

Белорусский национальный технический университет
Факультет технологий управления и гуманитаризации
Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и
возобновляемые источники энергии»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой ЮНЕСКО
«Энергосбережение и возобнов-
ляемые источники энергии»

_____ В.Г.Баштовой
_____ 2019 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан ФТУГ

_____ Г.М.Бровка
_____ 2019 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УЧЕБНОЙ ДИС-
ЦИПЛИНЕ

«ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ»
для специальности

1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический ме-
неджмент»

Составители: Климович Сергей Викторович,
Янцевич Ирина Владимировна

Рассмотрено и утверждено
на заседании совета ФТУГ 17 января 2018 г., протокол № 4

Перечень материалов

1. Теоретический раздел
 - краткий план-конспект лекций
2. Практический раздел
 - лабораторно-практические работы
3. Раздел контроля знаний
 - контрольные вопросы к темам
 - примеры практических заданий к экзамену
 - вопросы к экзамену
4. Вспомогательный раздел
 - учебная программа по дисциплине
5. Приложение
 - справочные материалы
 - нормативные документы

Пояснительная записка

Целью ЭУМК «Энергопотребление в зданиях и сооружениях» предназначен для оказания помощи студентам в систематизация общих знаний студентов о зданиях и сооружениях, как потребителей энергии, освоение расчетно-методологической базы для решения прикладных инженерных задач в области рационального использования топливно-энергетических ресурсов.

Электронный учебно-методический комплекс предназначен для изучения дисциплины «Энергопотребление в зданиях и сооружениях» студентами специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент».

Материалы учебно-методического комплекса представлены в формате PDF. Учебные материалы структурированы по разделам. Предусматривается навигация по разделам, обеспечивающая возможность быстрого поиска требуемой информации.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК

Открытие ЭУМК производится посредством запуска файла ЭПвЗС.pdf. и папка Приложение ЭПвЗС

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ. КРАТКИЙ ПЛАН-КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

- 1 [ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ](#)
- 1.1 [Общие сведения о зданиях и сооружениях как потребителей энергии](#)
- 2 [ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ](#)
- 2.1 [Системы искусственного освещения: общие сведения](#)
- 2.2 [Источники света: основные параметры](#)
- 2.3 [Характеристика основных источников света](#)
- 2.4 [Выбор источников света](#)
- 2.5 [Световые приборы](#)
- 2.6 [Основы светотехнического расчета](#)
- 2.7 [Определение годового расхода электроэнергии на освещение](#)
- 2.8 [Экономия электроэнергии в системах освещения](#)
- 3 [МИКРОКЛИМАТ ЗДАНИЙ](#)
- 3.1 [Микроклимат помещений: основные понятия и определения](#)
- 3.2 [Тепловой, воздушный и влажностный режимы помещений](#)
- 3.3 [Выбор расчетных условий](#)
- 3.4 [Расчет термически однородного ограждения \(одномерная стационарная теплопередача\)](#)
- 3.5 [Определение расчетной поверхности ограждений](#)
- 3.6 [Расчет полов на грунте и стен, углубленных в землю](#)
- 3.7 [Приведенное сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов](#)
- 3.8 [Требуемое сопротивление теплопередаче ограждений](#)
- 3.9 [Нормативное сопротивление теплопередаче ограждений](#)
- 3.10 [Защита внутренней поверхности ограждений от конденсации влаги](#)
- 3.11 [Тепловлажностный расчет многослойных ограждений](#)
- 3.12 [Защита толщи ограждений от внутренней конденсации влаги](#)
- 3.13 [Трансмиссионные тепловые потери](#)
- 3.14 [Тепловые потери с воздухообменом](#)
- 3.15 [Тепловые нагрузки отопления гражданского здания](#)
- 3.16 [Удельный годовой расход на отопление зданий. Расчет по укрупненным показателям](#)
- 3.17 [Система отопления: общие сведения](#)

- 3.18 [Водяная система отопления](#)
- 3.19 [Отопительные приборы](#)
- 3.20 [Водяная система отопления](#)
- 3.21 [Отопительные приборы](#)
- 3.22 [Тепловой расчет отопительных приборов водяной систем водяного отопления](#)
- 3.23 [Система вентиляции: общие сведения](#)
- 3.24 [Расчет воздухообмена. Тепловые нагрузки вентиляции](#)
- 3.25 [Кондиционирование воздуха: общие сведения](#)
- 4 [ВОДОСНАБЖЕНИЕ И КАНАЛИЗАЦИЯ](#)
- 4.1 [Горячее водоснабжение. Тепловые нагрузки](#)
- 4.2 [Система водоотведения \(канализация\) зданий](#)
- 5 [ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ](#)
- 5.1 [Методологическая и инструментальная база проведения энергетического обследования зданий в Республике Беларусь](#)
- 5.2 [Энергетический паспорт здания](#)
- 5.3 [Показатели энергоэффективности зданий](#)
- 5.4 [Действия энергоаудитора](#)

[ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ](#)

[Лабораторная работа № 1. Исследование эффективности работы оборудования тепловых пунктов жилых и общественных зданий](#)

[Лабораторная работа № 2. Исследование эффективности работы отопительного прибора](#)

[Лабораторная работа № 3. Исследование эффективности теплоизоляции тепловых сетей](#)

[Лабораторная работа № 4. Исследование работы естественной системы вытяжной вентиляции](#)

[Лабораторная работа № 5. Энергоэффективные технологии в системах вентиляции жилых зданий](#)

[Лабораторная работа № 6. Определение эффективности работы газовой плиты](#)

[Лабораторная работа № 7. Исследование сравнительных характеристик электрических источников света](#)

[ПРИЛОЖЕНИЯ](#)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ](#)

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

- контрольные вопросы к темам
- примеры практических заданий к экзамену
- вопросы к экзамену

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

- учебную программу по дисциплине
- справочные материалы
- нормативные документы

ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ Общие сведения о зданиях и сооружениях как потребителей энергии

Сооружения – объекты, искусственно возведенные человеком для удовлетворения материальных и духовных потребностей общества.

По геометрическому признаку различают сооружения объемные, площадочные и линейные. Сооружения, расположенные выше планировочной отметки территории, называют надземными; на планировочной отметке – наземными (дороги, трубопроводы); ниже планировочной отметки – подземными (подвалы, хранилища), к ним относятся и глубинные сооружения (скважины, колодцы).

Здание – строительное сооружение, состоящее (по мере необходимости) из наземной и подземной частей, с помещениями для проживания и (или) деятельности людей, размещения производств, хранения продукции или содержания животных.

По основным признакам здания подразделяются:

1) *По назначению* – на жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные и складские.

Жилые здания предназначены для постоянного (жилые дома) и временного (общежития, гостиницы) проживания людей.

Общественные здания предназначены для социального обслуживания населения и для размещения административных учреждений и общественных организаций.

Часто жилые и общественные здания называют гражданскими зданиями.

2) *По роду материалов, используемых для строительства* – на деревянные, каменные (кирпичные, бетонные и железобетонные) и смешанные.

3) *По долговечности* – на 3 степени: I (срок службы более 100 лет); II (от 50 до 100 лет); III (от 20 до 50 лет). Здания со сроком предполагаемой эксплуатации до 20 лет относят к разряду временных сооружений.

Долговечность здания подразумевает сохранение длительное время прочности (восприятие воздействий без разрушения и существенных остаточных деформаций) и устойчивости (сохранение равновесия при внешних воздействиях).

4) *По огнестойкости* – на 5 степеней: I, II, III (каменные здания), IV (деревянные оштукатуренные здания), V (деревянные нештукатуренные здания).

Огнестойкость характеризуется способностью строительных элементов и конструкций здания сохранять несущую способность, а также сопротивляться распространению огня.

5) *По этажности* – гражданские здания на одноэтажные, малоэтажные (2-4 этажа), средней этажности (5-12 этажей), высотные (более 12 этажей); промышленные здания – на одноэтажные и многоэтажные.

Этажи в здании бывают надземными (при отметке пола помещений не ниже отметки земли), цокольными (отметка пола ниже отметки земли, но не более чем на половину высоты помещения), подвальными (отметка пола ниже отметки земли более чем на половину высоты помещения), мансардными (в объеме чердака), техническими (для размещения инженерного оборудования и прокладки коммуникаций). При определении числа этажей учитывают только надземные этажи.

6) *По капитальности* (по совокупности требований, касающихся степени долговечности, огнестойкости и других эксплуатационных качеств) – на четыре класса:

I – крупные промышленные и общественные здания, жилые дома в 9 этажей и более с повышенными эксплуатационными и архитектурными требованиями (долговечность и огнестойкость не ниже I степени);

II – большинство небольших промышленных и общественных зданий, жилые дома до 9 этажей (долговечность и огнестойкость не ниже II степени)

III – здания со средними эксплуатационными и архитектурными требованиями, жилые дома до 5 этажей (долговечность не ниже II степени, огнестойкостью не ниже III и IV степеней);

IV – одноэтажные здания с минимальными эксплуатационными и архитектурными требованиями (долговечность не ниже III степени, огнестойкость не нормируется).

В любом здании условно выделяются три группы взаимно связанных элементов: объемнопланировочные – крупные части, на которые можно расчленить весь объем здания (подвал, этаж, лестничная клетка, чердак, отдельные помещения и так далее); конструк-

тивные – части здания, имеющие определенное назначение и определяющие его структуру (фундаменты, стены, перекрытия и так далее); строительные изделия, из которых состоят конструктивные элементы.

По назначению все конструктивные элементы зданий подразделяют на несущие, ограждающие и конструкции, одновременно совмещающие несущие и ограждающие функции.

Несущие элементы воспринимают вертикальные и горизонтальные силовые нагрузки, к которым относят нагрузки от собственной массы элементов здания (постоянные нагрузки), массы оборудования, людей, снега, нагрузки от действия ветра (временные) и особые нагрузки (например, сейсмические).

Ограждающие элементы предназначены для изоляции одного помещения от другого или защиты здания от воздействий внешней среды (температура, атмосферная и грунтовая влага, движение воздуха, солнечная радиация, агрессивные химические примеси, биологические воздействия, шум).

К основным конструктивным элементам зданий относят: фундаменты, стены, отдельные опоры, перекрытия, перегородки, крышу, окна, фонари, двери, ворота (рисунок 1).

Фундаменты – подземные конструкции, воспринимающие нагрузки от здания, передающие и распределяющие их на грунт.

Стены – вертикальные конструкции, опирающиеся на фундамент и отделяющие помещения от внешнего пространства (наружные стены) или от других помещений (внутренние стены).

Отдельные опоры – отдельно стоящие вертикальные стойки (столбы или колонны), предназначенные для передачи нагрузки от перекрытий, крыши непосредственно на фундаменты.

Перекрытия – внутренние горизонтальные конструкции, разделяющие по высоте смежные помещения в здании. Различают перекрытия: подвальные, отделяющие первый этаж от подвала; междуэтажные, разделяющие смежные по высоте этажи; чердачные, отделяющие верхний этаж от чердака.

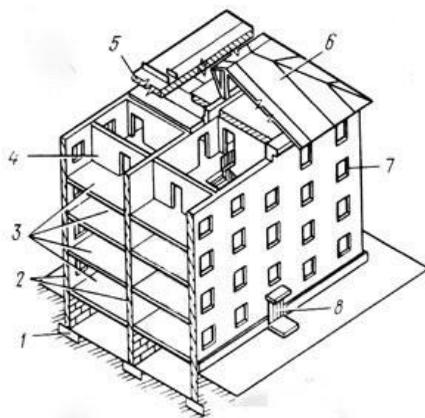


Рисунок 1 - Основные конструктивные элементы зданий: 1 – фундамент; 2 – стены; 3 – перекрытия; 4 – перегородки; 5 – бесчердачная крыша (вариант); 6 – чердачная крыша; 7 – окно; 8 – дверь

Перегородки – тонкие стены, предназначенные для разделения внутреннего пространства, не несущие никаких весовых нагрузок, кроме собственных, и опирающиеся на перекрытия.

Крыша – верхнее ограждение здания, защищающее его от атмосферных воздействий и ветра. Различают крыши: чердачную когда между перекрытием верхнего этажа и крышей образуется свободное пространство, называемое чердаком, и *совмещенную* (бесчердачное покрытие), когда перекрытие верхнего этажа и крыша объединены в одну конструкцию. Верхняя водонепроницаемая оболочка крыши называется *кровлей*. Крыша вместе с чердачным перекрытием образует *покрытие* здания.

Окна предназначены для естественного освещения и проветривания (вентиляции) помещений.

Фонари – специальные остекленные конструкции, устраиваемые в покрытии для освещения и проветривания помещений (если этого нельзя сделать посредством окон). Фонари в основном применяют в одноэтажных промышленных зданиях.

Двери (ворота) служат для сообщения между смежными помещениями или между помещениями и наружным пространством.

Основные несущие элементы здания – фундаменты, стены, отдельные опоры, перекрытия – соединяясь в пространстве друг с

другом, образуют несущий остов здания, обеспечивающий его прочность и устойчивость.

В здание могут входить дополнительные элементы: лестницы, балконы, лоджии, эркеры и так далее.

Лестницы служат для сообщения между этажами. Располагают их в лестничных клетках. Лестницы состоят из лестничных площадок и лестничных маршей со ступенями.

Балкон – открытая сверху площадка с ограждениями, выступающая за плоскость наружной стены. *Лоджия* – ниша с дверными, оконными проемами, углубленная на фасаде гражданского здания и открытая обычно на высоту этажа. *Эркер* – застекленный или имеющий много окон выступ здания.

Степень благоустройства зданий (качества среды) определяется совокупностью пяти взаимосвязанных факторов:

- 1) Организованное пространство;
- 2) Зрительное восприятие и видимость;
- 3) Акустический режим;
- 4) Состояние воздушной среды (микроклимат) и ограждающих поверхностей;
- 5) Световая обстановка в помещении.

Жизнедеятельность людей в зданиях обеспечивается соответствующим инженерным оборудованием: системами энергоснабжения (газо- и электроснабжения), отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, водоснабжения и водоотведения, искусственного освещения, вертикальным транспортом (лифты, подъемники, эскалаторы). В чрезвычайных условиях могут быть задействованы системы пожаротушения и дымоудаления.

2. ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ Системы искусственного освещения: общие сведения

Для обеспечения нормальных условий жизнедеятельности человека в любое время суток используют *искусственное (электрическое) освещение*, которое подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное:

➔ *Рабочее освещение* – освещение, обеспечивающее нормируемые осветительные условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

→ *Аварийное освещение* – освещение, позволяющее продолжать работу (освещение безопасности, резервное освещение) или обеспечивать эвакуацию людей (эвакуационное освещение) при аварийном отключении рабочего освещения.

→ *Охранное освещение* – освещение, предусматриваемое вдоль границ охраняемой территории при отсутствии специальных технических средств охраны.

→ *Дежурное освещение* – энергосберегающее освещение, используемое в нерабочее время.

По характеру размещения светильников и распределению освещенности искусственное освещение может быть двух систем: общее и комбинированное.

Общее освещение – освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение).

Комбинированное освещение – освещение, при котором к общему освещению добавляется местное, то есть создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочем месте.

Искусственное освещение, за исключением дежурного, нормируется по области применения, величине освещенности и требованиям по качеству. Требования к устройству и нормируемые показатели освещения зданий и сооружений в Республике Беларусь содержатся в ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение».

Одним из основных показателей, определяющих нормируемые показатели освещения, является *разряд зрительных работ*. Основным признаком разрядов зрительных работ служит размер различаемых деталей: I – наивысшей точности (различение деталей менее 0,15 мм), II – очень высокой точности (от 0,15 до 0,30 мм), III – высокой точности (от 0,30 до 0,50 мм), IV – средней точности (от 0,50 до 1 мм), V – малой точности (от 1 до 5 мм), VI – очень малой точности (более 5 мм).

Основным элементом системы электрического освещения является *осветительная установка*, состоящая из комплекса следую-

ших технических средств: искусственный источник света (ИС), световой прибор (СП), аппаратура управления освещением.

2.2. Источники света: основные параметры

Искусственный источник света (ИС) – устройство, предназначенное для превращения какого-либо вида энергии в оптическое излучение.

