



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)

***СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ПРИКЛАДНОЙ ТЕПЛОТЕХНИКИ И
ГИДРОАЭРОДИНАМИКИ***

Направление подготовки (специальность)
08.04.01 Строительство

Направленность (профиль/специализация) программы
Современные системы теплоснабжения и обеспечения микроклимата зданий

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт строительства, архитектуры и искусства
Кафедра	Урбанистики и инженерных систем
Курс	1
Семестр	1

Магнитогорск
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 08.04.01 Строительство (приказ Минобрнауки России от 31.05.2017 г. № 482)

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 кафедр УиИС, канд. техн. наук

Л.Г. Старкова

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

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины «Специальные разделы прикладной теплотехники и гидроаэродинамики» является: изучение основ использования законов тепломассообмена и гидроаэродинамики в технике, достижение способности применения полученных знаний в теплоэнергетике, теплогазоснабжении, вентиляции и кондиционировании воздуха.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Специальные разделы прикладной теплотехники и гидроаэродинамики входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

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

Изучение дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, приобретенных студентами в ходе изучения дисциплин:

- специальные разделы высшей математики: теория алгоритмов, дифференциальное и интегральное исчисления, вероятность и статистика, элементарная теория вероятностей, модели случайных процессов, статистические методы обработки экспериментальных данных;

- информатика: общая характеристика процессов сбора, передачи, обработки и накопления информации; модели решения функциональных и вычислительных задач; алгоритмизация и программирование; базы данных; компьютерная графика;

- начертательная геометрия, черчение и машинная графика: числовые отметки; пересечения в аксонометрии; черчение: техника черчения и геометрические построения; ГОСТы; ЕСКД; машиностроительные и архитектурно-строительные чертежи; машинная графика: методы и средства машинной графики;

- гидравлические режимы трубопроводных систем: гидростатика, основы гидродинамики, гидравлические сопротивления, установившееся и неустановившееся движения жидкости; истечение жидкости,

- теоретические основы теплотехники – основные процессы термодинамики, диаграмма двухфазного перехода вещества, законы передачи теплоты: теплопроводность, излучение, конвективный теплообмен.

Программа дисциплины логически взаимосвязана со смежными дисциплинами.

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

Гидравлические режимы трубопроводных систем

Нормативная база проектирования , монтажа и эксплуатации систем теплоснабжения и вентиляции

Способы эффективной вентиляции зданий

Энерго- и ресурсо сбережение в системах теплоснабжения и вентиляции

Основы моделирования теплового и воздушного режимов зданий

Теория и практика создания систем климатизации зданий

Эффективные системы теплоснабжения зданий

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Производственная - научно-исследовательская практика

Энергоаудит систем обеспечения микроклимата зданий

Методология и методы научного исследования

Основы научной коммуникации
Тепломассообменные процессы в оборудовании систем теплоснабжения и
вентиляции

Учебная - научно-исследовательская работа

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

В результате освоения дисциплины (модуля) «Специальные разделы
прикладной теплотехники и гидроаэродинамики» обучающийся должен обладать
следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-4	Способен выполнить специальные расчеты для проектирования котельных, центральных тепловых пунктов
ПК-4.1	Составляет тепловую схему с расчетом тепловых и материальных балансов, выполняет гидравлические расчеты трубопроводов, осуществляет выбор оборудования и арматуры котельных, центральных тепловых пунктов, оформляет расчеты и пояснительную записку

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

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

- контактная работа – 32,9 акад. часов;
- аудиторная – 32 акад. часов;
- внеаудиторная – 0,9 акад. часов;
- самостоятельная работа – 75,1 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. 1. Теплопроводность								
1.1 Нестационарная теплопроводность. Постановка задачи и аналитический метод расчета температурного поля бесконечной пластины при граничных условиях третьего рода. Анализ решения для предельных случаев по величине числа Био; направляющая точка и приближенная кривая температурного поля. Определение теплоты, отданной пластиной в нестационарном процессе. Расчет нестационарного температурного поля в цилиндре бесконечной длины. 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	1	3		2	11,1	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями)	Устный опрос. Проверка практических заданий	ПК-4.1

