме: метод. указания к лабораторной работе / Г.Н. Трубицына, Э.С. Шаповалов; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г.И. Носова. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2008. – 16с.: ил. - Текст: непосредственный

2. Трубицына, Г.Н. Методические указания и контрольные задания по дисциплине “Тепломассообмен” : метод. указания к выполнению контрольных работ / Г.Н. Трубицына, И.В.Сикерин; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г.И. Носова. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2011. – 28с.: ил. - Текст: непосредственный.

3. Осколков С. В. Тепломассообменное оборудование предприятий : методические указания по выполнению курсового проекта для студентов направления подготовки 140100 "Теплоэнергетика" / С. В. Осколков, Л. В. Николаев ; МГТУ, Каф. теплотехнических и энергетических систем. - Магнитогорск : МГТУ, 2012. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/583>. - Текст : электронный.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Mozilla Firefox	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Yandex	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://host.megaprolib.net/M/P0109/Web
Российская Государственная библиотека. Каталоги	https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Лекционные аудитории: мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации (интерактивная доска в комплекте с проектором и компьютером); демонстрационные стенды, плакаты, наглядные пособия.

Помещения для самостоятельной работы: персональные компьютеры с пакетом MS Office, вы-ходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Аудитории для практических занятий, групповых индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: демонстрационные стенды, плакаты, наглядные пособия.

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования: Шкафы и стеллажи для хранения учебно-методической документации, учебного оборудования и учебно-наглядных пособий; инструменты и оборудование для обслуживания

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

По дисциплине «Тепломассообменные процессы в тепловом оборудовании систем ТГВ» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся. Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение практических задач на практических занятиях. Ниже приведены некоторые типовые задачи.

АПР №1. Метод расчета нестационарного температурного поля для тел конечных размеров (метод суперпозиции, теорема о перемножении решений).

1. Резиновая пластина толщиной 20 мм, нагретая до температуры $t_{ж1} = 140^\circ\text{C}$ помещена в воздушную среду с температурой $t_{ж2} = 15^\circ\text{C}$. Определить температуры в середине и на поверхности пластины через 20 мин. после начала охлаждения. Коэффициент теплопроводности резины $\lambda = 0,175 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$. Коэффициент теплоотдачи от поверхности пластины к окружающему воздуху равен $\alpha = 65 \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{C)}$

АПР №2. Теплообмен при течении жидкости в трубах.

1. По трубам вертикального теплообменника снизу вверх течет вода. Внутренний диаметр труб $d = 16 \text{ мм}$; их длина $l = 1,2 \text{ м}$. Расход воды через одну трубу и $G = 58 \text{ кг/ч}$. Температура воды на входе в теплообменник $t_{ж1} = 30^\circ\text{C}$.

Определить количество теплоты, передаваемой от стенки одной трубы к воде, и температуру воды на выходе, если температура стенок труб поддерживается равной 80°C .

Ответ

$Q = 1450 \text{ Вт}$; $t_{ж1} = 52^\circ\text{C}$.

2. Сравнить значения местных чисел Нуссельта при ламинарном течении жидкости в круглой трубе в условиях постоянной плотности теплового потока на стенке, без предвключенного участка гидродинамической стабилизации (Nu_r) и при наличии такого участка ($(Nu_r)_{ст}$). Сравнение провести для относительных расстояний от входа в обогреваемый участок $x/d = 1, 2, 5, 10, 15$ и 20 . Число Рейнольдса принять $Re^* = 1800$, Поправку на участок гидродинамической стабилизации $\varepsilon = Nu_r / (Nu_r)_{ст}$ можно вычислить по формуле

$$\varepsilon = 0,35 \left(\frac{1}{Re_{ж} \frac{x}{d}} \right)^{-\frac{1}{6}} \left[1 + 2,85 \left(\frac{1}{Re_{ж} \frac{x}{d}} \right)^{0,42} \right]$$

АПР №3. Теплоотдача при свободном движении жидкости.