Параметры ИС условно можно разделить на две основные группы: технические (физические) и эксплуатационные. *Технические параметры* характеризуют излучение (световой поток, сила света, яркость, спектр излучаемого света, цветовая температура, цветопередача), электрический режим (мощность, напряжение, род и сила тока и т.д.) и конструктивные особенности (габаритные размеры, размер излучающего тела, тип цоколя и т.д.). К числу наиболее важных *эксплуатационных параметров* источников света относят эффективность (КПД источника, световая отдача, уменьшение светового потока в процессе эксплуатации) и надежность.

Номинальные параметры – значения параметров, при которых ИС должны работать и которые они должны иметь при заданных условиях эксплуатации.

Коэффициент запаса K_z – коэффициент, учитывающий снижение освещенности в процессе эксплуатации осветительной установки. Нормированные значения освещенности должны быть обеспечены в течение всего периода эксплуатации осветительной установки. Из-за старения и загрязнения источников света, светильников и поверхностей помещения уровень освещенности со временем снижается. Поэтому начальная освещенность должна быть несколько больше нормированной, что достигается введением K_z , значения которого регламентированы ТКП 45-2.04-153-2009. В зависимости от типа источников света и светильников, наличия пыли и других загрязнений в помещении, способе обслуживания и длительности эксплуатации K_z принимается в пределах 1,4-1,7.

Эффективность источника света, в целом, характеризуется комбинацией следующих параметров:

- ✓ Светоотдача
- ✓ Цветовая температура

- ✓ Индекс цветопередачи
- ✓ Срок службы

Светоотдача H – технический параметр, показывающий количество излучаемого светового потока на единицу электрической мощности источника света, лм/Вт:

$$H = \frac{\Phi}{P}, \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}.$$

Светоотдача характеризует энергетическую эффективность источника света.

Цветовая температура T_c – температура, при которой излучение абсолютно черного тела имеет цветность, совпадающую с данной, К. Чем большее значение имеет этот показатель, тем более близок к естественному цвет излучаемого источником света. Существуют три главные цветности света: тепло-белая ($T_c < 3300$ К), нейтрально-белая ($T_c = 3300-5000$ К) и белая дневного света ($T_c > 5000$ К).

Индекс цветопередачи Ra – коэффициент, который показывает соответствие зрительного восприятия цветного объекта, освещенного исследуемым и эталонным источниками света при определенных условиях наблюдения.

Индекс цветопередачи определяется спектральным составом излучаемого света и показывает, насколько натурально выглядят цвета предметов при освещении данным источником света (чем выше Ra , тем естественнее цветовая гамма предметов).

Максимальное значение Ra составляет 100. Источники света, имеющие $Ra = 90-100$, обладают очень хорошей цветопередачей, а уровень $Ra \leq 50$ соответствует слабой цветопередаче.

Различные спектры излучения, несмотря на одинаковую цветность, вызывают различное восприятие цвета. Источники света с высоким индексом (90 и больше) передают все цвета натурально, при низком индексе цвета воспринимаются искаженно, например, красные воспринимаются как оранжевые, зеленые как желтые.

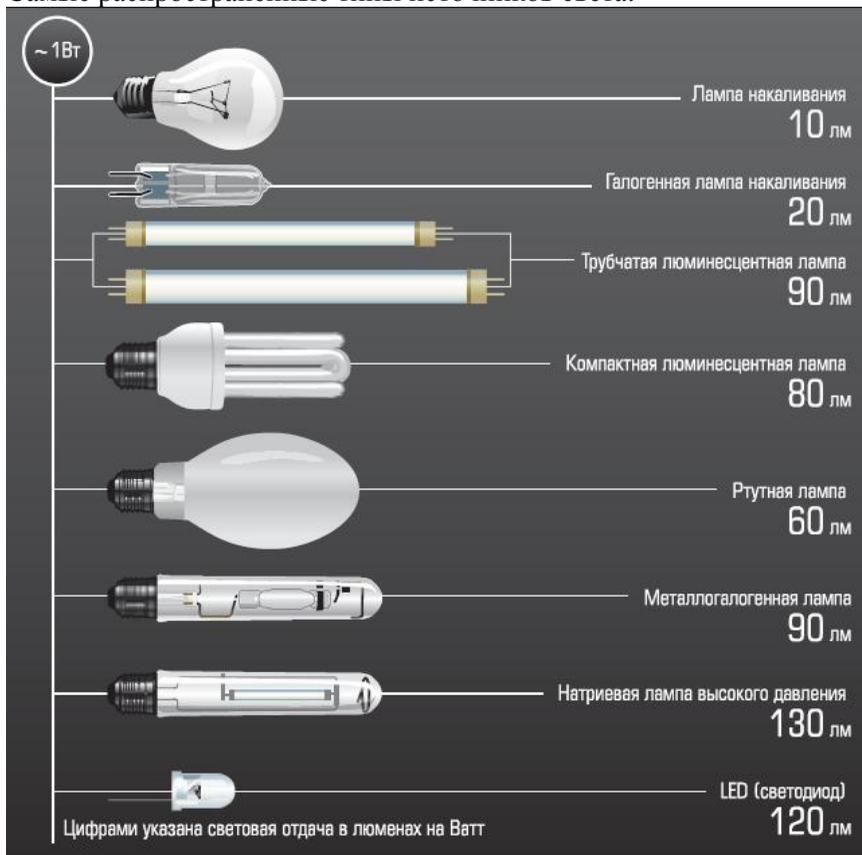
Срок службы: различают полный срок службы (до перегорания источника света), полезный срок службы (до момента выхода одного из параметров за допустимые пределы) и минимальную продолжительность горения, которая определяется с учетом вероятности безотказной работы лампы в течение заданного времени.

По физической природе различают два вида оптического излучения: тепловое и люминесцентное.

Соответственно, существующие источники света принципиально различаются по способу получения оптического излучения. В одних для этой цели используется нагревание тел (лампы накаливания), а в других оптическое излучение генерируется электрическим разрядом в определенной среде и люминесценции (газоразрядные лампы) или в полупроводниках (светодиоды).

2.3. Характеристика основных источников света

Самые распространенные типы источников света:



◆ Лампы накаливания общего назначения (ЛН)

Лампа накаливания состоит из стеклянной колбы, внутри которой на крючках закреплена вольфрамовая нить. Напряжение к нити подводится двумя электродами, один из которых соединен с центральной частью, а другой – с резьбой цоколя. При прохождении электрического тока нить раскаляется и излучает свет.



Вольфрам является тугоплавким металлом (температура плавления около 3600 К), обладает достаточно высокой пластичностью и низкой скоростью испарения. Под влиянием высокой температуры происходит интенсивное испарение вольфрамового тела накала. Нить накала становится тоньше, испарившиеся частицы вольфрама оседают на внутренней поверхности колбы, вызывая ее потемнение, при этом снижается световой поток и в конечном итоге лампа перегорает. Поэтому температура тела накала имеет значение ниже температуры плавления металла и поддерживается в диапазоне 2400-2900 К.

Для уменьшения распыления вольфрама и теплоотдачи уменьшают размеры нити, сворачивая ее в плотную винтовую спираль (моноспираль), а затем в биспираль (спираль, навитую из спирали).

Лампы накаливания общего назначения могут быть *вакуумными* (вакуум препятствует окислению раскаленной нити накала) и *газонаполненными* (колбы наполняют аргон-азотной или криптон-ксеноновой смесью при давлении, близком к атмосферному).

В *маркировке* ламп накаливания общего назначения:

- первый элемент (от одной до четырех букв) характеризует физические и конструктивные особенности ламп (В – вакуумная моноспиральная, Г – газонаполненная аргоновая, Б – аргоновая биспиральная, БК – биспиральная криптоновая, МТ – в матированной колбе, МЛ – в колбе молочного цвета, О – в опаловой колбе);

- второй элемент (от одной до двух букв) определяет назначение ламп; первая и вторая цифры – диапазон напряжения в В; третья – мощность в Вт.

Например: Б215-225-60; БК125-135-100; Г230-240-500.

Достоинства ламп накаливания общего назначения: невысокая стоимость; удобство и простота эксплуатации; широкий типоряд на

разные напряжения (12-230 В) и мощности (до 1500 Вт); возможность работы как на переменном, так и постоянном токе; отсутствие пульсации светового потока (среднее значение составляет около 7%); нечувствительность к изменениям условий внешней среды, в том числе и температуры; отсутствие специальных устройств для зажигания.

Недостатки ламп накаливания общего назначения:

- ✓ Крайне низкий КПД – до 5% (предельное теоретическое значение КПД лампы накаливания 14,5%);
- ✓ Самая низкая светоотдача (не более 20 лм/Вт);
- ✓ Самый короткий срок службы (1000 ч), снижается при их не вертикальном положении;
- ✓ Плохая цветопередача: в излучение преобладают красно-желтые цвета, а по цветности оно более желтое по сравнению с естественным дневным светом ($T_c = 2400-2700$ К);
- ✓ Высокая чувствительность к колебаниям подводимого напряжения;
- ✓ Недостаточная механическая прочность.

◆ Галогенные лампы накаливания (ГЛН)

Галогенные лампы накаливания – это усовершенствованные лампы накаливания, в колбу которых добавлен галоген (обычно йод), за счет чего в них осуществляется вольфрамо-галогенный цикл. Назначение цикла – предотвращение почернений колбы под действием испарившегося с тела накала вольфрама, т. е. сохранение ее прозрачности на протяжении всего срока горения лампы, а также регенерация вольфрамовой спирали (испарившиеся частицы вольфрама под действием галогена возвращаются обратно на спираль). Хотя благодаря галогенному циклу общая масса вольфрамового тела накала остается практически постоянной в процессе горения, нить лампы с течением времени в одних местах утоньшается, а в других – утолщается, т. е. процесс перегорания галогенных ламп подобен этому процессу в лампах накаливания общего назначения.

Колба галогенной лампы накаливания выполняется из жаропрочного кварцевого стекла и имеет значительно меньшие габариты по сравнению с обычной лампой накаливания. Малые габариты



гарантируют прочность, достаточную для того, чтобы создавать более высокое давление газа, что замедляет испарение вольфрама.

В *условном обозначении* типов галогенных ламп буквы и числа означают: первая буква – материал колбы (К – кварцевая), вторая – галогенную добавку (Г – галоген), третья и последующие буквы – область применения или конструктивную особенность, первое число – напряжение в В, второе – мощность в Вт и третье – порядковый номер разработки. Например, КГ220-1000-5.

Галогенным лампам накаливания присущи достоинства и недостатки, характерные для ламп накаливания общего назначения. Вместе с тем, их особенности:

- ✓ Более высокая светоотдача (до 26 лм/Вт);
- ✓ Более высокий срок службы (до 2000-4000 ч), не зависящий от положения горения;
- ✓ Очень высокая цветопередача ($Ra = 90-100$): свет более белый, чем у обычных ламп накаливания ($T_c = 3000$ К);
- ✓ Постоянный в течение всего срока службы световой поток;
- ✓ Высокая прочность и исключительная компактность;
- ✓ Колбы современных галогенных ламп накаливания выполняются из стекла, поглощающего ультрафиолетовую составляющую.
- ✓ Галогенные лампы нельзя трогать руками, так как колбы сделаны из плавленого кварца, который кристаллизуется под действием жира, остающегося на поверхности лампы при прикосновении. Это приводит к разрушению колбы и перегоранию лампы.

Важно запомнить: согласно ТКП 45-2.04-153-2009 для ламп накаливания устанавливаются пониженные нормы освещенности, а табличные значения коэффициентов запаса умножаются на 0,85 – исходя из необходимости экономии электроэнергии.

Газоразрядные лампы, прежде всего, классифицируют по давлению внутри разрядной трубки:

- ✓ газоразрядные лампы низкого давления *ГЛНД* (0,1–25 кПа): люминесцентные, компактные люминесцентные, бактерицидные, эритемные, натриевые лампы низкого давления, индукционные;
- ✓ газоразрядные лампы высокого давления *ГЛВД* (25–1000 кПа): дуговые ртутные люминесцентные, дуговые ртутно-

вольфрамовые, металлогалогенные, натриевые лампы высокого давления;

✓ газоразрядные лампы сверхвысокого давления *ГЛСВД* (более 1000 кПа): ртутные с шарообразной колбой, ксеноновые трубчатые, ксеноновые с шарообразной колбой.

У газоразрядных ламп светоотдача намного выше, чем у ламп накаливания и галогенных ламп, и служат они значительно дольше. При больших начальных затратах такие лампы окажутся экономичнее в процессе эксплуатации, особенно при росте цен на электроэнергию.

Вместе с тем, газоразрядные лампы обладают рядом существенных недостатков, обусловленных принципом действия данных источников света:

✓ для зажигания и горения ламп необходимо последовательное включение пускорегулирующих аппаратов (ПРА), усложняющих и удорожающих осветительную установку и приводящих к дополнительным потерям мощности;

✓ наличие ртути в большинстве видов ламп требует использования защитных светильников и централизованной утилизации;

✓ заметное влияние отклонения напряжения на режим работы: при напряжении ниже 90% номинального не обеспечивается устойчивое зажигание ламп;

✓ газоразрядные лампы являются источниками высших гармоник тока и незначительных радиопомех, что неблагоприятно сказывается на режимах электрической сети;

✓ газоразрядные лампы потребляют реактивную мощность;

✓ при питании переменным током лампы дают световой поток, пульсирующий с удвоенной частотой тока, что вызывает повышенную утомляемость глаз и может приводить к возникновению стробоскопического эффекта, что крайне вредно для зрения и может служить причиной травматизма в производственных условиях;

Стробоскопический эффект – явление искажения зрительного восприятия вращающихся, движущихся или сменяющихся объектов в мелькающем свете, возникающее при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока газоразрядных ламп, питаемых переменным током.

✓ Для газоразрядных ламп характерно продолжительное время зажигания как из холодного, так и горячего состояния.

Рассмотрим виды газоразрядных лампы, получившие наибольшее распространение.

◆ Люминесцентная лампа (ЛЛ)

Газоразрядная лампа низкого давления представляет собой запаянную с обоих концов стеклянную трубку, наполненную аргоном при давлении 400 Па с добавлением капельки ртути (60-120 мг). Внутренняя поверхность трубки покрыта люминофором.

Внутри на концах трубки впаяны электроды с вольфрамовой биспиральной нитью, покрытой слоем оксидов щелочноземельных металлов (бария, кальция, стронция), способствующих более интенсивному излучению электронов. При подведении к электродам напряжения, в газовой среде лампы возникает электрический разряд, под действием которого ртуть испаряется. Добавление аргона в трубку предохраняет электроды от разрушения, способствует лучшему зажиганию и повышению светоотдачи лампы.



Люминесцентные лампы основаны на двойном преобразовании энергии: превращении электрической энергии в ультрафиолетовое излучение паров ртути (электр люминесценция) и ультрафиолетового излучения в видимое при поглощении люминофором (фотолюминесценция).

Цвет излучаемого света определяется выбором и качеством люминофора. В настоящее время используют следующие порошкообразные кристаллические люминофоры: вольфраматы кальция и магния, силикат цинка, борат кадмия и прочие.

В условном обозначении люминесцентных ламп: первая буква (Л) характеризует принадлежность лампы к данному виду, следующие буквы означают либо цвет излучения либо особенности спектра излучения: Д – дневная, Е – естественная, ХБ – холодно-белая, Б – белая, ТБ – тепло-белая (наиболее близка по цветности к ЛН); К, Ж, Р, З, Г – соответственно красная, желтая, розовая, зеленая, голу-

бая; Ц – с улучшенной цветопередачей. Далее следуют буквы, обозначающие конструктивные особенности ламп (А – амальгамная, Б – быстрого пуска, К – кольцевая, Р – рефлекторная, Щ – щелевая, U-образная). Число после букв – номинальная мощность в ваттах, а следующее число – отличительную особенность лампы по сравнению с базовой моделью. Например, ЛД40-1; ЛХБ40-1; ЛТБ80; ЛБ65-1; ЛДЦ80.