Понятие о нестационарном температурном поле при переменной температуре окружающей среды; температурные волны.								
Итого по разделу		3		2	11,1			
2. 2. Конвективный теплообмен и теплопередача								
2.1 Формулировка основной задачи теплообмена - определение температурного поля в движущейся среде. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнение энергии (подробно), уравнение движения, уравнение неразрывности. Условия однозначности, гипотеза о "прилипании" и связь температурного поля у стенки с теплоотдачей (уравнение теплоотдачи). Принципиальный путь решения задачи конвективного теплообмена, связанный с использованием безразмерных переменных. Безразмерная форма дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Масштабы приведения	1	2		1	10	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями)	Устный опрос. Проверка практических заданий	ПК-4.1
2.2 Теория подобия в конвективном теплообмене. Теоремы подобия. Теория подобия как руководство к рациональному проведению экспериментального исследования процессов конвективного теплообмена. Условия подобия процессов конвективного теплообмена (теория Кирпичева-Гухмана). Принципы моделирования, форма представления экспериментальных результатов в виде уравнений подобия, числа подобия (определяющие и		2		2	10	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями)	Устный опрос. Проверка практических заданий	ПК-4.1

определяемые). Метод размерностей и его использование для получения уравнений подобия.								
2.3 Выводы из условий подобия. Сходственные точки. Константы подобия. Методы приближенного моделирования. Автоподобность процесса. Метод локального теплового моделирования. Основы постановки эксперимента. Методы экспериментального определения коэффициентов теплопередачи. Обработка экспериментальных данных. Зависимость числа Нуссельта от одного числа подобия. Обработка экспериментальных данных. Зависимость числа Нуссельта от двух чисел подобия. Выбор определяющего размера и определяющей температуры.		2		4	10	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями)	Устный опрос. Проверка практических заданий	ПК-4.1
2.4 Основы теории пограничного слоя применительно к конвективному теплообмену. Тепловой и гидродинамический пограничный слой. Расчет теплоотдачи при ламинарном движении жидкости вдоль плоской поверхности: механизм переноса в ламинарном пограничном слое, физический смысл чисел Пекле, Рейнольдса и Прандтля, локальный и средний коэффициент теплоотдачи, влияние направления теплового потока на теплоотдачу ка-пельной жидкости. Переход ламинарного режима движения в турбулентный. Физический механизм турбулентного переноса, понятие о коэффициентах турбулентного переноса и аналогии Рейнольдса. Расчет теплоотдачи при	1	2			12	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями)	Устный опрос. Проверка практических заданий	ПК-4.1

турбулентном пограничном слое.								
2.5 Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и трубного пучка. Особенности гидродинамической структуры потока при обтекании криволинейной поверхности, явление отрыва пограничного слоя. Изменение локального коэффициента теплоотдачи вдоль поверхности цилиндра при поперечном обтекании. Расчетные зависимости для теплоотдачи одиночных цилиндров, коридорных и шахматных пучков труб.	1	3		4	10	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями)	Устный опрос. Проверка практических заданий	ПК-4.1
2.6 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		2		3	12	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическими материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями)	Устный опрос. Проверка практических заданий	ПК-4.1
Итого по разделу		13		14	64			
Итого за семестр		16		16	75,1		зао	
Итого по дисциплине		16		16	75,1		зачет с оценкой	

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Специальные разделы прикладной теплотехники и гидроаэродинамики» используются традиционная и модульно-компетентностная технологии.

При обучении студентов дисциплине «Специальные разделы прикладной теплотехники и гидроаэродинамики » 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. Ляшков, В. И. Теоретические основы теплотехники: учебное пособие для вузов / В. И. Ляшков. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2019. -с.: ил. - ISBN 978-5-16-104740-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1002345> (дата обращения:17.04.2025). - Режим доступа: по подписке

2. Цветков Ф.Ф., Тепломассообмен : учебник для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев - М. : 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: 17.04.2025). - Режим доступа : по подписке.

б) Дополнительная литература:

1. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена : учебник для вузов / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под редакцией В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 308 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01738-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/448239> (дата обращения: 17.04.2025).

