

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Д.С. Гуц / Д.С. Гуц /
«10» марта 2023 г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по научной специальности
2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение

Красноярск 2023

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ВОПРОСЫ

1.1. Требования к теплоснабжению, отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха

Основные требования к теплоснабжению, отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, их классификация, взаимосвязь конструктивных решений с используемыми материалами. Достоинства и недостатки различных видов теплоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха.

1.2. Основные понятия технической термодинамики

Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Термодинамические свойства реальных газов. Водяной пар. Влажный воздух. Термодинамика потока. Сжатие газов в компрессоре. Уравнение первого закона термодинамики для потока. Циклы паросиловых установок. Циклы холодильных установок и тепловых насосов. Обратный цикл, холодильный коэффициент, обратный цикл Карно. Воздушная холодильная установка, регенерация теплоты. Абсорбционная и парожекторная холодильные установки. Тепловой насос, отопительный коэффициент.

1.3. Основные понятия теплообмена.

Способы переноса теплоты, температурное поле, градиент температуры, тепловой поток. Стационарная теплопроводность. Закон Фурье. Нестационарная теплопроводность. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Уравнение энергии, уравнение движения и уравнение неразрывности, условия однозначности для полей температуры и скорости. Теория подобия. Основные процессы конвективного теплообмена. Теплообмен при фазовых превращениях. Основы массообмена. Аналогия процессов переноса теплоты и массы, диффузионные числа Нуссельта и Прандтля. Расчет испарения при течении влажного воздуха вдоль плоской поверхности. Теплообмен излучением. Классификация теплообменных аппаратов. Основы теплового расчета рекуперативных теплообменников: уравнение теплового баланса, уравнение теплопередачи, средний логарифмический температурный напор. Конструктивный и поверочный расчет теплообменника, определение конечных температур теплоносителя. Эффективность теплообменника.

1.4. Основные понятия строительной теплофизики

Тепловлагопередача через наружные ограждения. Защитные свойства наружных ограждений. Стационарная теплопередача через сложное наружное ограждение. Нестационарный тепловой режим ограждения и

помещения. Теплообмен в помещении. Тепловой баланс поверхности и воздуха в помещении. Комфортность тепловой обстановки в помещении. Условия комфортности тепловой обстановки в помещении. Нормативные показатели микроклимата зданий различного назначения. Понятие об энергетическом паспорте здания. Удельная тепловая характеристика здания.

1.5. Насосы, вентиляторы и компрессоры

Классификация нагнетателей и область их применения. Теоретические основы работы лопастных нагнетателей. Работа нагнетателей в сети. Конструкции лопастных нагнетателей. Струйные аппараты. Объемные нагнетатели. Поршневые машины — насосы и компрессоры. Ротационные машины. Насосы и компрессоры. Типы электродвигателей в системах теплогазоснабжения и вентиляции и тягодутьевых установок.

1.6. Теплогенерирующие установки

Источники тепловой энергии для систем теплоснабжения, топливо, топливные ресурсы. Органическое топливо. Нетрадиционные источники тепловой энергии. Процессы производства тепловой энергии и их расчет. Методы и схемы производства тепловой энергии. Основы процесса горения органических топлив. Тепловой расчет котлов на органическом топливе. Аэродинамический расчет теплогенератора. Паровые и водогрейные котлы. Котлы на органическом топливе. Топочные и горелочные устройства. Конвективные поверхности нагрева котлов. Теплогенераторы гелио- и геотермальных установок. Внутрикотловая гидродинамика. Водный режим работы котлов. Тепловая схема теплогенерирующих установок. Системы питания теплогенератора водой. Шлакозолоудаление. Тягодутьевые устройства. Охрана окружающей среды от вредных газообразных и жидких выбросов теплогенерирующих установок. Основы проектирования теплогенерирующих установок. Основы эксплуатации теплогенерирующих установок. Экономия топлива и тепловой энергии.

1.7. Газоснабжение

Городские системы газоснабжения. Потребление газа. Гидравлический расчёт газовых сетей. Разработка оптимальных схем газовых сетей высокого, среднего и низкого давления. Системы газоснабжения с газорегуляторными пунктами. Системы с квартальными регуляторными станциями. Системы с домовыми регуляторами давления. Классификация горелок. Расчёт атмосферных горелок. Расчёт эжекционных горелок полного предварительного смешения газа с воздухом. Газоснабжение зданий. Газовое отопление. Системы снабжения потребителей сжиженными углеводородными газами. Принципиальные схемы промышленных систем

газоснабжения и их классификация. Расчётные расходы газа и расчётные перепады давления. Защита газопроводов от коррозии.