Цветовая температура и индекс цветопередачи для основных видов люминесцентных ламп приведены в таблице:

Тип ЛЛ	T _c , К	Ra
ЛД	6400	70
ЛДЦ	6200	90
ЛБ	3450	57
ЛТБ	2950	65
ЛТБЦ	2800	83
ЛХБ	4200	62
ЛЕЦ	3900	85
ЛХЕ, ЛХЕЦ	5200	93

Люминесцентные лампы совершенствуются в направлении уменьшения габаритных размеров и содержания ртути, повышения светоотдачи. На смену трубчатым люминесцентным лампам с диаметром колбы 38 мм (международная маркировка T12) пришли энергоэкономичные лампы с диаметром колбы 26 мм (T8, мощность 18, 36, 58 Вт - понижена на 10% по сравнению со стандартными лампами T12 при сохранении тех же светотехнических характеристик) и 16 мм (T5, более высокая светоотдача до 104 лм/Вт и срок службы до 16 тыс. ч при пониженном содержании ртути – 3 мг).

Разновидностью люминесцентных ламп являются *компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)*, работающие по тому же принципу, но имеют другое конструктивное исполнение:



Компактные люминесцентные лампы типа КЛС предназначены для непосредственной замены малоэффективных ламп накаливания и снабжены стандартными винтовыми цоколями E14, E27, имеют мощность от 5 до 57 Вт, светоотдачу до 75 лм/Вт и срок службы от 6 до 12 тыс. ч.

Кроме общих для всех газоразрядных ламп недостатков, перечисленных выше, люминесцентные лампы имеют присущие им недостатки:

- ✓ Малый типоряд мощностей и для трубчатых люминесцентных ламп – относительно большие габариты;
- ✓ Сильная зависимость режима работы от окружающей среды: при температуре ниже +5°C (то есть для наружного освещения) их использование неэффективно;
- ✓ Лампы сильно чувствительны к частым включениям и выключениям (разрушаются электроды).

◆ Дуговая ртутная люминесцентная лампа (ДРЛ)

Газоразрядная лампа высокого давления состоит из кварцевой трубки (горелки), расположенной в стеклянной колбе, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора. В трубку впаяны два основных вольфрамовых электрода, покрытых активированным слоем и подсоединенных к центральной части цоколя лампы, и два дополнительных электрода (зажигающих). В трубке имеется капля ртути (25-165 мг). После откачки воздуха для поддержания стабильности свойств люминофора колба заполняется чистым инертным газом (аргоном).



При подаче напряжения к электродам лампы в трубке возникает электрический разряд, сопровождающийся ультрафиолетовым из-

лучением ртутных паров с синеватым оттенком. Указанное излучение, воздействуя на люминофор, вызывает его свечение, имеющее красный цвет. Суммарный цвет светового излучения лампы складывается из излучений ртутного разряда и люминофора, приближаясь к белому.

Благодаря наличию внешней колбы, светотехнические характеристики лампы типа ДРЛ практически не чувствительны к температуре окружающего воздуха в отличие от ЛЛ. Они надежно работают при температуре окружающего воздуха от -30 до $+40^{\circ}\text{C}$.

Лампы ДРЛ выпускаются в пределах мощностей 80-2000 Вт и имеют световую отдачу 40-60 лм/Вт, причем световая отдача возрастает с увеличением единичной мощности. Срок службы ламп равен 12–20 тыс. ч, к концу этого срока световой поток снижается до 70% от первоначального.

При эксплуатации осветительных установок допускается любое положение ламп типа ДРЛ. Однако при горизонтальном положении имеет место некоторое снижение мощности, световой отдачи и срока службы лампы.

Преимуществом ламп ДРЛ по сравнению с ЛЛ является их компактность при высокой единичной мощности, существенным недостатком - плохая цветопередача их излучения, позволяющая применять лампы ДРЛ только при отсутствии каких-либо требований к различению цветов ($T_c = 3800 \text{ K}$, $Ra = 42$), а также значительные пульсации светового потока (коэффициент пульсации 63-74%). Процесс разгорания ламп после включения длится 5-7 мин. В случае хотя бы мгновенного перерыва питания лампы гаснут и начинают вновь разгораться только после остывания, когда пары ртути сконденсируются и давление в разрядной трубке упадет до первоначального значения (в течение примерно 10 мин). Как и люминесцентные лампы, они надежно работают только при напряжении не менее 90% от номинального. При зрительных работах высокой точности применение их нежелательно.

В маркировке ламп буквы и числа обозначают: ДР – дуговая ртутная, Л – люминесцентная, первое число – номинальная мощность в ваттах, в скобках указывается так называемое красное отношение, в процентах – доля излучения в красной части спектра в общем потоке излучения, через дефис – номер разработки. Например, ДРЛ 250(6)-4; ДРЛ 400(10)-3, ДРЛ 2000(12)-3, ДРЛ 125(15).

Лампы типа ДРЛ с красным отношением 6% рекомендуется использовать для освещения улиц и автострад, 10% – для наружного и внутреннего освещения промышленных объектов с высоким уровнем зрительных работ, 12% и более – для внутреннего освещения промышленных предприятий, 15% – при выполнении работ, требующих повышенного цветоразличения.

◆ Дуговая ртутная с излучающими добавками (ДРИ)

Газоразрядная лампа высокого давления, по типу – металлогалогенная лампа. По устройству лампы ДРИ практически идентичны лампам ДРЛ. В качестве внешней колбы применяется либо стандартная колба лампы ДРЛ без люминофора (в типе лампы указана модификация 5), либо колба цилиндрической формы (модификация 6). Лампы модификации 5 предназначены для работы в любом положении, а модификации 6 – преимущественно в горизонтальном.

В лампах ДРИ в разрядную трубку помимо ртути и аргона дополнительно вводят галоидные соединения различных металлов (обычно с йодом, так как иодиды металлов практически не взаимодействуют с кварцевым стеклом).

Эти соединения в горячей зоне распадаются на атомы йода и металла. Из горячей зоны они перемещаются в холодную к стенкам и воссоединяются в первоначальное состояние. Таким образом, в лампе осуществляется замкнутый цикл.



Излучаемый свет зависит от используемого металла, что позволяет отказаться от люминофора. Например, введение иодида таллия дает зеленоватый цвет, натрия – желтоватый цвет, а индия – голубоватый оттенок света. В лампах типа ДРИ в качестве галогенидов широко используются иодиды натрия.

Лампы ДРИ имеют световую отдачу до 90 лм/Вт, дают достаточно белый свет ($T_c = 4200$ К), внешне отличаются от ламп ДРЛ только отсутствием люминофора на колбе и улучшенной цветопередачей ($Ra = 60$). Пульсации светового потока значительно меньше (коэффициент пульсации 30%), и разгораются лампы ДРИ несколько быстрее, чем лампы ДРЛ.

В маркировке ламп буквы и числа обозначают: ДР – дуговая ртутная, И – излучающие добавки, число – номинальная мощность в ваттах, через дефис – модификация (5 или 6). Например, ДРИ 125; ДРИ250-5; ДРИ1000-6.

Помимо ПРА, для включения ламп типа ДРИ необходимо импульсное зажигающее устройство (ИЗУ), генерирующее импульсы высокого напряжения.

◆ Дуговая натриевая трубчатая лампа (ДНАТ)

Газоразрядная лампа высокого давления представляют собой горелку из светопропускающей поликристаллической керамики (окись алюминия), полость которой заполнена ксеноном с добавками натрия, придающего излучаемому свету желто-оранжевый оттенок, и ртути в виде амальгамы (амальгама – металлическая система, в состав которой в качестве одного из компонентов входит ртуть). Горелка размещена в колбе, которая имеет



цилиндрическую или эллиптическую форму и оснащена резьбовым цоколем. При работе лампы дуговой разряд в горелке осуществляется в парах ртути и натрия, что способствует его стабилизации.

Для откачки воздуха и наполнения ламп инертными газами в процессе изготовления используется штенгель. Во время работы лампы он выполняет роль вакуумно-плотного токоввода и держателя электрода, а его наружная часть служит холодной зоной, которая является резервуаром амальгамы натрия. Штенгель представляет собой бесшовную трубочку из ниобия, конец которой, входящий внутрь лампы, имеет специальную форму для крепления электрода.

Натриевые лампы высокого давления малочувствительны к температуре окружающей среды и работоспособны при ее изменении в диапазоне от -60 до $+40^{\circ}\text{C}$. Колебания напряжения электрической сети существенно сказываются на световых и электрических параметрах натриевых ламп. Кроме того, эти лампы требуют соблюдения установленного положения горения: цоколем вверх или вниз с

нормированным отклонением от вертикального положения. Лампы данного типа имеют продолжительное время зажигания как из горячего, так и из холодного состояния.

Световая отдача ламп достигает 140 лм/Вт при сроке службы до 20 000 ч. Цветовые характеристики натриевых ламп высокого давления относительно невысокие: лампа излучает свет желто-оранжевого цвета ($T_c = 2000$ К) и обладает плохой цветопередачей ($Ra - 20-30$). Пульсации светового потока достигают 70%.

Помимо ПРА, для включения ламп типа ДНаТ необходимо импульсное зажигающее устройство (ИЗУ), генерирующее импульсы высокого напряжения (2-3 кВ).

В маркировке ламп буквы и числа обозначают: Д – дуговая, На – натриевая, Т – трубчатая, число – номинальная мощность в ваттах, через дефис – номер разработки. Например, ДНаТ100; ДНаТ150; ДНаТ400-1.

◆ Светодиоды

Светоизлучающий диод (далее светодиод) – это полупроводниковый прибор, основанный на *p-n*-переходе и предназначенный для излучения света в видимом диапазоне. Для этого подбираются полупроводниковые материалы, в которых рекомбинация (взаимодействие дырок и электронов) носит не тепловой, а излучательный характер.

Выпускаемые светодиоды состоят из кристалла полупроводника, заключенного в линзу из полимерного материала, что обеспечивает минимум потерь излучения при выходе во внешнюю среду и фокусирование света в заданном телесном угле. Линза фокусирует свет кристалла и защищает кристалл от влаги и коррозии. Присоединение контакта к аноду обычно осуществляется с помощью пайки либо электропроводящего клея. Контакт к катоду выполняется с помощью тонкой золотой проволоки. В светодиодах, рассчитанных на большие токи, дополнительно требуется массивный медный или алюминиевый теплоотвод.



Для обычного освещения интерес представляют светодиоды, которые излучают белый свет. Наиболее простыми и экономичными способами создания таких светодиодов являются: смешение голубого излучения от светодиода с излучением желто-зеленого люминофора, возбуждаемого этим голубым светом, или возбуждение синим светодиодом зеленого и красного люминофоров. Смешиваясь, эти цвета дают свет, близкий по спектру к белому. Кристалл покрывается слоем геля с порошком люминофора так, чтобы часть голубого излучения возбуждала люминофор, а часть – проходила без поглощения.

Еще один способ основан на смешении излучения трех люминофоров (красного, зеленого и голубого), размещенных слоями. Люминофоры возбуждаются ультрафиолетовым светодиодом. Однако такой способ связан с существенными потерями энергии при преобразовании света в люминофорах.

К основным достоинствам светодиодов относят их высокую надежность и долговечность. Срок службы светодиодов достигает 100 тыс. ч. Кроме того, они очень компактны, при низком напряжении и очень небольших токах создают высокий уровень освещенности, имеют большую ударную прочность, не дают ни инфракрасного, ни ультрафиолетового излучения. Главным недостатком светодиодов является их крайне высокая стоимость.

По достигнутым значениям световой отдачи светодиоды давно обогнали лампы накаливания и вплотную приблизились к люминесцентным лампам. Так, созданы светодиоды белого цвета со светотдачей 25-30 лм/Вт, цветовой температурой $T_c = 6000-8500$ К и индексом цветопередачи $Ra = 80$, а цветные (красные) – со световой отдачей 50 лм/Вт.

Светодиод должен питаться от источника стабилизированного тока. Для питания светодиода от батарейки необходим токоограничивающий резистор. Для питания светодиода от источника последовательно со светодиодом должен быть включен выпрямительный диод.

2.4. Выбор источников света

Выбор источников света определяется их характеристиками и требованиями к освещению. В первую очередь, следует применять

разрядные источники света, отдавая предпочтение при равной мощности источникам света с наибольшей световой отдачей и сроком службы.

При выборе источников света необходимо учитывать их специфические особенности и условия, в которых они будут использоваться. Например,

- ✓ при питании ОУ от сети постоянного тока или если возможно понижение напряжения более чем на 10% от номинального исключается применение газоразрядных ламп;

- ✓ необходимость быстрого включения ламп после кратковременного исчезновения напряжения исключает применение ламп ДРЛ и ДРИ;

- ✓ при температуре окружающей среды ниже +5°C исключается использование люминесцентных ламп.

Сравнительные характеристики основных источников света общего назначения представлены в таблице:

Тип источника света	Световая отдача, лм/Вт	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи, R_a	Срок службы, ч
ЛН	10-20	2400-2700	$r_k = 29,4 \%$	1000
ГЛН	16-26	3200	90-100	2000-4000
ЛЛ	35-104	2950-6400	60-95	6000-15000
КЛЛ	30-75	3500	80	6000-12000
ДРЛ	40-60	3800	50	10000-20000
ДРИ	55-90	4200	60	3000-10000
ДНаТ	80-140	2100	25	10000-20000

Для освещения *общественных, жилых административных и бытовых зданий предприятий* целесообразно использовать ЛЛ, в первую очередь – ЛБ как наиболее экономичные (при отсутствии специальных требований к цветопередаче), серии Т8, Т5 как наиболее энергоэкономичные. Для прямой замены ЛН предпочтительно использовать КЛЛ.

Для освещения *производственных помещений* (высотой 6-20 м) и *наружного освещения* целесообразно использовать газоразрядные лампы высокого давления типа ДРИ и ДРЛ.

При повышенных требованиях к цветопередаче следует использовать ЛЛ (кроме ЛТБ), по цветопередаче их можно расположить в следующей очередности от лучших к худшим: ЛЕ, ЛДЦ, ЛД, ЛХБ, ЛБ, а также ГЛН.

ЛН следует применять в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности использования разрядных ламп, а также для обеспечения архитектурно-художественных требований:

- в помещениях, где по технологическим требованиям недопустимо применение разрядных ламп и в помещениях, где для работы технологического оборудования недопустимы радиопомехи, создаваемые светильниками с разрядными лампами;
- в помещениях, где для формирования интерьера требуется применение ламп накаливания (рестораны, кафе, бары, фойе и т.п.);
- во вспомогательных помещениях: кладовых, электрощитовых, технических подпольях и др.;
- для моечных, душевых, парильных в банях;
- для охлаждаемых помещений и холодильных камер.

Для освещения *больших территорий* (автострад, улиц, площадей, территорий промышленных объектов, аэродромов и т.д.) целесообразно использовать натриевые лампы высокого (ДНаТ) и низкого (ДНаО) давления. В других сферах их применение ограничено высокой пульсацией, низкой цветовой температурой и плохой цветопередачей.

Рекомендуемые источники света для жилых, общественных и производственных зданий приведены в ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение» (приложения Е, Ж).

2.5. Световые приборы

Световые приборы принято разделять на три группы: светильники (световые приборы ближнего действия), прожекторы (световые приборы дальнего действия) и проекторы.

Для систем внутреннего и наружного освещения наибольшее применение находят светильники, предназначенные для освещения объектов, расположенных на небольшом удалении, обычно не превышающем 20-30 м.

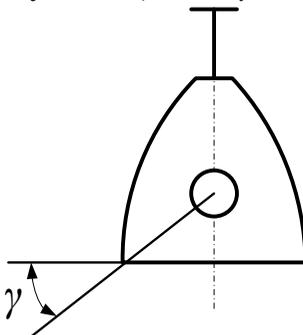
Светильник – устройство, содержащее источник света и светотехническую арматуру и предназначенное для освещения.

Светотехническая арматура – совокупность приспособлений, предназначенных для выполнения следующих функций:

1) Светораспределение. Важнейшей функцией светильника является *светораспределение*, то есть перераспределение светового потока источника света с целью наиболее рационального его использования (преимущественное обеспечение заданного уровня освещенности на освещаемых поверхностях). Достигается путем использования отражателей, преломлятелей (рефракторов) и рассеивателей.