2. Видин, Ю. В. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: Учебное пособие / Видин Ю.В., Казаков Р.В., Колосов В.В. - Краснояр.:СФУ, 2015. - 370 с.: ISBN 978-5-7638-3302-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/967810> (дата обращения: 17.04.2025). - Режим доступа: по подписке.

в) Методические указания:

1. Новоселова Ю. Н. Теплоснабжение с основами теплотехники : учебное пособие / Ю. Н. Новоселова, Ю. А. Морева. - Магнитогорск : МГТУ, 2014. - 86 с. : ил., табл., схемы. - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/117>. - 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). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/583> (дата обращения: 05.09.2023). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Российская Государственная библиотека. Каталоги	https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://host.megaprolib.net/M/P0109/Web
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	https://dlib.eastview.com/

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, выходом 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

Примерная структура и содержание раздела:

По дисциплине «**Специальные разделы прикладной теплотехники и гидроаэродинамики**» 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. Располагаемая работа в необратимых процессах. Максимальная располагаемая работа. Эксергетический КПД

2 м³/с газа, состоящего на 97% из CH₄ и на 3% из C₂H₅, сжигается в котле. Тепловой КПД котла 95%, расход питательной воды 20 кг/с, температура питательной воды 40°C, температура горения газовой смеси 2000°C, температура дымовых газов на выходе из котла 150°C, низшая теплота сгорания CH₄ 35,88 МДж/м³, C₂H₅ 64,15 МДж/м³, скрытая теплота парообразования воды 2256 кДж/кг, изобарная теплоемкость водяного пара 2,13 кДж/кг. Определить эксергетический КПД установки. Ответ: 0,35.

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

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

АПР №3. Безразмерная форма дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Масштабы приведения

Привести к безразмерному виду уравнение энергии. Выбрать масштабы приведения

АПР №4 Принципы моделирования, форма представления экспериментальных результатов в виде уравнений подобия, числа подобия

На экспериментальной установке исследовалась теплоотдача при поперечном обтекании одиночного цилиндра воздухом. В результате опытов получены значения коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2 , Вт/(м²*°C), для двух цилиндров диаметром соответственно $d_1=10$ мм и $d_2=20$ мм при постоянной температуре $t_{ж}=20$ °C и различных скоростях набегающего потока ω , м/с.

Данные опытов приведены ниже:

ω , м/с	2,0	5,0	10	10
α_1 , Вт/(м ² *°C)	39,5	71,2	106,5	165,3
α_2 , Вт/(м ² *°C)	31,2	55,6	83,4	128

Найти критериальную зависимость для теплоотдачи $Nu_{ж}=CRe_{ж}^n$. Сравнить графики

$\alpha_1=f_1(\omega)$ и $\alpha_2=f_2(\omega)$

Ответ: $Nu_{ж}=0,18Re_{ж}^{0,62}$.

АПР №5. Автомодельность процесса. Метод локального теплового моделирования. Основы постановки эксперимента

На паропроводе перегретого пара диаметром $d=400$ мм установлена измерительная диафрагма, которая должна быть специально протарирована, т.е. должна быть найдена зависимость $\Delta p=f(G)$, где Δp —перепад статических давлений в диафрагме, Па; G —расход пара, кг/с.

Так как по производственным причинам тарировка не могла быть произведена непосредственно на образце, то для этой цели была изготовлена модель в 1/5 натуральной величины.

В результате испытаний модели на воде, температура которой $t_{ж.м}=20$ °C, были получены значения перепадов давлений на диафрагме при различных расходах воды. Результаты измерений приведены ниже:

Δp , Па . . .	477	1178	4520	18050	72200
G , кг/с . . .	2,22	4,44	8,88	17,75	35,52

Найти зависимость $\Delta p=f(G)$ для образца при течении пара в автомодельной области и указать границы ее применения. Давление пара $p=98$ кПа. Температура пара $t_{ж}=250$ °C.

Ответ: $\Delta p=222G^2$ при $Re>142*10^5$.

АПР №6. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и трубного пучка.