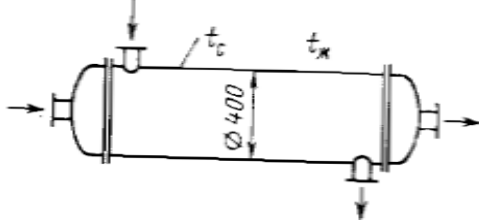
1. В котельной проложены два горизонтальных паропровода диаметрами $d_1 = 50 \text{ мм}$ и $d_2 = 150 \text{ мм}$. Оба паропровода имеют одинаковую температуру поверхности $t_c = 450^\circ\text{C}$. Температура окружающего воздуха $t_{ж} = 50^\circ\text{C}$. Паропроводы проложены друг от друга на расстоянии, исключающем взаимное тепловое влияние.

Найти отношения коэффициентов теплоотдачи α_1/α_2 и потерь теплоты с 1 м q_{11}/q_{12} паропроводов.

Ответ

$$\alpha_1/\alpha_2=1,315; \text{ м } q_{11}/q_{12}=0,438.$$

2. Вычислить потери теплоты в единицу времени с 1 м² поверхности горизонтального теплообменника, корпус которого имеет цилиндрическую форму и охлаждается свободным потоком воздуха. Наружный диаметр корпуса теплообменника d=400 мм, температура поверхности t_c=200°C и температура воздуха в помещении t_ж=30°C



Для вычисления среднего коэффициента теплоотдачи при свободном движении жидкости воспользоваться уравнением:

$$Nu_{ж}=C(GrPr)^n \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c}\right)^{0,25},$$

где постоянные C и n зависят от режима свободного движения и условий обтекания поверхности. Они являются функциями GrPr и определяются из следующей таблицы:

(GrPr) _ж	C	n	Условия движения
1*10 ³ ÷ 1*10 ⁹	0,75	0,25	Вдоль вертикальной стенки
≥ 6*10 ¹⁰	0,15	1/3	На горизонтальной трубе
1*10 ³ ÷ 1*10 ⁹	0,50	0,25	

Ответ

$$\alpha=5,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}); q=1000 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

АПР №4 Особенности расчета теплопередачи в тепловых аппаратах при обтекании газовым потоком пучка труб.

Трубчатый воздушный подогреватель производительностью 2,78 кг/с воздуха в 1 с выполнен из труб диаметром $d_{\text{вн}} d_{\text{з}} = 43/49$ мм. Коэффициент теплопроводности материала труб $\lambda = 50 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Внутри труб движется горячий газ, а наружная поверхность труб омывается поперечным потоком воздуха. Средняя температура дымовых газов $t_{ж1} = 250^\circ\text{C}$, а средняя температура подогреваемого воздуха $t_{ж2} = 145^\circ\text{C}$. Разность температур воздуха на входе и выходе из подогревателя равна $\delta t = 250^\circ\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке $\alpha_1 = 45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ и от стенки к воздуху $\alpha_2 = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Вычислить коэффициент теплопередачи и определить площадь поверхности нагрева подогревателя. Расчет произвести по формулам для 1) цилиндрической и 2) плоской стенок. Сравнить результаты вычислений.

АПР №5. Теплообмен при кипении жидкости

Определить тепловую нагрузку поверхности нагрева парогенератора при пузырьковом кипении воды в большом объёме, если вода находится под давлением $p = 6,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а температура поверхности нагрева $t_c = 175^\circ\text{C}$.

Определить коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки испарителя к кипящей воде, если тепловая нагрузка поверхности нагрева $q=2 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$, режим кипения пузырьковый и вода находится под давлением $p=2 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Как изменится коэффициент теплоотдачи при кипении воды в трубе диаметром $d=20 \text{ мм}$ при повышенной тепловой нагрузке поверхности нагрева от $q=5 \cdot 10^4$ до $q=1 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$, если скорость движения воды $w=5 \text{ м/с}$ и давление $p=2 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Ответ

Коэффициент теплоотдачи не изменится. В обоих случаях $\alpha=25600 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}$.

АПР №6. Закономерности теплообмена излучением при наличии поглощающей (излучающей) и рассеивающей среды. Закон Бугера.

1. В нагревательной печи температура газов по всему объему постоянна и равна 1200°С .

Объем печи $V=12 \text{ м}^3$, и полная поверхность ограждения $F=28 \text{ м}^2$.