2) Защита глаз от чрезмерной яркости. Наличие в поле зрения современных источников света, обладающих чрезвычайно высокой яркостью, без светотехнической арматуры неблагоприятно сказывается на зрении, вызывая уменьшение чувствительности и работоспособности глаза.

Мерой зоны, в пределах которой глаз защищен от прямого действия источника света, служит *защитный угол светильника* γ .



Он заключен между горизонталью и линией, касательной к светящейся телу лампы и к краю отражателя или непрозрачного экрана:

В зависимости от величины защитного угла светильника ТКП 45-2.04-153-2009 нормирует высоту подвеса светильников над полом, исходя из требований ограничения слепящего действия.

3) Предохранение источника света от механических повреждений и загрязнения.

По конструктивному исполнению, в зависимости от воздействия окружающей среды (температура, влажность, пыль, химически активная или органическая среда) различают светильники: открытые, защищенные, влагозащищенные, пыленепроницаемые, взрывозащищенные.

4) Крепление источника света и подведение к нему электрического тока.

Основными характеристиками светильников являются:

➔ Класс светораспределения.

Класс светораспределения светильников определяется в зависимости от того, как распределяется их световой поток между верхней и нижней полусферами окружающего пространства, представлены в таблице.

Таблица. Класса светораспределения светильников

Класс светильников по светораспределению		Доля светового потока, направленного в нижнюю полусферу, во всем световом потоке светильника, %
Обозначение	Наименование	
П	Прямого света	Свыше 80
Н	Преимущественно прямого света	От 60 до 80
Р	Рассеянного света	От 40 до 60
В	Преимущественно отраженного света	От 20 до 40
О	Отраженного света	До 20

➔ Тип кривой силы света (КСС).

Распределение в пространстве силы света светильника характеризуется его фотометрическим телом – частью пространства, ограниченного поверхностью, проведенной через концы радиус-векторов силы света. Сечением фотометрического тела плоскостью, проходящей через ось симметрии источника света, определяется его кривая силы света (кривая распределения освещенности).

Для симметричных светильников, фотометрическое тело которых представляет собой тело вращения, выделяют семь типов КСС в зависимости от формы:

Тип кривой силы света		Зона направлений максимальной силы света, град.
Обозначение	Наименование	
К	Концентрированная	0-15
Г	Глубокая	0-30, 180-150
Д	Косинусная	0-35, 180-145
Л	Полуширокая	35-55, 180-145
Ш	Широкая	55-85, 125-95
М	Равномерная	0-180
С	Синусная	70-90, 110-90

Светильники внутреннего освещения имеют в основном кривые типов Д, Г или К, а наружного — типов Ш или Л.

Тип КСС светильников сильно влияет на эффективность осветительных установок и должен определяться с учетом высоты освещаемого помещения и возможных схем размещения светильников.

➔ КПД;

Под коэффициентом полезного действия понимается отношение светового потока светильника, работающего при данных условиях, к световому потоку установленного в нем источника света. КПД характеризует экономичность светильника и зависит в первую очередь от материала светотехнической арматуры и конструкции светильника в целом.

➔ Степень защиты.

Степень защиты оболочек светильников должна быть не ниже IP20 для внутреннего и IP53 – для наружного освещения.

Справочно:

Обозначение степени защиты: IP – начальные буквы английских слов *International protection*, первая цифра – степень защиты персонала от прикосновения к токоведущим и движущимся частям электрооборудования, попадания через оболочку твердых посторонних тел и пыли, вторая цифра – от проникновения воды.

Первая цифра в обозначении может иметь следующие значения: 0 – специальная защита отсутствует; 1 – защита от прикосновения и попадания твердых тел размером 50 мм и более; 2 – защита от прикосновения пальцев и попадания твердых тел размером 12,5 мм и более; 3 – защита от проникновения внутрь оболочки тел размером 2,5 мм и более; 4 – защита от проникновения внутрь оболочки тел размером 1 мм и более; 5 – защита от пыли, предотвращающая от проникновения ее внутрь оболочки в коли-

честве, достаточном для нарушения работы изделия; 6 – проникновение пыли полностью предотвращено.

Вторая цифра в обозначении может иметь следующие значения: 0 – специальная защита отсутствует; 1 – защита от капель воды, падающих на оболочку вертикально; 2 – защита от вертикально падающих капель при наклоне оболочки на угол до 15° относительно нормального положения; 3 – защита от капель дождя; 4 – защита от брызг любого направления; 5 – защита от водяных струй любого назначения; 6 – защита от сильного действия струй; 7 – изделия пригодны для непродолжительного погружения в воду; 8 – изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем.

Для светильников предусматривается также исполнение с дополнительной защитой от пыли: 2' – степень защиты 2, но попадание пыли ограничивается неуплотненными светопропускающими оболочками; 5' и 6' – степень защиты соответственно 5 и 6, но колбы ламп не защищены от воздействия пыли. Степень защиты таких светильников обозначается следующим образом: 2', 5' или 6' и рядом цифра, обозначающая степень защиты от воды (буквы IP при этом не указываются).

Условное обозначение светильников имеет следующую структуру:

$$[1][2][3][4] - [5] \times [6] - [7] - [8]$$

Здесь:

1 – буква, обозначающая источники света:

Н – лампа накаливания общего назначения

И – кварцевые ГЛН

Л – прямые трубчатые ЛЛ

Р – ртутные лампы типа ДРЛ

Г – ртутные лампы типа ДРИ

Ж – натриевые лампы типа ДНаТ

Б – бактерицидные лампы

К – ксеноновые трубчатые лампы

С – лампа-светильник (зеркальные и диффузные)

2 – буква, обозначающая способ установки светильника:

С – подвесной (крепление к опорной поверхности снизу при помощи элементов подвеса высотой более 0,1 м)

П – потолочный (крепление к потолку непосредственно или при помощи элементов крепления высотой не более 0,1 м)

В – встраиваемый (крепление в отверстие в потолке, стене или встраивают в оборудование)

Д – пристраиваемый (жесткое крепление непосредственно к поверхности мебели или оборудования)

Б – настенный (крепление на вертикальную поверхность)

Н – настольный, опорный

Т – напольный, венчающий

К – консольный, торцевой

Р – ручной

Г – головной

З – буква, обозначающая основное назначение светильника:

П – для промышленных и производственных зданий

О – для общественных зданий

Б – для жилых (бытовых) помещений

У – для наружного освещения

Р – для рудников и шахт

Т – для кинематографических и телевизионных студий

4 – число, обозначающее номер серии (от 01 до 99);

5 – обозначение числа ламп в светильнике, при этом для одноламповых это число не указывается и знак «х» не ставится, а мощность лампы указывается непосредственно после черточки;

6 – число, обозначающее мощность ламп в Вт;

7 – число, обозначающее номер модификации светильника (от 001 до 999);

8 – буквы и числа, обозначающие климатическое исполнение и категорию размещения.

В условиях климата Республики Беларусь следует применять исполнения У (умеренный климат) и УХЛ (умеренный и холодный климат). По размещению в условиях эксплуатации выделяют пять категорий: 1 – работа на открытом воздухе; 2 – работа под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности примерно соответствуют открытому воздуху; 3 – работа в закрытых помещениях с естественной вентиляцией, без искусственного регулирования климатических условий; 4 – работа в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями; 5 – работа в помещениях с повышенной влажностью

2.6. Основы светотехнического расчета

Целью светотехнического расчета является определение числа и мощности ламп светильников, необходимых для обеспечения требуемого уровня освещенности.

Все применяемые *методы расчета* освещения можно свести к двум основным: точечному и методу светового потока, подразделяющемуся на метод коэффициента использования и метод удельной мощности.

Метод светового потока целесообразен, когда расчет ведется по средней освещенности, и, в частности, для расчета общего равномерного освещения, а также при высоких коэффициентах отражения стен, потолка и рабочей поверхности помещения.

Точечный метод предназначен для нахождения освещенности в точке и наиболее пригоден для расчета минимальной освещенности, регламентируемой нормами для большинства освещаемых объектов.

Если для освещения предусматриваются точечные источники света (ЛН, КЛЛ, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ), то первоначально намечают число и месторасположение светильников, а в процессе расчета освещения определяют необходимую мощность источников света. При общем равномерном освещении светильники с точечными источниками света рекомендуется располагать по вершинам квадратных, прямоугольных (с отношением большей стороны прямоугольника к меньшей не более 1,5) или ромбических (с острым углом ромба, близким к 60°) полей.

При использовании линейных ЛЛ сначала намечают число и расположение рядов светильников, а затем определяют число и мощность ламп, установленных в каждом ряду.

Для размещения светильников должны быть известны следующие данные:

- Тип КСС;
- Высота H , длина A и ширина B помещения, м;
- Высота расчетной поверхности над полом h_p (если неизвестно, принимается высота условной рабочей поверхности 0,8 м), расстояние от светильника до перекрытия (свес) h_c (принимается в диапазоне 0-1,5 м), м;
- Расчетная высота от рабочей поверхности до светильника H_p , м:

$$H_p = H - h_c - h_p.$$

→ Расстояние между соседними светильниками в ряду или рядами светильников L , расстояние от крайних светильников или рядов светильников до стены l (принимается $(0,3-0,5)L$ в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест), м.

♦ Метод коэффициента использования светового потока

Расчетное значение светового потока одной лампы в каждом светильнике определяется по формуле

$$\Phi_{лр} = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta_{OУ}},$$

где E_n – нормируемое значение освещенности, лк; K_3 – коэффициент запаса; F – освещаемая площадь, m^2 ; z – отношение средней освещенности к минимальной; N – общее число ламп; $\eta_{OУ}$ – коэффициент использования светового потока осветительной установки.

Величины E_n и K_3 принимают по ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение».

Коэффициент z характеризует неравномерность освещенности и в значительной степени зависит от соотношения L/H_p . Если это соотношение находится в диапазоне рекомендуемых значений, то можно принять: для точечных источников света $z = 1,15$; для линейных ЛЛ $z = 1,10$.

Под коэффициентом использования светового потока $\eta_{OУ}$ понимают отношение светового потока, падающего на расчетную поверхность, к световому потоку источника света. Его значение принимается в зависимости от коэффициентов отражения поверхностей помещения: потолка – ρ_n , стен – ρ_c , расчетной поверхности – ρ_p (обычно принимается 0,1) и от индекса помещения i_n :

$$i_n = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}.$$

Таблица – Приблизительные значения коэффициентов отражения стен и потолка

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения, %
Плоскость с белой поверхностью (побеленный потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами)	70
Плоскость со светлой поверхностью (побеленные стены при	50

незанавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок)	
Плоскость с серой поверхностью (бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями)	30
Плоскость с темной поверхностью (стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный неоштукатуренный кирпич; стены с темными обоями)	10

По найденному значению $\Phi_{лр}$ выбирается лампа ближайшей стандартной мощности, значение светового потока которой отличается от $\Phi_{лр}$ не более чем на $-10...+20\%$. Если такой источник подобрать не удастся, то принимается лампа со значением светового потока, ближайшим к $\Phi_{лр}$, а далее корректируется число светильников в помещении и осуществляется повторный расчет освещения.

При расчете линейного люминесцентного освещения первоначально намечается число рядов R . Тогда под $\Phi_{лр}$ следует подразумевать световой поток ламп одного ряда Φ_{Rp} :

$$\Phi_{Rp} = \frac{E_n \cdot K_z \cdot F \cdot z}{R \cdot \eta_{OV}}$$

Светильники с линейными люминесцентными лампами могут располагаться вплотную друг к другу либо с разрывами (не более $0,5H_p$). Число светильников в одном ряду:

$$N_R = \frac{\Phi_{Rp}}{n_{ce} \cdot \Phi_l},$$

где n_{ce} – число ламп в одном светильнике, Φ_l – световой поток одной лампы.

Расстояние между соседними светильниками в ряду:

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l - N_R \cdot l_c}{N_R - 1},$$

где l_c – длина одного светильника.

В процессе расчетов необходимо следить, чтобы суммарная длина светильников с люминесцентными лампами в одном ряду не превышала длины помещения.

◆ Расчет освещенности по удельной мощности

Метод расчета освещенности по удельной мощности является одним из упрощенных вариантов расчета освещенности с применением коэффициента использования.

Расчет освещенности по методу удельной мощности осуществляется в следующем порядке:

✓ Для освещаемого помещения площадью F определяются значения расчетной высоты H_p , нормируемой освещенности E_n , тип и число светильников.

✓ По соответствующей таблице находится значение удельной мощности освещения P_{ym} :

$$P_{ym} = f(H_p, F, KCC, \text{тип ИС}).$$

Если значения коэффициентов отражения поверхностей помещения отличаются от принятых в таблице (помещения более темные или более светлые), допускается соответственно увеличить или уменьшить удельную мощность на 10%.

Если значения освещенности, коэффициента запаса и КПД светильников, принятые для расчета, отличаются от указанных в таблице, следует произвести пропорциональный перерасчет значения удельной мощности:

$$P_y = P_{ym} \cdot \frac{K_z \cdot E_n \cdot \eta_{свм}}{K_{zm} \cdot E_m \cdot \eta_{св}}.$$

✓ Приняв удельную мощность осветительной установки P_y в соответствии с заданными условиями, можно определить расчетное значение требуемой мощности одной лампы P_{pl} , по которой выбирается лампа ближайшей стандартной мощности:

$$P_{pl} = \frac{P_y \cdot F}{N},$$

где N – число ламп в осветительной установке.

Если расчетная мощность лампы оказывается большей, чем допускается в принятых светильниках, следует увеличить число светильников.

2.7. Определение годового расхода электроэнергии на освещение

Годовой расход электроэнергии на искусственное освещение зданий и сооружений, Вт·ч, можно определить по формуле:

$$W_o = \sum_i (P_{ном} \cdot K_{ПРА}) \cdot T_{МО} \cdot K_c,$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность i -того источника света, Вт; $K_{ПРА}$ – коэффициент, учитывающий потери в ПРА i -того источника света; $T_{МО}$ – годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки; K_c – коэффициент спроса осветительной нагрузки.

При отсутствии данных обследования ОУ K_c следует принимать равным: 1,0 – для мелких зданий, наружного и аварийного освещения; 0,95 – для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов; 0,9 – для административных зданий, библиотек и предприятий общепита; 0,85 – для зданий, состоящих из многих отдельных помещений; 0,8 – для лечебных, детских и учебных заведений; 0,6 – для складских зданий и подсобных помещений.

Значение $K_{ПРА}$ принимается равным: 1,0 – для ЛН; 1,1 – для ламп типа ДРЛ, ДРИ; 1,2 – для ЛЛ со стартерной схемой пуска; 1,3 – для ЛЛ при бесстартерной схеме пуска. В ЭПРА потери мощности примерно на 20-50% меньше по сравнению с ЭМПРА.

Для географической широты Республики Беларусь (56°) величина $T_{МО}$ принимается по следующим таблицам:

Внутреннее освещение

Количество рабочих дней в неделю	Рабочее освещение и освещение безопасности				Эвакуационное освещение
	при числе смен			непрерывная работа	
	1	2	3		
При наличии естественного освещения					
5	600	2100	4000	–	4800
6	750	2250	4150	–	4800
7	–	–	–	4800	4800
При отсутствии естественного освещения					
5	2150	4300	6500	–	8760
6	2150	4300	6500	–	8760
7	–	–	–	7700	8760

Наружное освещение

Вид освещения	Режим включения					
	ежедневно			в рабочие дни		
	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов	на всю ночь	до 1 часа ночи	до 24 часов
Рабочее заводских территорий	3600	2450	2100	3000	2060	1750
Охранное	3500	–	–	–	–	–

В качестве $T_{МО}$ можно подставлять годовое число работы осветительных установок (число часов горения ламп), которое при отсутствии фактических данных вычисляется по следующим выражениям:

$$\text{Рабочее освещение: } T_p = (365 - m) \cdot \frac{T_1^P + T_2^P}{2} + T_n,$$

$$\text{Дежурное освещение: } T_d = 365 \cdot \frac{T_1^D + T_2^D}{2},$$

$$\text{Наружное освещение: } T_H = 365 \cdot \frac{T_1^H + T_2^H}{2} + T_n,$$

где m – число нерабочих дней в году; T_1 – длительность включения освещения в сутки с наиболее продолжительной ночью (21 декабря), ч; T_2 – длительность включения освещения в сутки с наиболее короткой ночью (21 июня), ч; T_n – дополнительное число часов включения электрического освещения в пасмурные дни (2-5% от общего числа часов включения), ч.