Определить коэффициент теплоотдачи излучением от потока газа к поверхности труб пароперегревателя парового котла, если температура газа на входе $t_{г1}=1100$ °C и на выходе из пароперегревателя $t_{г2}=800$ °C. Принять температуру всей поверхности теплообмена постоянной и равной $t_c=500$ °C и степень черноты поверхности $\epsilon_c=0,8$. Трубы расположены в шахматном порядке (рис.11-4) с шагом по фронту $s_1=2d$; внешний диаметр труб $d=38$ мм. Газ содержит 10% CO₂ и 4% H₂O. Общее давление газа $p=98$ кПа

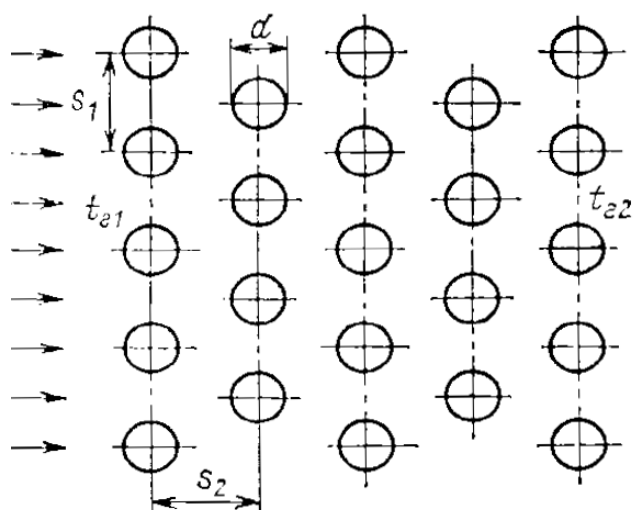


Рис. 11-4. К задаче 11-7.

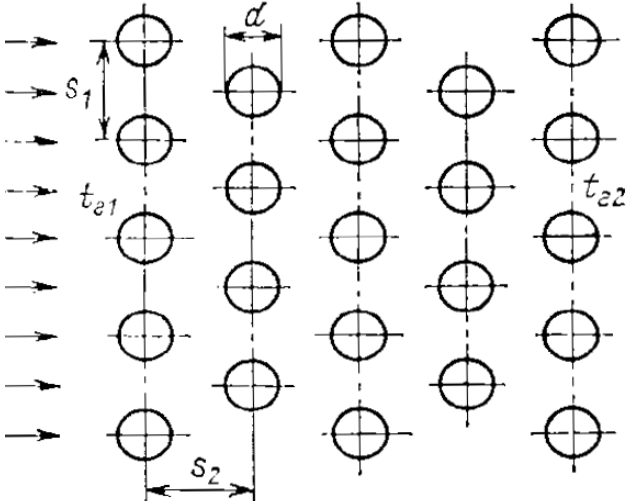
Ответ: $\alpha_{\text{л}}=11,5 \text{ Вт/}(\text{м}^2\cdot\text{°С})$