Общее давление продуктов сгорания $p=98,1 \text{ кПа}$, парциальное давление водяных паров $p_{\text{H}_2\text{O}}=8 \text{ кПа}$ и углекислота $p_{\text{CO}_2}=12 \text{ кПа}$.

Вычислить степень черноты излучающей газовой смеси и собственное излучение продуктов сгорания.

АПР № 7 – 9. Конструирование и тепловые расчеты оборудования ТГСВ.

1. Произвести тепловой и конструктивный расчеты основных деталей секционного водоводяного подогревателя теплосети Мосэнерго при следующих условиях:

схема движения теплоносителей — противоток;

производительность аппарата $Q=1,5 \text{ ГВт}$;

температуры греющей воды t'

$t' = 130^\circ\text{С}$ и

t'' , $t'' = 100^\circ\text{С}$;

температуры нагреваемой воды t'

$t' = 62^\circ\text{С}$ и t'''

$t' = 92^\circ\text{С}$;

поверхность нагрева выполнена из латунных трубок диаметром $d=14/16 \text{ мм}$;

теплопроводность материала трубок $\lambda=90 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$;

толщина накипи $\delta_n=0,2 \text{ мм}$;

теплопроводность накипи $\lambda_n=3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}$;

коэффициент, учитывающий потери тепла поверхностью подогревателя в окружающую

среду $\eta_n=0,97$.

2. Определить конечную температуру воздуха для воздухоохладителя с поверхностью нагрева $F=1000 \text{ м}^2$ при следующих условиях:

температура воздуха, поступающего в воздухоохладитель, $t'=60^\circ\text{С}$;

объем циркулирующего воздуха $V_1=100000 \text{ м}^3/\text{ч}$;

начальная температура охлаждающей воды $t'_2=25^\circ\text{С}$;

расход воды $V_2=320 \text{ м}^3/\text{ч}$;

коэффициент теплопередачи $k=30,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$;

теплообмен между воздухом и водой в воздухоохладителе происходит при противотоке.

3. Определить коэффициент теплопередачи для ребристого воздухоохладителя при следующих условиях: расположение трубок в пучке шахматное; скорость воздуха между

ребрами $w=6$ м/с; диаметр трубки $d_n/d_v=24/22$ мм; материал трубок - латунь ($\lambda=90$ Вт/(м*град)); наружный диаметр ребер $D=55$ мм; толщина ребер $\delta_r=0,3$ мм (теплопроводность ребер $\lambda_r=45$ Вт/(м*град)); шаг ребер $b=4,8$ мм; средняя температура охлаждающей воды $t_2=260$ °С; температура горячего воздуха $t_1=500$ °С.

4. Определить температуру воздуха на выходе из скруббера и среднюю разность температур между теплоносителями при противотоке, если в скруббер поступает воздух в количестве 10000 кг/ч при $t'_1=150$ °С и $i=420$ кДж/кг. Охлаждающая вода имеет температуру на входе $t'_2=15$ °С и на выходе $t''_2=55$ °С.

5. Рассчитать радиационный рекуператор, работающий в системе комбинированного радиационно-конвективного рекуператора. Температура воздуха на входе в радиационный рекуператор равна $t''_в=420$ °С, конечная температура подогрева воздуха $t^к=600$ °С. Температура дымовых газов на входе в рекуператор $t''_д=1050$ °С. Количество нагреваемого воздуха $V_{во}=0,695$ м³/с, дыма $V_{до}=0,805$ м³/с. Состав дымовых газов 19 % CO₂; 1,0 % H₂O и 80 % N₂. Толщина стенки рекуператора $\delta=6$ мм.

6. Произвести упрощенный тепловой расчет барабанной сушилки при следующих условиях. Количество продукта, поступающего в сушилку, $G_1=20000$ кг/ч; начальная влажность продукта $w^0_1=18$ %; конечная влажность $w^0_2=10$; теплоемкость высушенного продукта $c=1,26$ кДж/(кг град); температура воздуха, поступающего в калорифер, $t_0=20$ °С; относительная влажность воздуха $\varphi=60$ %; температура воздуха, после калорифера - $t_1=150$ °С; относительная влажность воздуха, выходящего из сушилки, $\varphi=80$ %; температура продукта при входе в сушилку $\theta=10$ °С, температура продукта по выходе из сушилки $\theta=100$ °С.