Годовой расход электроэнергии на искусственное освещение отдельных помещений и зданий, для которых не производился полный светотехнический расчет, можно приближенно определять по формуле

$$W_o = P_y \cdot F \cdot T_{МО} \cdot K_c,$$

где P_y – удельная мощность общего равномерного освещения, Вт/м²; F – площадь помещения, м².

Величина P_y зависит от типа и мощности применяемых ИС, рабочей высоты и площади помещений, норм освещенности, КСС светильника и приведена в справочной литературе.

2.8. Экономия электроэнергии в системах освещения

Экономия ЭЭ может быть получена за счет: оптимизации светотехнической части ОУ, оптимизации систем управления и регулирования освещения, рациональной организации эксплуатации освещения.

Оптимизация светотехнической части ОУ включает следующие мероприятия:

- правильный выбор системы освещения;
- правильный выбор типов источников света;
- выбор экономичных схем размещения светильников;
- правильный выбор типов светильников по конструктивному исполнению и светораспределению.

Применение комбинированного освещения

Технико-экономическое сравнение вариантов общего и комбинированного освещения показывает, что при переходе с общего на комбинированное освещение можно получить экономию электроэнергии от 15 до 60%.

Рекомендуемые области применения систем общего и комбинированного освещения и получаемая экономия электроэнергии (F , m^2 – средняя площадь на одного работающего):

Разряд зрительной работы	Система освещения		Экономия ЭЭ, %
	Комбинированная	Общая	
I, II а, б	Рекомендуется	Не рекомендуется	-
II в, г	Рекомендуется при $F > 3$	Рекомендуется при $F \leq 3$	до 60
III	Рекомендуется при $F > 5$	Рекомендуется при $F \leq 5$	до 25
IV а, б	Рекомендуется при	Рекомендуется при	15-20

	F>10	F≤10	
IV в, г	Не рекомендуется	Рекомендуется	-

Использование энергоэффективных источников света

Экономия электроэнергии за счет замены ламп с установленной мощностью $P_{ном1}$ на более эффективные лампы с установленной мощностью $P_{ном2}$, обеспечивающие требуемое качество освещения, определяется по формуле:

$$\Delta W_o = K_c \cdot (K_{ПРА1} \cdot P_{ном1} - K_{ПРА2} \cdot P_{ном2}) \cdot T_{МО},$$

где $K_{ПРА1}$ и $K_{ПРА2}$ – коэффициенты, учитывающие потери в ПРА соответствующих ламп; $T_{МО}$ – годовое число часов использования максимума осветительной установки.

Завышение установленной мощности осветительных приборов приводит к неоправданному перерасходу электроэнергии, определяемому по выражению:

$$\Delta W_o = K_{co} \cdot K_{ПРА} \cdot (P_{фо} - P_{но}) \cdot T_{МО},$$

где $P_{фо}$ – фактическая мощность ламп, $P_{но}$ – мощность ламп, предусмотренная проектом или необходимая для обеспечения нормированной освещенности.

Относительная экономия (или перерасход) электроэнергии, получаемая при использовании вместо одного источника света (1) другого (2), может быть определена по выражению:

$$\Delta W\% = \left(1 - \frac{K_{ПРА2} \cdot E_2 \cdot C_2 \cdot K_{з2} \cdot H_1}{K_{ПРА1} \cdot E_1 \cdot C_1 \cdot K_{з1} \cdot H_2} \right) \cdot 100\%,$$

где E_1 и E_2 – нормируемые уровни освещенности для осветительных установок с источниками света 1 и 2; C_1 и C_2 – отношение минимальной расчетной освещенности к нормированной для источников света 1 и 2 ($0,9 \leq C \leq 1,2$); $K_{з1}$ и $K_{з2}$ – коэффициенты запаса в осветительных установках с источниками света 1 и 2; H_1 и H_2 – световая отдача источников света 1 и 2.

Положительное значение $\Delta W\%$ соответствует экономии, отрицательное – перерасходу электроэнергии.

При одинаковых значениях расчетных коэффициентов и уровня освещенности:

$$\Delta W\% = \left(1 - \frac{H_1}{H_2}\right) \cdot 100\%.$$

Возможная экономия электроэнергии за счет перехода на более эффективные источники света приведена в таблице

Таблица. Экономии электроэнергии за счет перехода на более эффективные источники света

При замене ИС	Средняя экономия электроэнергии, %
ЛН на ДРЛ	42
ЛН на ЛЛ	55
ЛН на ДРИ	66
ЛН на ДНаТ	71
ЛЛ на ДРИ	24
ДРЛ на ЛЛ	22
ДРЛ на ДРИ	42
ДРЛ на ДНаТ	50

Простым и низкзатратным мероприятием является замена люминесцентных ламп Т12 на лампы Т8 того же габаритного размера, но имеющие меньшую мощность, больший световой поток и лучшие качественные характеристики спектра света:

Длина лампы, мм	Мощность, Вт	Световой поток, лм	R _a
604	20	1100	63
	18	1300	85
1213,6	40	2850	63
	36	3350	85
1514,2	65	4650	63
	58	5200	85

Использование энергоэффективных световых приборов

При выборе конструктивного исполнения следует отдавать предпочтение светильникам с наибольшим коэффициентом полезного действия.

На эффективность светильников значительно влияет их светораспределение (КСС). Необходимо учитывать следующие рекомендации:

Тип лампы	Геометрия помещения, м		Рекомендуемая КСС
	А x В	Н	
ДРЛ	6 x 6	до 6-7	Д
	6 x 12, 6 x 18, 6 x 24	до 9-12	
	6 x 6	до 10-11	Г
	6 x 12	до 12-13	
	6 x 18, 12 x 18, 6 x 24	до 18-20	
	> 20	К	
ДРИ	6 x 6, 6 x 12, 6 x 18, 6 x 24	до 6-7	Д
	12 x 18	до 9	
	6 x 6	до 11	Г
	6 x 12	до 14,5	
	6 x 18, 12 x 18, 6 x 24	до 16-20	
	> 20	К	

Для примера, сопоставим по энергетическим затратам варианты освещения сборочного цеха высотой 20 м при зрительных работах разряда Шб ($E_n = 300$ лк, $K_s = 1,5$):

Тип КСС	Удельная установленная мощность, Вт/м ² , при источниках света	
	ДРЛ	ДРИ
К	20,4	13,7
Г	21,4	16,0
Д	31,9	23,3

Применение ЭПРА для газоразрядных ламп

Применение электронных пускорегулирующих аппаратов позволяет значительно уменьшить потери мощности, увеличить световую отдачу и тем самым снизить установленную мощность ОУ, улучшив при этом качественные характеристики света. Важнейшим дос-

тоинством ЭПРА является возможность регулирования светового потока ламп. По сравнению с традиционными электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ЭМПРА) ЭПРА обладает следующими преимуществами:

- ✓ повышенная светоотдача за счет использования высокочастотного напряжения позволяет уменьшить установленную мощность системы освещения на 10-20%;
- ✓ снижение электропотребления комплектом ЭПРА-лампа в среднем на 20%;
- ✓ в 1,5-2 раза больший срок службы ламп за счет использования режима с плавным подогревом электродов и стабилизацией тока;
- ✓ бесшумная работа (отсутствие низкочастотных шумов);
- ✓ высокое качество светового потока лампы вследствие отсутствия пульсаций светового потока и стробоскопического эффекта;
- ✓ снижение массогабаритных показателей на 40-70%;
- ✓ автоматическое отключение ЭПРА в режиме холостого хода (при неисправных лампах и в конце их срока эксплуатации);
- ✓ возможность регулирования светового потока светильника в диапазоне 10-100% в ручном или автоматическом режиме.

Автоматическое управление освещением в сочетании с максимальным использованием естественного освещения

Анализ показывает, что четкая персональная ответственность и материальная заинтересованность в экономии электроэнергии трудно реализуемы.

Системы управления освещением (СУО) поддерживают требуемые уровни освещенности в процессе эксплуатации ОУ в соответствии с заданным алгоритмом, исключая перерасход электроэнергии. При их использовании экономия электроэнергии достигается значительным сокращением времени использования установок искусственного освещения за счет нескольких факторов:

- ✓ В начальный период эксплуатации источников света, а также при избыточном количестве светильников создаваемая в помещении освещенность завышена и может автоматически уменьшаться до требуемого значения;

✓ Обеспечение рационального сочетания естественного и искусственного освещения, так как в течение достаточно большого времени суток освещение может быть вообще отключено, либо включено на минимальную мощность (5-10 % от номинальной);

✓ Часовая наработка осветительной установки при отсутствии автоматического управления также превышает рациональные значения, так как при стихийном управлении искусственное освещение остается включенным при достаточном естественном освещении и отсутствии в освещаемых помещениях людей, а также в нерабочее время из-за забывчивости персонала.

Регулирование освещения, в первую очередь, необходимо:

- для уличного освещения, где уровень освещенности может быть снижен в часы утренних и вечерних сумерек;
- для дворового (фасадного) и подъездного освещения;
- для совмещенного освещения производственных помещений;
- в помещениях, где работа производится посменно с часовым обеденным перерывом, во время которого останавливается основное технологическое оборудование.

При этом могут использоваться устройства дискретного и непрерывного регулирования, например реле времени, фотореле, фоторезисторы, акустические датчики, датчики движения.

Регулирование уровня освещенности осуществляется двумя способами: отключением части светильников (зонное управление освещением) или снижением напряжения в периоды, когда уровень освещенности может быть без ущерба снижен.

Регулирование освещенности отключением групп источников света (при зонном управлении) требует усложнения сетей и применения программных управляющих устройств с выделением очередности отключения и включения отдельных групп источников света. Годовая экономия электроэнергии от отключения:

$$\Delta W = P_{откл} \cdot t_{откл},$$

где $P_{откл}$ – отключаемая мощность; $t_{откл}$ – время отключения в течение года.

Другой способ регулирования освещения – снижение питающего напряжения. Достоинством этого способа является возможность плавного изменения светового потока. Снижение питающего на-

пряжения в осветительной сети позволяет получить экономию электроэнергии за счет снижения потребляемой мощности ламп и значительно увеличить срок службы ламп.

Поддержание уровня напряжения в допустимых пределах

В зависимости напряжения потребляемая мощность ламп может быть определена по эмпирическим выражениям:

для ЛН:

$$P = P_{ном} \cdot \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^{1,58};$$

для ЛЛ (в комплекте с ПРА):

$$P = P_{ном} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot (U - U_{ном})}{U_{ном}} \right);$$

для ДРЛ (в комплекте с ПРА):

$$P = P_{ном} \cdot \left(2,43 \cdot \frac{U}{U_{ном}} - 1,43 \right).$$

Результаты расчетов увеличения потребляемой мощности источников света при повышении напряжения приведено в таблице:

Повышение напряжения, %	Повышение потребляемой мощности, %		
	ЛН	ЛЛ	ДРЛ
1	1,6	2,0	2,4
2	3,2	4,0	4,9
3	4,7	6,0	7,2
5	8,0	10,0	12,2
7	11,3	14,0	17,0
10	16,3	20,0	24,3

Для экономии электроэнергии необходимо по возможности понижать эксплуатационное напряжение, поддерживая его величину в допустимых пределах (не ниже $0,95U_{ном}$).

Повышение напряжения существенно снижает срок службы источников света:

Повышение напряжения, %	Средний срок службы ламп, %	
	Лампы накаливания	Газоразрядные лампы
0	100	100
1	87,1	95
2	75,8	93
3	66,2	90
5	50,5	85
7	38,7	80
10	28	73

Организационные мероприятия

Окраска внутренних ограждений в светлые тона. Соответствующая окраска стен, производственного оборудования и потолков обеспечивает от 5 до 15% экономии электроэнергии, расходуемой на освещение в зависимости от исходных параметров помещения (коэффициентов отражения поверхностей) и режима работы помещения. Гладкая поверхность отражает 70% направленного на нее света, темно-зеленая отражает только 15%, черная – 9%. Очевидно, при очередном капитальном или косметическом ремонте помещений следует отдавать предпочтение отделочным материалам светлых тонов, которые будут обеспечивать оптимальное использование естественного света и повысят КПД системы искусственного освещения.

✓ Регулярное (не менее двух раз в год) мытье стекол в помещениях зданий, имеющих большую площадь остекления, приводит к экономии до 3%.

✓ Проведение периодических очисток светильников от пыли и грязи (не менее 18 очисток в год в наиболее пыльных помещениях, 6 – в помещениях со средним выделением пыли, 4 – в помещениях с невысоким уровнем запыленности, 2 – на территории городов и непыльных производств) приводит к экономии электроэнергии до 3%.

3. МИКРОКЛИМАТ ЗДАНИЙ.

3.1. Микроклимат помещений: основные понятия и определения

Деятельность человека обычно связана с определенной частью объема помещения, называемой *обслуживаемой зоной (зоной обитания)* – пространством в помещении, ограниченном плоскостями, параллельными полу и стенам: на высоте 0,1 и 2,0 м над уровнем пола (но не ближе чем 1 м от потолка при потолочном отоплении), на расстоянии 0,5 м от внутренних поверхностей наружных и внутренних стен, окон и отопительных приборов.

В обслуживаемой зоне должны обеспечиваться требуемые метеорологические условия, или *микроклимат* – состояние внутренней среды помещения, характеризуемое следующими показателями: температурой воздуха в помещении t_v , скоростью движения воздуха в помещении v_v , относительной влажностью воздуха в помещении φ_v , радиационной температурой помещения t_R .

Температура, скорость движения и относительная влажность воздуха в помещении – параметры воздуха в помещении, осредненные по объему обслуживаемой зоны.

Радиационная температура помещения – осредненная по площади температура внутренних поверхностей ограждений помещения и отопительных приборов (определяет теплообмен излучением между человеком и ограждениями).

В организме человека постоянно вырабатывается тепло, которое должно быть отдано окружающей среде. Отдача тепла с поверхности тела человека происходит: излучением (обусловлено разностью температуры внутренних поверхностей помещения и поверхности тела человека) конвекцией (обусловлена разностью температуры тела человека и внутреннего воздуха, а также подвижностью воздуха внутри помещения) и в результате затрат тепла на испарение влаги (обусловлено разностью парциального давления водяных паров на поверхности кожи и в воздухе).

В спокойном состоянии человек около половины тепла теряет излучением, четверть – конвекцией и четверть – испарением. При

тяжелой работе основная доля теряемого тепла приходится на испарение влаги.

Поддержание постоянной температуры организма около 36,6°C обеспечивает физиологическая система терморегуляции, напряженность которой сказывается на самочувствии и работоспособности человека. В случае нарушения теплового равновесия организма (теплопродукция не равна отдаче тепла) наблюдается накопление или дефицит тепла, приводящие к его перегреву или переохлаждению.

Для полного учета влияния основных метеорологических факторов на самочувствие человека используется комплексный критерий – *результатирующая температура помещения* t_n , сочетающая в себе радиационную температуру помещения t_R и температуру воздуха в помещении t_g .

В помещениях с небольшой подвижностью внутреннего воздуха (v_g до 0,2 м/с):

$$t_n = \frac{t_g + t_R}{2}.$$

При скорости движения воздуха в пределах 0,2-0,6 м/с учитывается преимущественное воздействие на человека конвективной составляющей теплообмена:

$$t_n = 0,6 \cdot t_g + 0,4 \cdot t_R.$$

Общий подход к гигиенической оценке тепловой обстановки в помещении основан на двух условиях комфортности пребывания человека в помещении.

Первое условие комфортности определяет зону сочетаний t_g и t_R , при которых человек, находясь в центре обслуживаемой зоны, не испытывает чувства перегрева или переохлаждения.

Второе условие комфортности определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека на границе обслуживаемой зоны помещения, то есть в непосредственной близости от этих поверхностей, и связано с положительной или отрицательной интенсивностью лучистого теплообмена человека. К радиационному перегреву и переохлаждению особенно чувствительна голова человека, поэтому радиационные условия в помещении должны быть такими, чтобы теплоотдача излучением с поверхности головы составляла не менее 11,6 Вт/м², но не более 35 Вт/м².