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-4: Способен выполнить специальные расчеты для проектирования котельных, центральных тепловых пунктов		
ПК-4.1:	Составляет тепловую схему с расчетом тепловых и материальных балансов, выполняет гидравлические расчеты трубопроводов, осуществляет выбор оборудования и арматуры котельных, центральных тепловых пунктов, оформляет расчеты и пояснительную записку	Теоретические вопросы: 1. Термодинамические потенциалы. Недостатки энергетического (теплового) анализа . 2. Определение эксергии. Располагаемая работа в необратимых процессах. Максимальная располагаемая работа. Эксергетический КПД 3. Эксергия потока рабочего тела, эксергия цикла (эксергия теплоты). 4. Эксергетический КПД теплообменника. Химическая эксергия топлива. Эксергия теплоты топочных газов, получаемого пара. Эксергетический КПД котлоагрегата и котельной установки 5. Эксергетические диаграммы. Эксергетический метод исследования. 6. Метод расчета нестационарного температурного поля для тел конечных размеров. 7. Определение количества теплоты в нестационарном режиме. 8. Понятие регулярного режима. 9. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнение энергии (подробно), уравнение движения, уравнение неразрывности. Условия однозначности, гипотеза о "прилипании" и связь температурного поля у стенки с теплоотдачей (уравнение теплоотдачи). 10. Принципиальный путь решения задачи конвективного теплообмена, связанный с использованием безразмерных переменных. Безразмерная форма дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Масштабы приведения 11. Теоремы подобия 12. Выводы из условий подобия. Сходственные точки. Константы подобия.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		13. Моделирование процессов конвективного теплообмена. 14. Методы приближенного моделирования. Автомодельность процесса. Метод локального теплового моделирования. 15. Основы постановки эксперимента 16. Методы экспериментального определения коэффициентов теплопередачи 17. Обработка экспериментальных данных. Зависимость числа Нуссельта от одного числа подобия. 18. Обработка экспериментальных данных. Зависимость числа Нуссельта от двух чисел подобия. 19. Выбор определяющего размера и определяющей температуры. 20. Применение уравнений подобия для определения коэффициентов теплоотдачи. 21. Расчет теплоотдачи при ламинарном и турбулентном движении жидкости вдоль плоской поверхности: механизм переноса в ламинарном и турбулентном пограничном слое, физический смысл чисел Пекле, Рейнольдса и Прандтля, локальный и средний коэффициент теплоотдачи 22. Особенности теплообмена при течении жидкости в трубах. Ламинарный и турбулентный режимы течения . 23. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и трубного пучка. 24. Изменение локального коэффициента теплоотдачи вдоль поверхности цилиндра при поперечном обтекании. Расчетные зависимости для теплоотдачи одиночных цилиндров. 25. Теплообмен при поперечном обтекании трубного пучка. 26. . Расчетные зависимости для теплоотдачи коридорных и шахматных пучков труб. 27. Конвективный массообмен. Система дифференциальных уравнений конвективного тепломассообмена: уравнение массообмена, уравнение энергии, уравнения движения и неразрывности. 28. Использование аналогии тепло- и массообмена для расчета массообменных

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		процессов. 29. Физический механизм теплопроводности капиллярно-пористых тел при наличии переноса влаги. 30. Первый закон термодинамики - количественная характеристика теплового процесса. Второй закон термодинамики - качественная характеристика теплового процесса (направление и условие протекания процесса). 31. Основные понятия и определения. Общие понятия теплопроводности, конвекции, излучения. 32. Дифференциальное уравнение теплопроводности. 33. Интенсификация процессов теплообмена. 34. Анализ решения задач нестационарной теплопроводности для предельных значений чисел Био. 35. Метод расчета нестационарного температурного поля для тел конечных размеров. 36. Определение количества теплоты в нестационарном режиме (пластина). 37. Основные понятия конвективного теплообмена. 38. Формула Ньютона-Рихмана для расчетов процессов теплообмена. 39. Гидродинамическая структура потока. Число Рейнольдса. 40. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. 41. Теория подобия. Числа подобия. Теоремы подобия. 42. Основы теории пограничного слоя. Тепловой и гидродинамический пограничный слой 43. Конвективный массообмен.
		Примерные практические задания для зачета: 1. Определить коэффициент теплоотдачи излучением от потока газа к поверхности труб пароперегревателя парового котла, если температура газа на входе $t_{г1}=1100^{\circ}\text{C}$ и на выходе из пароперегревателя $t_{г2}=800^{\circ}\text{C}$. Принять температуру всей поверхности

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		теплообмена постоянной и равной $t_c=500^{\circ}\text{C}$ и степень черноты поверхности $\epsilon_c=0,8$. Трубы расположены в шахматном порядке (рис.11-4) с шагом по фронту $s_1=2d$; внешний диаметр труб $d=38$ мм. Газ содержит 10% CO_2 и 4% H_2O. Общее давление газа $p=98\text{кПа}$  Рис. 11-4. К задаче 11-7. Ответ: $\alpha_L=11,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 2.Определить диаметр модели вала d_m и необходимое значение коэффициента теплоотдачи α_m, при которых в условиях задачи 3-1 подобие температурных полей наступит через $\tau_m=15$ мин после загрузки модели в печь. Определить также соотношения между линейными размерами, временем и температурами для вала и модели, если известно, что их температуры при загрузке и температуры среды в печах были равны соответственно: $t_0=10^{\circ}\text{C}$; $t_{0m}=20^{\circ}\text{C}$; $t_{ж}=1000^{\circ}\text{C}$; $t_{ж,m}=200^{\circ}\text{C}$. Ответ: $d=85 \text{ мм}$; $\alpha_m=208 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$; $r/r_m=4,7$; $\tau/\tau_m=10$; $t=5,5t_m-100$ 3.На паропроводе перегретого пара диаметром $d=400$ мм установлена измерительная диафрагма, которая должна быть специально протарирована, т.е. должна быть найдена зависимость $\Delta p=f(G)$, где Δp—перепад