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата		
ОПК-1.1:	Определяет характеристики физического и химического процесса (явления), характерного для объектов профессиональной деятельности, на основе теоретических и экспериментальных исследований	Теоретические вопросы: 1. Основные понятия и определения. Общие понятия теплопроводности, конвекции, излучения. 2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. 3. Условия однозначности. 4. Интенсификация процессов теплообмена. 5. Анализ решения задач нестационарной теплопроводности для предельных значений чисел Био. 6. Метод расчета нестационарного температурного поля для тел конечных размеров. 7. Определение количества теплоты в нестационарном режиме (пластина). 8. Понятие регулярного режима. 9. Основные понятия конвективного теплообмена. 10. Формула Ньютона-Рихмана для расчетов процессов теплообмена. 11. Гидродинамическая структура потока. Число Рейнольдса. 12. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. 13. Теория подобия. Числа подобия. Теоремы подобия. 14. Основы теории пограничного слоя. Тепловой и гидродинамический пограничный слой 15. Расчет теплоотдачи при ламинарном движении жидкости вдоль плоской пластины. 16. Расчет теплопередачи при турбулентном движении жидкости. 17. Теплообмен при ламинарном движении жидкости в трубах. 18. Теплообмен при турбулентном движении жидкости в трубах. 19. Теплоотдача в каналах с поперечным сечением произвольной формы. 20. Теплоотдача при течении жидкости в изогнутых трубах. 21. Основные понятия при свободном движении жидкости.

		22. Теплоотдача при свободном движении жидкости вдоль вертикальной стенки. 23. Теплоотдача при свободном движении жидкости вдоль поверхности горизонтального цилиндра. 24. Теплообмен при свободном движении в ограниченном пространстве. 25. Понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности. 26. Основные понятия процесса кипения жидкости. 27. Кризис кипения жидкостей I рода. Кривая кипения. 28. Теплоотдача при кипении жидкостей в неограниченном объеме. 29. Структура потока при движении жидкости в трубе. 30. Теплоотдача при движении жидкости в трубе. 31. Кризисы кипения II рода. 32. Основные понятия в процессах конденсации пара. 33. Конвективный массообмен. 34. Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах. Закон Бугера. 35. Расчет теплообмена между средой и оболочкой. 36. Оптическая толщина среды. 37. Понятие о сложном теплообмене. 38. Классификация теплообменных аппаратов. 39. Конструктивный и поверочный расчет теплообменников. Примерные практические задания для экзамена: 1. Резиновая пластина толщиной 20 мм, нагретая до температуры $t_{ж1}-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ помещена в воздушную среду с температурой $t_{ж2} - 15^{\circ}\text{C}$. Определить температуры в середине и на поверхности пластины через 20 мин. после начала охлаждения. Коэффициент теплопроводности резины $\lambda=0,175\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$. Коэффициент теплоотдачи от поверхности пластины к окружающему воздуху равен $\alpha=65\text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$ 2. Определить тепловую нагрузку поверхности нагрева парогенератора при пузырьковом кипении воды в большом объеме, если вода находится под давлением $p=6,2\cdot 10^5\text{ Па}$, а температура поверхности нагрева $t_c=175\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки испарителя к
--	--	--