В зависимости от уровня требований к комфортности в обслуживаемой зоне различных категорий помещений зданий устанавливаются оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Оптимальные (комфортные) параметры микроклимата – сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80% людей, находящихся в помещении.

Допустимые параметры микроклимата – сочетания значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности при усиленном напряжении механизмов терморегуляции и не вызывают повреждений или ухудшения состояния здоровья.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в обслуживаемой зоне гражданских зданий устанавливаются ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», а также соответствующими СанПиН (например, СанПиН 2.1.2.12-11-2006 «Гигиенические требования к устройству, оборудованию и содержанию жилых домов»).

В жилых зданиях параметры устанавливаются в зависимости от периода года (холодный, теплый) и типа помещения: жилая комната, кухня, туалет, ванная, лестничная клетка и прочие.

В общественных зданиях параметры устанавливаются в зависимости от периода года (холодный, теплый) и категории помещений:

1 – помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха.

2 – помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебной.

3 – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди пребывают преимущественно в положении: 3а – сидя без уличной одежды, 3б – сидя в уличной одежде, 3в – стоя без уличной одежды.

4 – помещения для занятий подвижными видами спорта.

5 – помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т.п.).

6 – помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые).

Для помещений производственных зданий, в которых осуществляется трудовая деятельность, регламентируется понятие *рабочей зоны* – пространства над уровнем пола или рабочей площадки высотой 2 м при выполнении работ стоя или 1,5 м при выполнении работы сидя.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в рабочей зоне помещений производственных зданий устанавливаются ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны в производственных помещениях» и СанПиН №9-80 РБ 98 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

В производственных зданиях параметры устанавливаются в зависимости от периода года (холодный, теплый) и от категории работ, определяемой на основе интенсивности общих энергозатрат организма в Вт (степени физической тяжести выполняемой человеком работы):

Iа – легкая работа (до 139 Вт);

Iб – легкая работа (140-174 Вт);

IIа – средней тяжести работа (175-232 Вт);

IIб – средней тяжести работа (233-290 Вт);

III – тяжелая работа (более 290 Вт);

Холодный период года – период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха, равной 8° С и ниже.

Теплый период года – период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха выше 8° С.

Параметры микроклимата помещений в пределах допустимых или оптимальных значений обеспечиваются системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

3.2. Тепловой, воздушный и влажностный режимы помещений

Микроклимат в помещениях определяется тепловым, воздушным и влажностным режимами, взаимосвязанными и влияющими друг на друга. В основе всех трех режимов лежат процессы теплопередачи и массообмена. Наружные ограждения должны обеспечивать защиту зданий от резкого переохлаждения или перегрева, увлажнения, промерзания и оттаивания, паро- и воздухопроницания.

Тепловой режим помещения – совокупность всех факторов и процессов, определяющих его тепловую обстановку. Тепловой режим помещения считается комфортным, если соблюдаются первое и второе условия комфортности (рассмотрены выше).

Поддерживаемый тепловой режим в помещении различают статический (постоянный) и динамический (изменяющийся во времени). Динамический тепловой режим более благоприятен для человека, так как он соответствует ритмическому изменению активности человека. В частности, в жилых помещениях рекомендуется изменять температуру воздуха в течение дня и понижать ее на 2-3°C ночью.

Факторы, влияющие на тепловой режим помещений:

– Природно-климатические (внешняя среда): температура наружного воздуха, скорость ветра, зона влажности в районе строительства, интенсивность солнечной радиации.

– Внутренняя среда: тип и способ регулирования системы отопления, тепловыделения людей, производственных процессов, материалов и оборудования, внутреннее освещение.

– Теплозащитные свойства ограждений, которые в зимних условиях принято характеризовать в основном величиной сопротивления теплопередаче R_o , а в летних – их теплоустойчивостью, которую оценивают по величине тепловой инерции ограждения D .

R_o определяет сопротивление ограждения передаче теплоты в стационарных условиях, а теплоустойчивость характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических тепловых воздействий. Это объясняется тем, что для зимы характерны относительно устойчивые низкие температуры вне здания и постоянная внутренняя температура, которую обеспечивает система отопления. Летом характерны периодические суточные изменения температуры и солнечной радиации и внутри здания температура часто не регулируется.

Теплотехническими характеристиками строительных материалов, влияющими на их R_o и теплоустойчивость, являются:

– *коэффициент теплопроводности λ* численно равен количеству теплоты, которое проходит в единицу времени через стенку площадью 1 м^2 при падении температуры на 1 градус на 1 м пути теплового потока.

– *коэффициент теплоусвоения s* численно равен количеству теплоты, усваиваемой стенкой площадью 1 м^2 в течение 1 ч при температурном перепаде на наружной и внутренней поверхностях стенки в 1 градус.

Воздушный режим помещения – процесс обмена внутреннего воздуха с наружной средой и соседними помещениями.

Факторы, влияющие на воздушный режим помещений:

– Естественные (воздухопроницание): проникновение воздуха сквозь поры и неплотности в ограждениях. Воздухопроницание происходит в результате наличия перепада давления Δp на противоположных поверхностях ограждений, возникающего за счет различной плотности холодного и теплого воздуха (гравитационная составляющая) и действия ветра, создающего избыточное давление в набегающем потоке с наветренной стороны здания и разрежение с подветренной (ветровая составляющая). Проникновение воздуха внутрь помещения называется инфильтрацией; а из помещения наружу – эксфильтрацией.

– Искусственные (вентиляция): обеспечение санитарного воздухообмена в помещениях зданий.

– Теплозащитные свойства ограждений, которые характеризуют величиной сопротивления воздухопроницанию R_u .

Теплотехнической характеристикой строительных материалов, влияющей на их R_u , является *коэффициент воздухопроницания K_u* , характеризующийся количеством воздуха в килограммах, проходящих через стенку площадью в 1 м^2 в течение 1 ч при разности давлений у противоположащих поверхностей стенки 10 Па .

Влажностный режим помещения – совокупность всех факторов и процессов, определяющих влажностную обстановку в его помещениях.

В зависимости от сочетания относительной влажности и температуры воздуха внутри помещений различают четыре влажностных режима помещений:

Режим	φ_6 , %, при температуре t_6 , °C		
	До 12	Свыше 12 до 24	Свыше 24
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60	Свыше 40 до 50
Влажный	Свыше 75	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60
Мокрый	-	Свыше 75	Свыше 60

Влажностное состояние ограждающих конструкций оказывает влияние на их теплозащитные свойства и долговечность. Увлажнение строительных материалов водяным паром, находящимся в воздухе, может происходить путем:

- сорбции в силу их гигроскопичности, так как большинство строительных материалов – капиллярно-пористые тела, состоящие из скелета - основного строительного вещества - и воздуха;
- конденсации влаги на внутренней поверхности наружных ограждений в случае падения температуры поверхности ниже точки росы;
- конденсации влаги в толще ограждения: диффузия водяного пара от внутренней поверхности ограждения к наружной из-за разности парциальных давлений водяного пара внутреннего и наружного воздуха.

Чрезмерное увлажнение материала ограждений в зимний период может привести к замораживанию влаги, сопровождающемуся увеличением их объема и появлению разрушающих напряжений. Увлажнение материала конструкций снижает его теплозащитные свойства, что связано, прежде всего, с повышением коэффициента теплопроводности. Это происходит из-за того, что вода, находящаяся в порах материала, имеет коэффициент теплопроводности в 22 раза больше, чем у воздуха, находящегося в порах. Еще более резко возрастает коэффициент теплопроводности, если влажный материал промерзает, так как лед имеет коэффициент теплопроводности в 80 раз больше, чем у воздуха.

С точки зрения теплозащитных свойств ограждений должны обеспечиваться сопротивление паропрооницанию R_n , исключаящее конденсацию влаги в толще ограждения, и условия, исключаящие конденсацию влаги на внутренней поверхности наружных ограждений.

Теплотехнической характеристикой строительных материалов, влияющей на их R_n , является *коэффициент паропрооницания* μ , характеризующийся количеством водяных паров в граммах, проходящих через стенку площадью в 1 м^2 и толщиной 1 м в течение 1 ч при разности упругостей водяных паров у противоположных поверхностей стенки 130 Па .

Влажностное состояние ограждений условно разделяют на эксплуатационное, соответствующее периоду продолжительной и регулярной эксплуатации, и начальное, соответствующее первым годам эксплуатации здания и связанное с внесением в конструкцию «строительной» влаги.

Эксплуатационное влажностное состояние материалов в ограждениях зависит от климата района строительства (в РБ – нормальный), влажностного режима помещений (сухой, нормальный, влажный, мокрый) и определяется двумя типами условий эксплуатации ограждений: А и Б, для которых приведены значения теплофизических характеристик (λ, s):

Режим помещений	Условия эксплуатации ограждений
Сухой	А
Нормальный	Б
Влажный	Б
Мокрый	Б

Для теплотехнического расчета ограждений, с учетом их условий эксплуатации А и Б, требуемые характеристики строительных материалов выбираются по приложению А ТКП 45-2.04.-43-2006 «Строительная теплотехника».

Теплозащитные свойства совокупности ограждений здания, обеспечивающие нормативный уровень расхода тепловой энергии с учетом необходимого воздухообмена помещений, а также не менее требуемого сопротивления воздухо- и паропрооницаемости и защиту

от переувлажнения наружных ограждений при оптимальных параметрах микроклимата помещений называют *тепловой защитой здания*.

3.3. Выбор расчетных условий

Теплотехнический расчет ограждений и определение тепловых нагрузок систем обеспечения микроклимата проводятся при *расчетных условиях*, когда внутренняя среда характеризуется нижним пределом нормативных параметров микроклимата, а наружная – наиболее неблагоприятными с точки зрения теплового режима зданий факторами. Тогда необходимые условия микроклимата помещений при правильном регулировании будут соблюдены на протяжении всего года.

Расчетные условия по наружной среде принимаются по СНБ 2.04.02-2000 «Строительная климатология» (с учетом изменения № 1 от 01.07.2007), к ним будем относиться:

1) Средние температуры наиболее холодных суток $t_{x.c}$ и наиболее холодной пятидневки $t_{x.5}$.

Параметры принимаются с заданной обеспеченностью, которую оценивают *коэффициентом обеспеченности* $K_{об}$. $K_{об}$ показывает (в долях единицы или в процентах) число случаев n , при которых недопустимо отклонение от расчетных условий (в холодный период года по степени суровости). В теплотехнических расчетах ограждений используют коэффициент обеспеченности 0,92 и 0,98, для расчета систем обеспечения микроклимата – 0,92.

Коэффициент обеспеченности $\kappa_{об} = 0,92$ означает, что только в 4 зимах из 50 (или 8 из 100) наружная температура в холодный экстремальный период может быть ниже расчетной.

2) Максимальная из средних скоростей ветра по румбам (направлениям ветра) за январь v_{cp} .

3) Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{н.от}$.

4) Продолжительность отопительного периода $z_{от}$.

Для большинства зданий понятие отопительного периода совпадает с понятием холодного периода года ($t_1 \leq +8^\circ \text{Ñ}$) и только для

лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых считается периодом со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 10°C.

Расчетные условия по внутренней среде зависят от функционального назначения здания и санитарно-гигиенических требований, к ним относятся:

1) Температура t_e и относительная влажность φ_e воздуха внутри помещений.

При определении тепловых нагрузок систем обеспечения микроклимата t_e принимается равной минимальной из допустимых температур по ГОСТ 30494 (гражданские здания) и ГОСТ 12.1.005 (производственные здания), φ_e принимают по ГОСТ 30494 и ГОСТ 12.1.005.

В помещениях отапливаемых зданий при использовании не по назначению и в нерабочее время возможно поддержание температурного режима ниже нормы, но не ниже 15°C в жилых и не ниже 12°C в общественных и административно-бытовых помещениях.

При теплотехнических расчетах ограждений гражданских зданий t_e и φ_e принимают по ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника», производственных зданий – СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Влажностный режим помещений (сухой, нормальный, влажный, мокрый) и условия эксплуатации ограждающих конструкций (А, Б) принимаются в зависимости от соотношения t_e , φ_e по ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника».

3.4. Расчет термически однородного ограждения (одномерная стационарная теплопередача)

В условиях *стационарной* теплопередачи, то есть при неизменном установившемся тепловом потоке (температура воздуха с наружной и внутренней сторон ограждения постоянна), тепло транзитом проходит из помещения через внутреннюю поверхность и толщину ограждения к его наружной поверхности и отдается наружной среде. При этом тепловой поток последовательно преодолевает сопротивление теплообмену (конвекция, излучение) на внутренней

поверхности R_g , теплопроводности материала ограждения R_m и теплообмену (конвекция, излучение) наружной поверхности R_n . Общее сопротивление теплопередаче ограждения R_o равно сумме этих сопротивлений:

$$R_o = R_g + R_m + R_n .$$

Если многослойное ограждение состоит из нескольких однородных слоев, последовательно расположенных перпендикулярно направлению теплового потока, то сопротивление теплопередаче толщии ограждения R_m , называемое *термическим сопротивлением ограждения*, равно сумме термических сопротивлений отдельных слоев. Если в ограждении содержится замкнутая плоская воздушная прослойка, то она также должна быть учтена в этой сумме, как дополнительное последовательно включенное термическое сопротивление $R_{в.п.}$. Следовательно,

$$R_m = \Sigma R_i + R_{в.п.} .$$

Сопротивление теплообмену на внутренней поверхности ограждения также называют *сопротивлением тепловосприятую*, на наружной поверхности ограждения – *сопротивлением теплоотдаче*:

$$R_g = \frac{1}{\alpha_g} \quad R_n = \frac{1}{\alpha_n} ,$$

где α_g, α_n – коэффициенты теплоотдачи соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждения для зимних условий, Вт/(м²·К), ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника» (таблица 5.4, 5.7).

Термические сопротивления отдельных слоев ограждения:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} ,$$

где δ_i – толщина i -ого слоя в ограждении, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -ого слоя ограждения в условиях эксплуатации, Вт/(м·К), ТКП 45-2.04-43-2006 (приложение А).

Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки принимается по ТКП 45-2.04-43-2006 (приложение В).

Таким образом, в общем случае многослойного ограждения с последовательно расположенными однородными слоями и замкнутой воздушной прослойкой:

$$R_{\hat{i}} = \frac{1}{\alpha_{\hat{a}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{\hat{a}\hat{i}} + \frac{1}{\alpha_i}, \frac{\hat{i}^2 \cdot \hat{E}}{\hat{A}\hat{\delta}}. \quad (1)$$

Общее сопротивление теплопередаче ограждения, найденное по формуле (1) называют *расчетным*.

Если в ограждении имеется воздушная прослойка, вентилируемая наружным воздухом, то при определении R_o не учитываются слои конструкции ограждения, расположенные между воздушной прослойкой и его наружной поверхностью.

Из условия сохранения энергии тепловой поток, прошедший через внутреннюю поверхность ограждения, равен тепловому потоку, проходящему через толщу ограждения, и тепловому потоку, отданному наружной поверхностью (рисунок 2):

$$q = \alpha_o \cdot (t_o - \tau_o) = \frac{\tau_o - \tau_n}{R_m} = \alpha_n \cdot (\tau_n - t_n) = \frac{t_o - t_n}{R_o}.$$

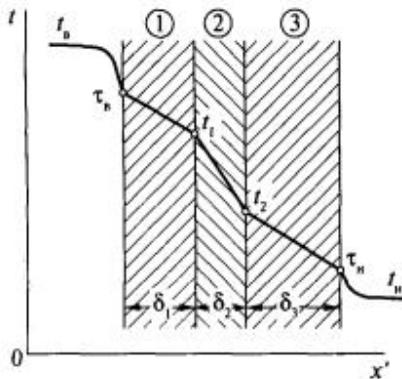


Рисунок 2. Распространение теплового потока через ограждающую конструкцию

Важной практической задачей является расчет распределения температуры по сечению ограждения:

$$t_x = t_o - \frac{R_{o-x}}{R_o} \cdot (t_o - t_n) = t_n + \frac{R_{x-n}}{R_o} \cdot (t_o - t_n),$$

где R_{e-x} и R_{x-n} – сопротивление теплопередаче соответственно от внутреннего воздуха до точки x и от точки x до наружного воздуха.