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства																																			
		статических давлений в диафрагме, Па; G—расход пара, кг/с. Так как по производственным причинам тарировка не могла быть произведена непосредственно на образце, то для этой цели была изготовлена модель в 1/5 натуральной величины. В результате испытаний модели на воде, температура которой $t_{ж.м}=20^{\circ}\text{C}$, были получены значения перепадов давлений на диафрагме при различных расходах воды. Результаты измерений приведены ниже: <table><tr><td>Δp, Па . . .</td><td>477</td><td>1178</td><td>4520</td><td>18050</td></tr><tr><td></td><td>72200</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>G, кг/с . . .</td><td>2,22</td><td>4,44</td><td>8,88</td><td>17,75</td></tr><tr><td></td><td>35,52</td><td></td><td></td><td></td></tr></table> Найти зависимость $\Delta p=f(G)$ для образца при течении пара в автомодельной области и указать границы ее применения. Давление пара $p=98\text{кПа}$. Температура пара $t_{ж}=250^{\circ}\text{C}$. Ответ: $\Delta p=222G^2$ при $Re>142\cdot 10^5$. 4. На воздушной модели парового котла, выполненной в масштабе 1/8 натуральной величины, производилось изучение теплоотдачи конвекцией. Для первого газохода модели при различных скоростях воздуха были получены следующие значения коэффициента теплоотдачи: <table><tr><td>W_m, м/с</td><td>2,0</td><td>3,14</td><td>4,65</td><td></td></tr><tr><td></td><td>8,8</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>α_m, Вт/($\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$) . . .</td><td>50,4</td><td>68,6</td><td>90,6</td><td>141</td></tr></table> Средняя температура воздуха, проходящего через модель, $t_{ж.м}=20^{\circ}\text{C}$. Диаметр трубок модели $d_m=12,5$ мм. Коэффициент теплоотдачи α_m при обработке опытных данных был отнесен к средней арифметической разности температур	Δp , Па . . .	477	1178	4520	18050		72200				G, кг/с . . .	2,22	4,44	8,88	17,75		35,52				W_m , м/с	2,0	3,14	4,65			8,8				α_m , Вт/($\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$) . . .	50,4	68,6	90,6	141
Δp , Па . . .	477	1178	4520	18050																																	
	72200																																				
G, кг/с . . .	2,22	4,44	8,88	17,75																																	
	35,52																																				
W_m , м/с	2,0	3,14	4,65																																		
	8,8																																				
α_m , Вт/($\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$) . . .	50,4	68,6	90,6	141																																	

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства																
		между жидкостью и стенкой. На основе данных, полученных на модели, найти формулу для расчета теплоотдачи конвекцией в первом газоходе котла в виде зависимости $Nu=f(Re)$ Ответ: $Nu=0,15Re^{0,685}$ 5.Определить количество теплоты, передаваемой от газов к стенкам труб первого газохода котла, результаты исследования которого были приведены в задаче 4, если известны следующие данные: средняя скорость газа $\omega=6\text{м/с}$; температуры дымовых газов в начале и в конце первого газохода котла соответственно $t_{ж2}=700^{\circ}\text{C}$; температура стенок труб $t_c=250^{\circ}\text{C}$; площадь поверхности нагрева газохода $F=500\text{ м}^2$. В качестве определяющей температуры принять среднюю арифметическую температуру $t_{ж}=0,5(t_{ж1}+t_{ж2})$. Состав дымовых газов: $\dot{p}_{CO_2}=0,13$; $\dot{p}_{H_2O}=0,11$; $\dot{p}_{N_2}=0,76$. Ответ: $\alpha=44,4\text{ Вт/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})}$; $Q=12.2\cdot 10^3\text{ кВт}$. 6.На экспериментальной установке исследовалась теплоотдача при поперечном обтекании одиночного цилиндра воздухом. В результате опытов получены значения коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2, $\text{Вт/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})}$, для двух цилиндров диаметром соответственно $d_1=10\text{ мм}$ и $d_2=20\text{ мм}$ при постоянной температуре $t_{ж}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и различных скоростях набегающего потока ω, м/с. Данные опытов приведены ниже: <table><tr><td>ω, м/с</td><td>2,0</td><td>5,0</td><td>10</td></tr><tr><td>α_1, $\text{Вт/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})}$</td><td>39,5</td><td>71,2</td><td>106,5</td></tr><tr><td></td><td>165,3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>α_2, $\text{Вт/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})}$</td><td>31,2</td><td>55,6</td><td>83,4</td></tr></table>	ω , м/с	2,0	5,0	10	α_1 , $\text{Вт/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})}$	39,5	71,2	106,5		165,3			α_2 , $\text{Вт/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})}$	31,2	55,6	83,4
ω , м/с	2,0	5,0	10															
α_1 , $\text{Вт/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})}$	39,5	71,2	106,5															
	165,3																	
α_2 , $\text{Вт/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})}$	31,2	55,6	83,4															