		кипящей воде, если тепловая нагрузка поверхности нагрева $q=2 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$, режим кипения пузырьковый и вода находится под давлением $p=2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Как изменится коэффициент теплоотдачи при кипении воды в трубе диаметром $d=20 \text{ мм}$ при повышенной тепловой нагрузке поверхности нагрева от $q=5 \cdot 10^4$ до $q=1 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$, если скорость движения воды $w=5 \text{ м/с}$ и давление $p=2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Ответ Коэффициент теплоотдачи не изменится. В обоих случаях $\alpha=25600 \text{ Вт(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}$.
ОПК-1.2:	Использует теоретические основы технических наук для применения инновационных технологий на реальных строительных объектов	Теоретические вопросы: 1. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов. 2. Классификация тепломассообменных установок. 3. Наиболее распространенные теплоносители, их свойства, область применения. 4. Конструктивные особенности кожухотрубчатых теплообменников. 5. Конструктивные особенности пластинчатых и спиральных теплообменников. 6. Тепловой конструктивный и тепловой поверочный расчеты рекуперативных теплообменников. Их особенности . 7. Испарительные установки. Их конструктивные особенности. 8. Тепловые трубы. Классификация, конструктивные особенности. 9. Особенности теплового расчета тепловых труб. 10. Особенности теплового расчета теплообменников периодического действия. 11. Гидравлический и прочностной расчеты рекуперативных теплообменников. 12. Регенеративные теплообменники периодического действия, их конструктивные особенности. 13. Особенности теплового расчета регенераторов периодического действия. 14. Конструктивные особенности регенераторов непрерывного действия. 15. Классификация и конструктивные особенности контактных тепломассообменных установок. 16. Свойства влажного воздуха на « Н-d » диаграмме. 17. Изображение процессов теплообмена на « Н-d » диаграмме. 18. Тепловой конструктивный расчет скруббера. 19. Тепловой баланс контактного теплообменника

		и изображение процессов в нем на « H-d » диаграмме. 20. Физико-химические особенности процессов выпаривания. Температурная депрессия. 21. Тепловой расчет выпарных установок. 22. Тепловой баланс выпарной установки непрерывного действия. 23. смеси из взаимно растворимых и взаимнонерастворимых компонентов. 24. Механизм процесса сушки влажных материалов. Виды связанной влаги. 25. Определение расхода сушильного агента в процессе сушки. 26. Процесс сушки в теоретическом сушиле на «H-d» диаграмме. 27. Тепловой баланс действительного сушила. 28. Особенности процессов сушки с рециркуляцией сушильного агента. Построение процесса сушки на «H-d» диаграмме. 29. Особенности процессов сушки с промежуточным подогревом сушильного агента. 30. Конвективная сушка на дымовых газах. Сушка с рециркуляцией топочных газов. 31. Сорбционные процессы. Абсорбенты и адсорбенты. 32. Абсорбционные процессы и установки. Материальный баланс и принципиальные схемы. Адсорбционные процессы и установки. Принципиальные схемы адсорбции. Примерные практические задания для экзамена: 1. По трубам вертикального теплообменника снизу вверх течет вода. Внутренний диаметр труб $d=16$ мм; их длина $l=1.2$ м. Расход воды через одну трубу и $G=58$ кг/ч. Температура воды на входе в теплообменник $t_{ж1} = 30^{\circ}\text{C}$. Определить количество теплоты, передаваемой от стенки одной трубы к воде, и температуру воды на выходе, если температура стенок труб поддерживается равной 80°C. Ответ $Q= 1450$ Вт; $t_{ж1}=52^{\circ}\text{C}$. Трубчатый воздушный подогреватель производительностью $2,78$ кг/с воздуха в 1 с выполнен из труб диаметром $d_{\text{вн}} d_{\text{вн}} = 43/49$ мм. Коэффициент теплопроводности материала- труб $\lambda = 50$ Вт/(м$^{\circ}\text{C}$). Внутри труб движется горячий газ, а наружная поверхность труб омывается поперечным потоком воздуха. Средняя температура дымовых газов $t_{ж1}- 250^{\circ}\text{C}$, а средняя
--	--	--