В частности, при $x=0$, получим выражение для температуры на внутренней поверхности ограждения τ_e :

$$\tau_e = t_e - \frac{R_e}{R_o} \cdot (t_e - t_n) = t_e - \frac{(t_e - t_n)}{\alpha_e \cdot R_o}. \quad (2)$$

3.5. Расчет термически неоднородного ограждения (многомерная стационарная теплопередача)

Однородность материала применяемых в современной практике строительных ограждений нарушается теплоизоляционными или теплопроводными включениями, воздушными прослойками. В результате одномерное распределение температуры на участках с изменяющимся термическим сопротивлением нарушается. Ограждения, материал которых неоднороден в направлении, параллельном тепловому потоку, называются *сложными*.

Для таких ограждений сопротивление теплопередаче, определенное по формуле (1), называется условным R_o^{ycl} , а в качестве расчетного принимается *приведенное* сопротивление теплопередаче ограждения R_o , то есть сопротивление теплопередаче такого однородного ограждения, теплотери через которое равны теплотериям сложного ограждения при одинаковой площади.

Приведенное сопротивление теплопередаче R_o находится с помощью *коэффициента теплотехнической однородности* r , который показывает долю приведенного сопротивления теплопередаче от условного:

$$R_o = r \cdot R_o^{ycl}$$

В зависимости от конструкции сложного ограждения r колеблется в пределах 0,65-0,98.

Для наиболее распространенных промышленных конструкций ограждений наружных стен значения r приводятся в ГОСТ 26254-84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (прил. б), для остальных ограждений определяются экспериментально (путем расчета темпера-

турного поля ограждения).

Для плоских неоднородных ограждений приведенное термическое сопротивление теплопередаче R_m можно определять *методом сложения проводимостей (методом суперпозиции)*. Для этого конструкцию ограждения рассматривают сначала в параллельном, а затем в перпендикулярном направлении относительно основного теплового потока. Алгоритм метода:

1. Плоскостями, параллельными направлению теплового потока, ограждающая конструкция (или ее часть) условно разрезается на участки, из которых одни могут быть однородными (однослойными) - из одного материала, а другие - неоднородными - из слоев с различными материалами. Термическое сопротивление ограждающей конструкции $R_{a\ m}$ определяется по формуле:

$$R_{a\ m} = \frac{\sum_{i=1}^m A_i}{\sum_{i=1}^m \frac{A_i}{R_i}} \quad (3)$$

где A_i, R_i - площадь и расчетное сопротивление теплопередаче i -ого участка характерной части ограждения, m - число участков.

2. Плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, ограждающая конструкция (или ее часть, принятая для определения $R_{a\ m}$) условно разрезается на слои, из которых одни могут быть однородными, а другие неоднородными (термическое сопротивление неоднородных слоев определяется по формуле 3). Термическое сопротивление всей конструкции $R_{e\ m}$ определяется как сумма термических сопротивлений однородных и неоднородных слоев.

3. Если $R_{a\ m}$ не превышает $R_{e\ m}$ более чем на 25%, то приведенное термическое сопротивление ограждения R_m определяется по формуле:

$$R_o = \frac{R_{a\ o} + 2 \cdot R_{a\ o}}{3}$$

Если $R_{a\ m}$ превышает $R_{e\ m}$ более чем на 25% или ограждающая конструкция не является плоской (имеет выступы на поверхности и др.), то термическое сопротивление такой конструкции необходимо определять на основании расчета температурного поля.

3.6. Определение расчетной поверхности ограждений

Перед расчетом тепловых потерь помещений должны быть определены *расчетные поверхности ограждений* [Дроздов, 15].

Поверхности F , m^2 , и линейные размеры ограждений при расчете потерь тепла определяют на основании действующих нормативных указаний. Некоторые из этих указаний изложены ниже.

Поверхность окон, дверей и фонарей измеряется по наименьшим размерам строительных проемов в свету.

Поверхности потолков и полов над подвалами или подпольными измеряют между осями внутренних стен и от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен.

Высоту стен первого этажа при наличии пола на лагах принимают от нижнего уровня подготовки для пола первого этажа уровня чистого пола второго этажа.

Высоту стен первого этажа при наличии пола, расположенного непосредственно на грунте, считают от уровня чистого пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа. Высоту стен промежуточного этажа принимают между уровнями чистых полов данного и вышележащего этажей, а высоту стен верхнего этажа – от уровня чистого пола до верха утепляющего слоя чердачного перекрытия.

Длину наружных стен неугловых помещений измеряют между осями внутренних стен, а в угловых помещениях – от внешних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен. Длину внутренних стен определяют от внутренних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен или между осями внутренних стен (рисунок 3).

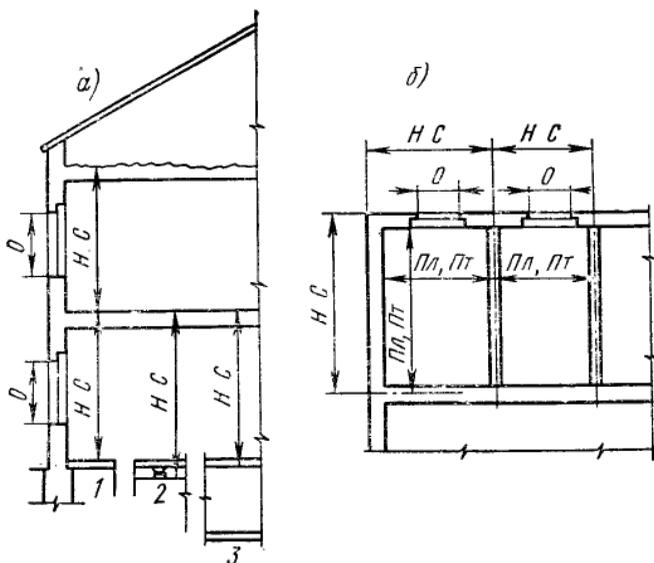


Рисунок 3. Обмер наружных поверхностей при определении потерь тепла помещениями (НС – наружных стен, Пл – пола, Пт – потолка, О – окон): а – разрез по зданию, б – план здания; измерение высоты стен 1-го этажа при конструкции пола: 1 – по грунту, 2 – по лагам, 3 – над неотапливаемым помещением

3.7. Расчет полов на грунте и стен, углубленных в землю

Для расчета приведенного сопротивления теплопередаче конструкций, расположенных на грунте, применяют упрощенную методику.

Поверхность пола и стен (при этом пол рассматривается как продолжение стены) по грунту делится на полосы шириной 2 м, параллельные стыку наружной стены и поверхности земли (рисунок 4). Отсчет зон начинается по стене от уровня земли, а если стен по грунту нет, то зоной I является полоса пола, ближайшая к наружной стене. Следующие две полосы будут иметь номера II и III, а остальная часть пола составит зону IV. Причем одна зона может начинаться на стене, а продолжаться на полу.

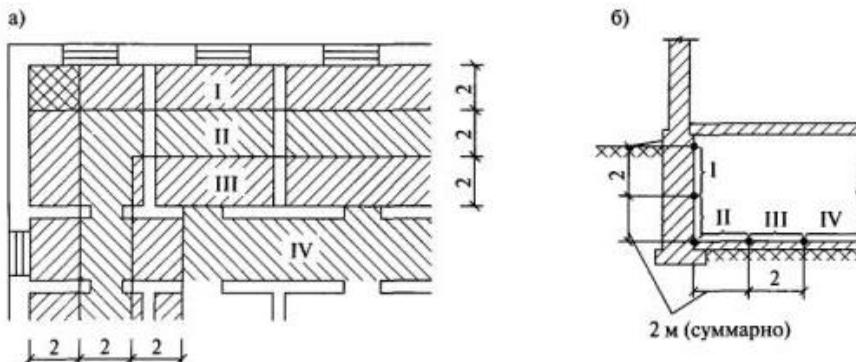


Рисунок 4- Разбивка поверхности пола (а) и заглубленных частей наружных стен (б) на расчетные зоны I-IV

Пол или стена, не содержащие в своем составе утепляющих слоев из материалов с коэффициентом теплопроводности $\lambda \leq 1,2$ Вт/(м·°С), называются *неутепленными*. Сопротивление теплопередаче такого пола принято обозначать $R_{н.п}$, м²·°С/Вт. Для каждой зоны неутепленного пола предусмотрены *нормативные значения* сопротивления теплопередаче согласно СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, приложение Ж.3:

зона I - $R_I = 2,1$ м²·°С/Вт;

зона II - $R_{II} = 4,3$ м²·°С/Вт;

зона III - $R_{III} = 8,6$ м²·°С/Вт;

зона IV - $R_{IV} = 14,2$ м²·°С/Вт.

Если в конструкции пола, расположенного на грунте, имеются утепляющие слои, его называют *утепленным*, а его сопротивление теплопередаче $R_{y.n}$, м²·°С/Вт, определяется по формуле

$$R_{y.n} = R_{н.п} + \sum \frac{\delta_{y.c}}{\lambda_{y.c}}.$$

Теплопотери через полы на лагах рассчитываются также по зонам, только условное сопротивление теплопередаче каждой зоны полов на лагах принимают равным:

$$R_{л} = 1,18 \cdot \left(R_{н.п} + \sum \frac{\delta_{y.c}}{\lambda_{y.c}} \right),$$

где в качестве утепляющих слоев учитывают воздушную прослойку и настил на лагах.

Поверхность пола в первой зоне, примыкающей к наружному углу, имеет повышенные теплопотери, поэтому ее площадь размером 2×2 м учитывается при определении общей площади первой зоны дважды.

3.8. Приведенное сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов

Приведенное сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов (окна, витражи, зенитные и другие световые фонари, балконные двери) принимается на основании результатов сертификационных испытаний. При их отсутствии приведенное сопротивление можно принимать по ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника», приложение Д.

Например, для двойного остекления в деревянных отдельных переплетах: $R_o = 0,42 \frac{M^2 \cdot K}{Bm}$.

3.9. Требуемое сопротивление теплопередаче ограждений

Из уравнения для теплового потока, проходящего через ограждение, следует:

$$q = \alpha_e \cdot (t_e - \tau_e) = \frac{t_e - t_n}{R_o},$$

откуда:

$$R_o = \frac{(t_a - t_i)}{\alpha_a \cdot (t_a - \tau_a)}.$$

Разность температур $\Delta t = (t_e - \tau_e)$ является основным параметром гигиенического характера, обеспечивающим ощущение комфорта (второе условие комфортности температурной обстановки). Эта разность нормируется и обозначается Δt_e . Нормируемому значению Δt_e соответствует минимально допустимое сопротивление

теплопередаче R_o^{mp} , называемое *требуемым*, определяемое санитарно-гигиеническими требованиями и комфортными условиями:

$$R_o^{mp} = \frac{(t_e - t_n)n}{\alpha_e \cdot \Delta t_e}.$$

Величина требуемого сопротивления теплопередаче исключает интенсивное радиационное охлаждение человека вблизи ограждения и конденсацию на внутренней поверхности ограждения влаги, а значит появление сырости и плесени.

Нормативный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции Δt_e принимается по ТКП 45-2.04-43-2006 (таблица 5.5); n – коэффициент, учитывающий положение ограждения по отношению к наружному воздуху, ТКП 45-2.04-43-2006 (таблица 5.3).

При расчете требуемого сопротивления теплопередаче, равно как и при любом теплотехническом расчете ограждения, расчетная зимняя температура наружного воздуха t_n принимается в зависимости от степени массивности наружных ограждений здания, которую характеризует величина *тепловой инерции* D :

$$D = \sum R_i \cdot s_i,$$

где R_i, s_i – термическое сопротивление и расчетный коэффициент теплоусвоения материала в условиях эксплуатации (ТКП 45-2.04-43-2006, приложение А) отдельных слоев ограждения.

Чем меньше значение D , тем быстрее реагирует ограждение (охлаждается или нагревается) на изменение температуры окружающего воздуха.

Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным нулю. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

Для *легких* ограждений ($D \leq 1,5$) расчетная зимняя температура наружного воздуха равна средней температуре наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98, для ограждений *малой массивности* ($1,5 < D \leq 4$) – средней температуре наиболее холодных суток обеспе-

ченностью 0,92, для ограждений *средней массивности* ($4 < D \leq 7$) – средней температуре наиболее холодных трех суток, для *массивных* ограждений ($D > 7$) – средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. Среднюю температуру наиболее холодных трех суток следует определять как среднее арифметическое значений температуры наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

3.10. Нормативное сопротивление теплопередаче ограждений

Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций R_o (за исключением наружных дверей, ворот) должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{o\text{ норм}}$, определяемого в зависимости от вида здания (жилые и общественные, производственные) и типа работ (строительство, реконструкция, модернизация, ремонт) по ТКП 45-2.04-43-2006 (таблица 5.1).

Например, для жилых и общественных зданий по условию строительства, реконструкции и модернизации:

- наружные стены $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;
- совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами $6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;
- перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями $2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;
- заполнения световых проемов $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Нормативное сопротивление теплопередаче фактически определяет требование энергетической эффективности.

Сопротивление теплопередаче наружных дверей (кроме балконных) и ворот должно быть не менее 0,6 значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен при расчетной зимней температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92:

$$R_o(\text{дв.}) \geq 0,6 \cdot R_o^{mp}(\text{н.с}).$$

3.11. Защита внутренней поверхности ограждений от конденсации влаги

Еще одним санитарно-гигиеническим показателем, наравне с нормативным перепадом между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения, служит значение температуры на внутренней поверхности ограждения, исключающей конденсацию влаги.

В холодный период года тонкий воздушный слой, прилегающий к поверхности ограждения, обращенной в отапливаемое помещение, охлаждается до температуры этой поверхности.

Конденсация влаги не будет происходить, если температура внутренней поверхности наружного ограждения $\tau_{e.n}$ на 1-2°C превышает точку росы t_p – температуру, при которой относительная влажность воздуха φ при охлаждении достигает 100%.

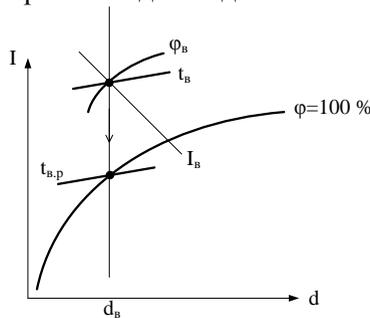


Рисунок 5

Для обычных ограждений без теплопроводных включений:

$$\tau_{e.n} = t_e - \frac{t_e - t_n}{\alpha_e \cdot R_o}$$

В местах теплопроводных включений:

$$\tau_{e.n} = t_e - \frac{R'_o + \eta \cdot (R_o - R'_o)}{R_o \cdot R'_o} \cdot \frac{t_e - t_n}{\alpha_e},$$

где R_o, R'_o – сопротивление теплопередаче ограждения при отсутствии теплопроводного включения и в месте теплопроводного включения;

η – коэффициент, зависящий от отношения размера a поперечного сечения более теплопроводного включения, измеренного параллельно поверхности ограждения, к полной толщине ограждения δ .

Относительная влажность воздуха показывает степень его насыщения водяными парами:

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100\%,$$

где e – действительная уругость водяного пара, Па;

E – максимальная уругость водяного пара при данной температуре воздуха, Па, принимаемая по таблице значений $E(t)$, ТКП 45-2.04-43-2006, приложение Е.

Зная нормируемую относительную влажность воздуха в данном помещении φ_e , точку росы находят следующим образом: сначала определяют максимальную уругость водяных паров E при заданной температуре воздуха в помещении t_e , затем вычисляют *действительную уругость водяных паров* по формуле:

$$e = \varphi_e \cdot E(t_e),$$

а по ней находят соответствующую температуру воздуха при максимальной уругости водяных паров, которая и будет точкой росы τ_p .