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства												
		128 Найти критериальную зависимость для теплоотдачи $Nu_{\text{ж}} = C Re_{\text{ж}}^n$. Сравнить графики $\alpha_1 = f_1(\omega)$ и $\alpha_2 = f_2(\omega)$ Ответ: $Nu_{\text{ж}} = 0,18 Re_{\text{ж}}^{0,62}$. 7. Исследование тепловых потерь с поверхности горизонтальных паропроводов в условиях естественной конвекции проводилось на лабораторной установке, где измерения производилось на горизонтальной трубе $d=30$ мм. Опыты проводились при различных температурах стенки трубы. При этом были получены следующие значения коэффициента теплоотдачи: <table data-bbox="818 1064 1404 1265"> <tr> <td>α, Вт/(м²*°C)</td><td>11,75</td><td>12,34</td></tr> <tr> <td>12,87</td><td>13,34</td><td>13,75</td></tr> <tr> <td>t_c, °C</td><td>210</td><td>250</td></tr> <tr> <td>290</td><td>330</td><td>370</td></tr> </table> Температура окружающего воздуха $t_{\text{ж}}$ вдали от поверхности трубы оставалась постоянной и равной 30°C. На основании полученных опытных значений коэффициентов теплоотдачи найти обобщенную зависимость для расчета теплоотдачи в условиях естественной конвекции. Учитывая, что критерий P_r для воздуха в широком интервале температур остается практически постоянным, зависимость искать в виде $Nu = f(Gr)$. При обработке опытных данных в качестве определяющей температуры принять температуру воздуха вдали от поверхности трубы.	α , Вт/(м ² *°C)	11,75	12,34	12,87	13,34	13,75	t_c , °C	210	250	290	330	370
α , Вт/(м ² *°C)	11,75	12,34												
12,87	13,34	13,75												
t_c , °C	210	250												
290	330	370												