2. ОТОПЛЕНИЕ

Роль системы отопления в общей системе кондиционирования микроклимата здания. Расчетная мощность системы отопления. Общая классификация систем отопления. Характеристика основных теплоносителей для систем отопления. Элементы систем отопления. Расчет площади нагревательной поверхности и числа элементов отопительных приборов различных видов. Теплопроводы в системах отопления. Регулирующая и запорная арматура в различных системах отопления. Системы водяного отопления. Схемы тепловых пунктов. Функции смесительных насосов и изменение давления в системе отопления в зависимости от места установки насоса. Подача и давление смесительных насосов. Устройство и применение водоструйного элеватора. Технология регулирования температуры, расхода и давления воды в смесительной установке. Расширительный бак (открытый и закрытый). Удаление воздуха из системы отопления. Естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в трубах и отопительных приборах системы отопления. Гидравлический расчет систем водяного отопления. Гидравлический расчет по удельной потере давления в теплопроводе. Гидравлический расчет системы водяного отопления по характеристикам гидравлического сопротивления. Гравитационное водяное отопление. Особенности конструирования, расчета и область применения. Системы воздушного отопления. Системы парового отопления. Системы местного отопления. Электрическое отопление. Особенности конструкции и расчета. Область применения. Надежность и эффективность отопления. Эксплуатационные режимы работы систем отопления. Центральное, групповое, местное и индивидуальное регулирование систем водяного отопления. Обеспечение безотказности, ремонтпригодности и долговечности систем. Обеспечение энергосбережения при проектировании и эксплуатации систем отопления. Использование альтернативных источников теплоты в системах отопления.

3. ВЕНТИЛЯЦИЯ

Способы вентилирования и организации воздухообмена. Характерные схемы организации воздухообмена помещений гражданских и промышленных зданий. Поток вредных поступлений в помещения зданий различного назначения. Особенности расчета общего воздухообмена при газо- пыле- влаговыведениях. Общеобменная приточная и вытяжная

вентиляция. Оборудование приточных и вытяжных камер. Очистка приточного воздуха от пыли и микроорганизмов. Воздухонагреватели, устройство, компоновка, расчет, защита от замораживания. Компоновка приточных и вытяжных установок при различных схемах утилизации теплоты вытяжного воздуха. Шумоглушение и виброизоляция вентустановок. Акустический расчет вентиляционных систем, конструкции и расчет шумоглушителей. Местная вытяжная вентиляция. Местная приточная вентиляция (воздушное душирование). Конструктивные решения душирования горизонтальными и наклонными струями. Расчет воздушных душей. Душирование ниспадающими воздушными потоками, область применения, расчет. Душирование рециркуляционным воздухом. Аэрация промышленных зданий. Инженерный расчет аэрации. Расчет аэрации при действии гравитационного, ветрового и совместного давления. Аварийная и противодымная вентиляция. Аварийная вентиляция, воздухообмен, конструктивные решения. Вытяжная противодымная вентиляция, нормы проектирования, расчет, оборудование. Приточная противодымная вентиляция, нормы проектирования, расчет, оборудование. Воздушные завесы: область применения, конструктивные решения, расчет. Испытание, наладка, регулирование и эксплуатация систем вентиляции. Особенности расчета и конструкции аспирационных систем. Особенности вентиляции зданий различного назначения. Особенности вентиляции помещений со взрыво-пожарной средой. Противопожарные требования к системам вентиляции, оборудованию и помещениям, в которых оно размещается.

4. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ

Общие сведения о системах кондиционирования воздуха. Классификация систем кондиционирования воздуха. Выбор параметров приточного и удаляемого воздуха. Минимальный расход приточного воздуха.

Процессы изменения состояния влажного воздуха в системах кондиционирования и способы их реализации.

Понятие о поверхностных и контактных аппаратах для тепловлажностной обработки воздуха в установках и системах кондиционирования, процессы изменения состояния воздуха в них. Процессы изменения состояния воздуха при контакте с водой. Увлажнение воздуха паром. Процессы изменения состояния воздуха при его контакте с твердыми и жидкими влагопоглощающими веществами.

Центральные системы кондиционирования, процессы изменения состояния воздуха в них. Однозональные системы кондиционирования. Кондиционирование воздуха в теплый период года с использованием холодной воды или непосредственного испарения хладагентов. Системы проточные и с применением рециркуляции. Применение методов испарительного охлаждения воздуха в системах кондиционирования — прямое, косвенное, двухступенчатое испарительное охлаждение. Кондиционирование воздуха в холодный период года. Применение контактного нагрева наружного воздуха. Системы местного доувлажнения воздуха в помещениях. Многозональные системы кондиционирования с переменным расходом воздуха и зональными подогревателями. Двухканальные системы с одним и двумя кондиционерами. Понятие о способах регулирования воздуха на основе применения жидких и твердых влагопоглощающих веществ.