		температура подогреваемого воздуха $t_{ж2}$ — 145°C. Разность температур воздуха на входе и выходе из подогревателя равна $\delta t = 250^{\circ}\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке $\alpha_1 = 45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ и от стенки к воздуху $\alpha_2 = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$. Вычислить коэффициент теплопередачи и определить площадь поверхности нагрева подогревателя. Расчет произвести по формулам для 1) цилиндрической и 2) плоской стенок. Сравнить результаты вычислений.
ОПК-1.3	Решает инженерные задачи с помощью математического аппарата векторной алгебры, аналитической геометрии и математического анализа	Примерные темы самостоятельных практических заданий: 1. Произвести тепловой и конструктивный расчеты основных деталей секционного водоводяного подогревателя теплосети Мосэнерго при следующих условиях: схема движения теплоносителей — противоток; производительность аппарата $Q = 1,5 \text{ ГВт}$; температуры греющей воды $t'_{г1} = 130^{\circ}\text{C}$ и $t''_{г1} = 100^{\circ}\text{C}$; температуры нагреваемой воды $t'_{н2} = 62^{\circ}\text{C}$ и $t''_{н2} = 92^{\circ}\text{C}$; поверхность нагрева выполнена из латунных трубок диаметром $d = 14/16 \text{ мм}$; теплопроводность материала трубок $\lambda = 90 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$; толщина накипи $\delta_n = 0,2 \text{ мм}$; теплопроводность накипи $\lambda_n = 3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$; коэффициент, учитывающий потери тепла поверхностью подогревателя в окружающую среду $\eta_n = 0,97$. 2. Определить конечную температуру воздуха для воздухоохладителя с поверхностью нагрева $F = 1000 \text{ м}^2$ при следующих условиях: температура воздуха, поступающего в воздухоохладитель, $t' = 60^{\circ}\text{C}$; объем циркулирующего воздуха $V_1 = 100000 \text{ м}^3/\text{ч}$; начальная температура охлаждающей воды $t'_2 = 25^{\circ}\text{C}$; расход воды $V_2 = 320 \text{ м}^3/\text{ч}$; коэффициент теплопередачи $k = 30,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; теплообмен между воздухом и водой в

		воздухоохладителе происходит при противотоке. 3. Определить коэффициент теплопередачи для ребристого воздухоохладителя при следующих условиях: расположение трубок в пучке шахматное; скорость воздуха между ребрами $w=6$ м/с; диаметр трубки $d_n/d_v=24/22$ мм; материал трубок - латунь ($\lambda=90$ Вт/(м*град)); наружный диаметр ребер $D=55$ мм; толщина ребер $\delta_r=0,3$ мм (теплопроводность ребер $\lambda_r=45$ Вт/(м*град); шаг ребер $b=4,8$ мм; средняя температура охлаждающей воды $t_2=260$ °С; температура горячего воздуха $t_1=500$ °С. 4. Определить температуру воздуха на выходе из скруббера и среднюю разность температур между теплоносителями при противотоке, если в скруббер поступает воздух в количестве 10000 кг/ч при $t'_1=150$ °С и $i=420$ кДж/кг. Охлаждающая вода имеет температуру на входе $t'_2=15$ °С и на выходе $t''_2=55$ °С. 5. Рассчитать радиационный рекуператор, работающий в системе комбинированного радиационно-конвективного рекуператора. Температура воздуха на входе в радиационный рекуператор равна $t''_в=420$ °С, конечная температура подогрева воздуха $t^*_в=600$ °С. Температура дымовых газов на входе в рекуператор $t''_д=1050$ °С. Количество нагреваемого воздуха $V_{во}=0,695$ м³/с, дыма $V_{до}=0,805$ м³/с. Состав дымовых газов 19 % CO₂; 1,0 % H₂O и 80 % N₂. Толщина стенки рекуператора $\delta=6$ мм. 6. Произвести упрощенный тепловой расчет барабанной сушилки при следующих условиях. Количество продукта, поступающего в сушилку, $G_1=20000$ кг/ч; начальная влажность продукта $w_1^0=18$ %; конечная влажность $w_2^0=10$; теплоемкость высушенного продукта $c=1,26$ кДж/(кг град); температура воздуха, поступающего в калорифер, $t_0=20$ °С; относительная влажность воздуха $\phi=60$ %; температура воздуха, после калорифера - $t_1=150$ °С; относительная влажность воздуха, выходящего из сушилки, $\phi=80$ %; температура продукта при входе в сушилку $\theta=10$ °С, температура продукта по выходе из сушилки $\theta=100$ °С.
--	--	--

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Тепломассообменные процессы в тепловом оборудовании систем тгв» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета с оценкой и в форме выполнения и защиты контрольной работы.

Зачет по данной дисциплине проводится в устной форме по билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

Показатели и критерии оценивания зачета:

- на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
- на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
- на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
- на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.
- на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.