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		Ответ: $Nu=0,47Gr^{0,25}$ при $6 \cdot 10^5 < Gr < 1,2 \cdot 10^6$. 8. В котельной установке при температуре окружающей среды $t_0=25^\circ\text{C}$ вырабатывается пар с температурой $t_2=550^\circ\text{C}$. Температура продуктов сгорания в топке $t_1=1727^\circ\text{C}$ (теплотворная способность топлива $Q_p^H = 42000$ кДж/кг). Найти эксергию теплоты топочных газов, получаемого пара и эксергетический КПД. 9. Два килограмма воды охлаждается от 100 до 20°C, нагревая 8 кг атмосферного воздуха. Тепловой КПД калорифера 90%, температура окружающей среды 20°C. Определить эксергетический КПД процесса теплообмена. Ответ: $0,48$. 10. Два м³/с газа, состоящего на 97% из CH_4 и на 3% из C_2H_5, сжигается в котле. Тепловой КПД котла 95%, расход питательной воды 20 кг/с, температура питательной воды 40°C, температура горения газовой смеси 2000°C, температура дымовых газов на выходе из котла 150°C, низшая теплота сгорания CH_4 $35,88$ МДж/м³, C_2H_5 $64,15$ МДж/м³, скрытая теплота парообразования воды 2256 кДж/кг, изобарная теплоемкость водяного пара $2,13$ кДж/кг. Определить эксергетический КПД установки. Ответ: $0,35$. 11. Электрическая мощность парокомпрессионной холодильной установки $7,53$ кВт, холодопроизводительность 20 кВт, температура кипения хладагента в испарителе -25°C. Определить холодильный коэффициент и эксергетический КПД установки, если температура окружающей среды 20°C. Ответ: $2,65$ и $0,16$. 12. 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 $t_{ж1} = 30^\circ\text{C}$.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		Определить количество теплоты, передаваемой от стенки одной трубы к воде, и температуру воды на выходе, если температура стенок труб поддерживается равной 80°C. Ответ $Q = 1450\text{ Вт}; t_{\text{ж1}} = 52^{\circ}\text{C}$. 13. Трубчатый воздушный подогреватель производительностью $2,78\text{ кг/с}$ воздуха в 1 с выполнен из труб диаметром $d_{\text{в}} = 43/49\text{ мм}$. Коэффициент теплопроводности материала-труб $\lambda = 50\text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$. Внутри труб движется горячий газ, а наружная поверхность труб омывается поперечным потоком воздуха. Средняя температура дымовых газов $t_{\text{ж1}} = 250^{\circ}\text{C}$, а средняя температура подогреваемого воздуха $t_{\text{ж2}} = 145^{\circ}\text{C}$. Разность температур воздуха на входе и выходе из подогревателя равна $\delta t = 250^{\circ}\text{C}$. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке $\alpha_1 = 45\text{ Вт/(м}^2\text{}^{\circ}\text{C)}$ и от стенки к воздуху $\alpha_2 = 25\text{ Вт/(м}^2\text{}^{\circ}\text{C)}$. Вычислить коэффициент теплопередачи и определить площадь поверхности нагрева подогревателя. Расчет произвести по формулам для 1) цилиндрической и 2) плоской стенок. Сравнить результаты вычислений. 14. Резиновая пластина толщиной 20 мм, нагретая до температуры $t_{\text{ж1}} = 140^{\circ}\text{C}$ помещена в воздушную среду с температурой $t_{\text{ж2}} = 15^{\circ}\text{C}$. 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 $\alpha = 65\text{ Вт/(м}^2\text{}^{\circ}\text{C)}$ 15. В нагревательной печи температура

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		газов по всему объему постоянна и равна 1200°C. 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 $p_{\text{CO}_2}=12 \text{ кПа}$.
		Примерные темы самостоятельных практические заданий 1. Определить эксергию теплоты, которая выделяется при сгорании на воздухе 1 кг топлива с теплотой сгорания $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 20000 \text{ кДж/кг}$. Температура горения 1300°C. Параметры среды: $p_{\text{oc}}=0,1 \text{ МПа}$ и $t_{\text{oc}}=20^{\circ}\text{C}$. Теплоемкость продуктов сгорания принять постоянной. Получившийся источник теплоты является источником теплоты с переменной температурой, так как в процессе отвода теплоты от источника и превращения теплоты в работу он (источник) охлаждается. Его работоспособность будет исчерпана, когда его температура станет равной температуре окружающей среды. Процесс охлаждения источника теплоты показан на рисунке линией 1-0 до температуры T_{oc}. Для бесконечно малого количества теплоты dQ при температуре T дифференциал эксергии определяется через термический КПД цикла Карно, т.е. $d(E_{\text{q}}) = dQ \left(1 - \frac{T_{\text{oc}}}{T} \right),$

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		2. 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 $t'_{,1} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t''_{,1} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$; температуры нагреваемой воды t' $t'_2 = 62 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и t''' $t'_2 = 92 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 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

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		поверхностью подогревателя в окружающую среду $\eta n=0,97$. 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. Проанализировать значения коэффициентов теплопередачи при коридорном расположении трубок в пучке; при изменении скорости воздуха между ребрами до $w=10$ м/с;

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

Примерная структура и содержание пункта:

Промежуточная аттестация по дисциплине «**Специальные разделы прикладной теплотехники и гидроаэродинамики**» 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 с оценкой:

– 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.