Основное оборудование центральных систем кондиционирования воздуха, методы расчета и подбора. Конструктивное устройство центральных кондиционеров, их типоразмеры, основные элементы. Устройство блока камер орошения, блоков сотового и парового увлажнения, конструкция форсунок, их характеристики. Орошаемые насадки. Паровые увлажнители. Поверхностные воздухонагреватели и воздухоохладители. Методы расчета режимов работы контактных и поверхностных аппаратов. Воздушные фильтры, клапаны, вентиляторные секции, секции шумоглушителей. Принцип каркасно-панельной конструкции кондиционеров.

Местные и местно-центральные системы кондиционирования воздуха, основное оборудование. Местные автономные и неавтономные системы кондиционирования воздуха. Моноблочные установки и установки с раздельным расположением компрессорно-конденсаторного агрегата и испарительно-воздухоохлаждающих агрегатов. Вентиляторные доводчики. Понятие о системах с переменным расходом хладагента для многокомнатных зданий. Характеристика оборудования, его устройство и подбор. Местно-центральные системы кондиционирования воздуха. Устройство эжекционных кондиционеров-доводчиков, их характеристика. Процессы кондиционирования воздуха в местно-центральных системах в теплый и холодный периоды года.

Круглогодичный режим работы систем кондиционирования воздуха. Способы представления характеристик наружного климата для анализа круглогодичного режима работы систем кондиционирования воздуха. Анализ работы элементов систем кондиционирования воздуха в круглогодичном режиме. Понятие о выборе оптимальных режимов работы системы кондиционирования воздуха.

Холодо- и теплоснабжение систем кондиционирования воздуха. Основные сведения об естественных и искусственных источниках холода. Применение артезианской воды и природного льда. Парокомпрессионные

холодильные машины, их устройство. Основные типы холодильных компрессоров, конденсаторов и испарителей. Холодильные агенты, их характеристика, требования к ним. Абсорбционные, воздушные, парожетторные и термоэлектрические установки. Двух- и четырехтрубные системы теплохолодоснабжения. Схемы холодного водоснабжения оросительных камер и блоков тепло-массообмена. Особенности режимов теплоснабжения воздухонагревателей первого и второго подогревов установок кондиционирования воздуха.

Способы снижения энергопотребления системами кондиционирования воздуха. Использование вторичных энергоресурсов и нетрадиционных источников энергии. Устройства для утилизации теплоты и холода. Применение теплонасосных установок, комплексное тепло-холодоснабжение на их основе. Способы аккумуляции теплоты и холода.

5. ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

Способы теплоснабжения. Централизованное и децентрализованное теплоснабжение. Теплофикация и теплоснабжение от котельных. Использование восстанавливаемых энергоресурсов.

Основные характеристики и разновидности систем теплоснабжения. Принципиальные схемы водяных систем. Закрытые и открытые системы. Несвязанное и связанное регулирование. Схемы присоединения теплообменников горячего водоснабжения. Зависимые и независимые системы. Разновидности паровых систем.

Классификация потребителей теплоты и методы определения их расходов. Суточные и годовые графики потребления теплоты.

Системы горячего водоснабжения. Определение расчетных расходов воды. Расчет подающих трубопроводов. Расчет циркуляционных трубопроводов.

Расчет элеваторов. Подбор насосов и схем их включения. Тепловой и гидравлический расчет теплообменных аппаратов. Автоматические регуляторы расхода, температуры и давления. Принципы работы гидравлических и электронных регуляторов. Компонентные решения ИТП.

Центральное регулирование по отопительной нагрузке в закрытых системах теплоснабжения. Центральное регулирование по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения. Регулирование отпуска теплоты на вентиляцию. Определение суммарных расходов воды в теплосети в закрытых системах теплоснабжения.

Схемы тепловых сетей. Структура сети с иерархическим построением. Схема теплоподготовительной установки ТЭЦ. Гидравлический расчет теплопроводов. Расчет закольцованных сетей. Подбор циркуляционных и

подпиточных насосов. Пьезометрические графики. Статистический и динамический режимы. Требования к режимам давлений. Режим подпиточного устройства. Выбор схем присоединения абонентских установок. Разработка пьезометрического графика при сложном рельефе местности и протяженных тепловых сетях. Переменные гидравлические режимы. Гидравлическая устойчивость. Гидравлический удар в тепловых сетях. Защитные устройства.

Характерные режимы отбора теплоносителя из подающего и обратного трубопровода. Связанное регулирование отпуска теплоносителя на горячее водоснабжение и отопление. Режимы и показатели систем без регуляторов расхода. Режимы систем с регуляторами расхода на абонентских вводах. Определение расчетных расходов. Переменные гидравлические режимы открытых систем. Определение расходов теплоносителя в системах отопления при различных режимах отбора теплоносителя на горячее водоснабжение. Разрегулировка подачи тепла в системы отопления. Расчет несвязанного и связанного регулирования.

Паровые системы теплоснабжения. Схемы систем. Системы сбора конденсата. Гидравлический расчет паропроводов и конденсатопроводов.

Конструкции теплопроводов для подземной и надземной прокладки. Защита от коррозии. Трасса и профиль тепловой сети. Расчет теплотерь теплопроводами при надземной прокладке. Расчет теплотерь при бесканальной прокладке. Расчет теплотерь при прокладке теплопроводов в каналах. Расчет падения температуры теплоносителя. Механический расчет тепловых сетей. Компенсация температурных удлинений тепловых сетей. Конструкции компенсаторов. Расчет их компенсационной способности. Выбор типов компенсаторов. Подвижные и неподвижные опоры. Размещение компенсаторов и опор. Расчет усилий на опоры. Выбор опор.

Иерархизация построения, структурное и транспортное резервирование. Показатели надежности тепловых сетей.

Учет тепловой энергии и теплоносителя. Автоматизированные системы управления теплоснабжением.

Автоматизация ИТП открытых систем теплоснабжения. Автоматизация насосных станций и подстанций. Автоматизация подпиточных устройств. Защита от повышения давления сетевой воды.

Приемка, пуск и наладка тепловых сетей и тепловых пунктов. Эксплуатационные испытания сетей и оборудования.

Выбор и расчет водоподготовки для различных условий и схем систем теплоснабжения.

ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Теплотехника : учебник для студентов вузов/А. А. Александров [и др.] ; ред.: А. М. Архаров, В. Н. Афанасьев. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011
2. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пособие для вузов/ред. Б. М. Хрусталева, - 3-е изд., испр. и доп. - М. : АСВ, 2007.
3. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети : учебник для студентов вузов/Е. Я. Соколов. - 8-е изд., стер. - М. : МЭИ, 2006.
4. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пособие/Б. М. Хрусталева [и др.] ред. Б. М. Хрусталева. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Ассоциация строительных вузов, 2005.
5. Теплофикация и тепловые сети [Текст] : Учебник для вузов / Е.Я. Соколов. - 7-е изд., стереотип. - М. : МЭИ, 2001.
6. Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений : учебник для вузов/Е. Н. Бухаркин [и др.] ; ред. Ю. П. Соснин. - 3-е изд, испр. - М.: Высшая школа, 2009.
7. Надежность систем энергетики и их оборудования [Текст] : в 4-х т. / ред. Ю. Н. Руденко. - Справ. изд. - Новосибирск : Наука, 2000.
8. Протасевич А.М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха/ А.М. Протасевич. — М.:«Новое знание», 2012.
9. Курдинов А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях/ А.А. Курдинов, С.К. Зиганина. — М.:«Машиностроение», 2011.
10. Кушнырев В.И., Лебедев В.И., Павленко В.А. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник, -М: Стройиздат, 2009.

Дополнительная литература

11. Табунщиков, Ю.Л. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий Ю.А. Табунщиков, М.М. Броди. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. - 194 с.
12. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. — Евроклимат, 2003.
13. Беккер А. Системы вентиляции. М.: Техносфера, Евроклимат, 2005. пер. с нем. ISBN 5-94836-047-4.

14. Липовка, Ю. Л. Отопление: учебное пособие. ЛО. Л. Липовка. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т; Ин-т архитектуры и строительства, 2007. 137 с.

15. Липовка, Ю. Л. Термовлажностные и низкотемпературные теплотехнологические процессы и установки: учебное пособие / Ю. Л. Липовка, А. Ю. Липовка, В. А. Кулагин. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т; Политехн. ин-т, 2007. — 147 с.

16. Липовка, Ю. Л. Тепловые и гидравлические режимы теплофикационных вводов с неоднородной нагрузкой. Красноярск.: Изд-во кгу, 1991. 216 с.

17. Алгоритмы расчета элементов систем теплоснабжения [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Сиб. федер. ун-т, Инж.-строит. ин-т ; сост. Ю. Л. Липовка. - Электрон. текстовые дан. (pdf, 3,1 Мб). - Красноярск : СФУ, 2019. - 89 с. Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/LIB2/ELIB/u697/i-981169986.pdf>

18. Алгоритмы расчета систем отопления и вентиляции индивидуальных жилых зданий [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Сиб. федер. ун-т, Инж.-строит. ин-т ; сост. Ю. Л. Липовка. - Электрон. текстовые дан. (pdf, 3,2 Мб). - Красноярск : СФУ, 2019. - 103 с. - Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/LIB2/ELIB/u697/i-597438918.pdf>

Разработчик программы, д.т.н.

Липовка Ю.Л.