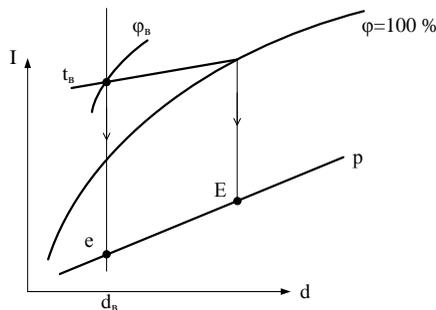


Рисунок 6

Проверка на поверхностную конденсацию влаги при расчетных условиях в обязательном порядке проводится для помещений с влаж-

ным и мокрым режимами, а также по местам теплопроводных включений.

Температура точки росы τ_p для данного состояния внутреннего воздуха t_e может быть найдена по эмпирической формуле:

$$\tau_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e)^2.$$

Наиболее вероятное появление конденсата влаги у наружных углов стены, где температура τ_{ye} всегда ниже, чем на других участках поверхности ограждения $\tau_{e.n}$. Значение τ_{ye} можно определить из выражения:

$$\frac{\tau_{en} - \tau_{ye}}{t_e - t_n} = 0,18 - 0,036 \cdot R_o.$$

3.12. Тепловлажностный расчет многослойных ограждений

В многослойных ограждениях влажностный режим материалов отдельных слоев в зависимости от их теплотехнических характеристик и взаимного расположения в конструкции может не соответствовать влажностному режиму помещений. Поэтому для многослойного ограждения расчетное значение сопротивления теплопередаче является предварительным и подлежит уточнению.

Определение уточненных расчетных значений эксплуатационной влажности и условий эксплуатации материалов слоев многослойной ограждающей конструкции называют тепловлажностным расчетом (ТВР), который проводят следующим образом:

1) При расчетных параметрах внутреннего воздуха и средних параметрах наружного воздуха за отопительный период находят средние значения относительной влажности воздуха для каждого слоя конструкции.

Для этого определяют относительную влажность в пяти-семи сечениях материала слоя, перпендикулярных тепловому и влажностному потокам, и затем вычисляют среднее арифметическое значение.

Относительную влажность для каждого сечения определяют как отношение расчетного парциального давления водяных паров в

данном сечении к максимальному парциальному давлению при расчетной температуре в этом сечении.

Температура на поверхностях ограждения, граничных поверхностях материалов и в промежуточных сечениях:

$$t_i = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{н.ом}}{R_o} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \sum R_{mi} \right),$$

где $\sum R_{mi}$ – термические сопротивления слоев ограждения от его внутренней поверхности до рассматриваемого сечения.

Расчетное парциальное давление водяного пара на граничных поверхностях материалов и в промежуточных сечениях:

$$e_i = e_{\epsilon} - \frac{e_{\epsilon} - e_{н.ом}}{R_{no}} \cdot \sum R_{ni},$$

где R_{no} - общее сопротивление ограждения паропрооницанию, $\sum R_{ni}$ - сумма сопротивлений паропрооницанию слоев ограждения от внутренней среды до рассматриваемого сечения.

Общее сопротивление ограждения паропрооницанию состоит из сопротивления паропрооницанию внутренней поверхности ($0,0266 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$), сопротивления паропрооницанию отдельных слоев ($R_n = \delta_i / \mu_i$) и сопротивления паропрооницанию наружной поверхности ($0,0133 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$).

Следовательно,

$$R_{ni} = 0,0266 + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i}$$

Здесь μ_i – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждения, мг/(м·ч·Па).

Расчетное значение относительной влажности в сечениях ограждения:

$$\varphi_i = \frac{e_i}{E_i} \cdot 100$$

2) Выполняют уточненный расчет сопротивления теплопередаче для ограждения, приняв условия эксплуатации А материала

слоя при средней относительной влажности воздуха в слое менее или равной 75 % и условия эксплуатации Б материала слоя – при средней относительной влажности более 75 %.

3.13. Защита толщи ограждений от внутренней конденсации влаги

В холодный период года действительная упругость водяных паров внутреннего воздуха e_e чаще всего больше соответствующей упругости e_n . В этом случае водяной пар из помещения, диффундируя через наружные ограждения, может встретить слои, поверхность которых имеет температуру τ_p . В результате возникает зона конденсации влаги в толще ограждения, что крайне нежелательно. В связи с этим осуществляют проверочный расчет на возможность конденсации влаги в толще наружных ограждений.

Для расчета принимают, что плоскость возможной конденсации в однородной (однослойной) конструкции находится на расстоянии, равном 0,66 толщины конструкции от ее внутренней поверхности, а в многослойной конструкции – совпадает с поверхностью теплоизоляционного слоя, ближайшей к наружной поверхности ограждающей конструкции.

Во избежание внутренней конденсации влаги, сопротивление паропроницанию ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации R_{ne} должно быть не менее требуемого сопротивления паропроницанию, определяемого по формуле:

$$R_{n,mp} = R_{nn} \cdot \frac{e_e - E_k}{E_k - e_{n,om}}$$

где R_{nn} - сопротивление паропроницанию ограждения в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной среды, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$:

$$R_{nn} = \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + 0,0133$$

e_g - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па:

$$e_g = \varphi(t_g) \cdot E(t_g)$$

E_k – максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации, Па, при температуре в плоскости возможной конденсации.

$e_{н.от}$ – парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при средней температуре наружного воздуха за отопительный период:

$$e_{н.от} = \varphi(t_{н.от}) \cdot E(t_{н.от})$$

3.14. Тепловой баланс здания

Под *тепловым балансом* здания понимают полное количественное соответствие между поступлениями и потерями теплоты в установившемся тепловом режиме:

$$Q_{пост} = Q_{пот}$$

В общем случае, *телопоступления* в здание состоят из тепловой мощности штатной системы отопления и вентиляции Q_o , а также дополнительных теплопоступлений:

$$Q_{пост} = Q_o + (Q_d + Q_{эл} + Q_{обор} + Q_{н.мат.} + Q_{техн.} + Q_{с.р.}).$$

Теплопоступления от людей Q_d зависят от степени физической тяжести выполняемой работы, теплозащитных свойств одежды, микроклимата помещения. Тепловой поток, выделяемый мужчинами: в состоянии покоя 93-140 Вт, при легкой работе 140-175 Вт, при работе средней тяжести 175-290 Вт, при тяжелой работе более 290 Вт. Тепловой поток, исходящий от занятых физическим трудом женщин и детей, принимают равным соответственно 85 и 75% теплового потока, исходящего от мужчин.

Теплопоступления от работающего электрического оборудования и освещения $Q_{эл}$ зависит от мощности электротехнического и

осветительного оборудования, одновременности их работы, степени загрузки и ряда других факторов:

$$Q_{эл} = N_{эл} \cdot \kappa_o ,$$

где $N_{эл}$ – мощность электротехнического и осветительного оборудования, Вт; κ_o – коэффициент, учитывающий одновременность работы оборудования и долю перехода электроэнергии в теплоту, поступающую в помещения: для электроосвещения $\kappa_o = 0,95$, для электродвигателей технологического оборудования и технологических электрифицированных процессов $\kappa_o = 0,15 \div 0,95$.

Теплопоступления от технологического оборудования $Q_{обор}$ обычно учитываются для той рабочей смены, в которую это оборудование имеет минимальную загрузку.

Теплопоступления от нагретых материалов и изделий $Q_{н.мат.}$ зависят от их массы, средней удельной теплоемкости, начальной и конечной температуры, времени нахождения в помещении. Если остывающий материал в расплавленном состоянии, необходимо учитывать теплоту, выделяющуюся в результате фазовых превращений.

$Q_{техн}$ – тепловыделения экзотермических (с выделением теплоты) технологических процессов.

Теплопоступления от солнечной радиации $Q_{с.р.}$ учитывают в тепловом балансе в исключительных случаях (в районах с преобладанием зимой солнечной погоды) для помещений со световыми проемами, обращенными на юг. Обычно инсоляцию учитывают только при эксплуатации отопительных установок, уменьшая теплопередачу прибора для экономии тепловой энергии.

В общем случае, *тепловые потери* в здании в общем виде включают следующие потери:

- трансмиссионные (теплопередачей) через ограждающие конструкции Q_m ;
- с воздухообменом $Q_{возд}$;

– на нагрев поступающих холодных материалов, оборудования и транспорта $Q_{x.мат.}$;

– на различного рода эндотермические (с потреблением теплоты) технологические процессы $Q_{техн.}$.

$$Q_{пот} = Q_m + Q_{возд} + Q_{x.мат.} + Q_{техн.}$$

Для жилых и общественных зданий уравнение теплового баланса записывают следующим образом:

$$Q_o = Q_m + Q_{возд} - Q_c ,$$

где Q_c – добавочные свободные тепlopоступления.

В жилых зданиях источником Q_c (бытовые тепlopоступления) служат люди, искусственное освещение и бытовые приборы, расчет проводят исходя из 9 Вт на 1 м² пола жилых помещений и кухонь:

$$Q_c = 9 \cdot A_{ж} ,$$

где $A_{ж}$ – жилая площадь, м².

3.15. Трансмиссионные тепловые потери

Трансмиссионные тепловые потери через наружные ограждения обусловлены процессами теплообмена.

Расчетные трансмиссионные тепловые потери через отдельные ограждения определяют по формуле

$$Q_m = \frac{A \cdot (t_в - t_n) \cdot (1 + \Sigma\beta) \cdot n}{R_o} , \text{ Вт} ,$$

где $A, м^2$ – расчетная площадь ограждения, определяется с точностью до 0,1 м² по правилам обмера линейных размеров ограждений в плане и разрезе здания;

$t_в, ^\circ C$ – расчетная температура внутреннего воздуха помещения с учетом повышения по высоте для помещений высотой более 4 м;

$t_n = t_{x.5}(0,92)$ – расчетная температура наружного воздуха, $^\circ C$;

$\Sigma\beta$ – добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции (в долях от основных потерь), СНБ 4.02.01-03 (п. Ж.2).

Следует запомнить:

β_1 – в помещениях любого назначения через наружные стены, двери и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад – 0,10, на юго-восток и запад – 0,05;

β_2 – в угловых помещениях – дополнительно по 0,05 на каждую стену, дверь и окно;

n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, ТКП 45-2.04-43-2006 (таблица 5.3);

$R_{\text{г}}$ – расчетное сопротивление теплопередаче ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Расчет трансмиссионных тепловых потерь производят последовательно для каждого помещения, которые заранее нумеруют. Нумерацию следует производить поэтапно, начиная с угловых комнат по ходу часовой стрелки. Лестничные клетки обозначают буквами и, независимо от этажности здания, рассматривают как одно помещение по всей его высоте.

Теплопотери вспомогательных помещений (кладовые, коридоры, туалеты и прочее), не имеющих вертикальных наружных ограждений, а теряющих теплоту только через полы (нижнего этажа) или потолки (верхнего этажа), обычно относят к смежным с ними помещениям и учитывают при определении греющих площадей отопительных приборов.

Теплопотери помещений, имеющих приток теплоты из смежных, уменьшаются на величину мощности поступающего теплового потока.

Теплопотери через внутренние ограждающие конструкции помещений можно не учитывать, если разность температур в этих помещениях равна 3°C и выше.

Расчет оформляют в табличной форме («Ведомость расчета трансмиссионных тепловых потерь»), результаты суммируют по помещениям с округлением до 10 Вт.

При заполнении таблицы в графе 7 коэффициент теплопередачи для окон определяется как разность коэффициентов теплопередачи окна и наружной стены, при этом площадь окна не вычитается из площади стены.

Таблица. Ведомость расчета трансмиссионных тепловых потерь

Номер, назначение и площадь помещения	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	Характеристика ограждения				$1/R_c, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	$(t_{в} - t_{н}) \cdot n$	$1 + \Sigma\beta$	$Q_{т}, \text{Вт}$	Примечание
		Наименование	Ориентация	Размеры, м	Площадь $A, \text{м}^2$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

3.16. Тепловые потери с воздухообменом

Под воздухообменом помещений понимают взаимосвязанные процессы проникновения наружного воздуха в помещение и удаления внутреннего воздуха из помещения под действием естественных факторов и искусственных побудителей.

Проникновение наружного воздуха в помещения происходит путем *инфильтрации* (воздухопроницание через поры, щели и неплотности в ограждениях, обусловленное ветровым и тепловым давлением) и при их вентиляции, обусловленной санитарными нормами. В случае естественной вытяжной вентиляции наружный воздух поступает в помещения через открытые проемы (окна, двери, ворота, вентиляционные каналы), в случае механической вентиляции приточный воздух подается в помещения принудительно и, как правило, подогревается.

В гражданских зданиях с естественной вытяжной вентиляцией (без компенсации подогретым приточным воздухом):

$$Q_{возд} = \max\{Q_1, Q_2\},$$

где Q_1 – расход тепловой энергии на компенсацию тепловых потерь инфильтрацией, Вт; Q_2 – расход тепловой энергии на компенсацию тепловых потерь по расчетному удалению вытяжного воздуха, обеспечивающему санитарные нормы, Вт.

Для всех остальных зданий $Q_{возд} = Q_1$.

$$Q_1 = 0,28 \cdot \Sigma G_i \cdot c \cdot (t_e - t_n) \cdot k,$$

где ΣG_i - расход инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции здания, кг/ч;

c - удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·К);

t_e - расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

t_n - расчетная зимняя температура наружного воздуха (температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92), °С;

k - коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный:

0,7 - для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами;

0,8 - для окон и балконных дверей с отдельными переплетами;

1,0 - для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов.

$$Q_2 = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho_e \cdot c \cdot (t_e - t_n) \cdot k,$$

где L_n - расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м³/ч; для жилых зданий санитарный удельный нормативный расход равен 3 м³/ч на 1 м² жилой площади и кухню;

ρ_e - плотность воздуха в помещении, кг/м³.

Величина тепловых потерь с воздухообменом $Q_{возд}$ определяется отдельно для каждого помещения.

Расход инфильтрующегося воздуха через ограждения здания ΣG_i находится в соответствии с п.К.3 СНБ 4.02.01-03:

$$\Sigma G_i = G_{np} + G_m + G_{щ} + G_{ст},$$

G_{np} - инфильтрация через световые проемы (окна, балконные двери, фонари);

G_m - инфильтрация через массивные ограждения;

$G_{щ}$ - инфильтрация через щели, неплотности, открытые проемы;

$G_{ст}$ - инфильтрация через стыки стеновых панелей, учитывается только для жилых зданий.

В общем случае, расход инфильтрующегося воздуха зависит от перепада давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждений Δp_i , их площади A_i (для стыков стеновых панелей - длины l_i) и сопротивления воздухопроницанию R_{ui} :

$$\Sigma G_i = f(\Delta p_i, A_i, R_{ui}, l_i).$$

Расчетная разность давления Δp_i находится по формуле

$$\Delta p_i = (H - h_i) \cdot (\gamma_n - \gamma_e) + 0,5 \cdot \rho_n \cdot v_n^2 \cdot (c_n - c_n) \cdot \kappa_h - p_o,$$

где H – высота здания от уровня средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты, м;

h_i – расчетная высота от уровня земли до верха окон, балконных дверей, дверей, ворот, проемов или до оси горизонтальных и середины вертикальных стыков стеновых панелей, м;

γ_n, γ_e – соответственно удельный вес наружного и внутреннего воздуха, Н/м³:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t},$$

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³:

$$\rho_n = \frac{\gamma_n}{9,8},$$

v_n – максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе, м/с;

c_n, c_n – аэродинамические коэффициенты, соответственно, наветренной и подветренной поверхностей ограждающих конструкций здания, $c_n = +0,8$, $c_n = -0,6$;

κ_h – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания: для зданий высотой менее 10 м – 0,65, менее 20 м – 0,85, менее 40 м – 1,1;

p_o – условно-постоянное давление воздуха в помещении (здании), определяемое расчетом из условия соблюдения равенства

масс воздуха, поступающего в помещение (здание) и удаляемого из него.

Для расчета величины p_o , чаще всего используются приближенные методы, изложенные в специальной литературе.

Наиболее распространен подход, когда за p_o принимается сумма ветрового и гравитационного давлений по зданию:

$$p_o = 0,5H \cdot (\gamma_n - \gamma_g) + 0,25 \cdot \rho_n \cdot v_n^2 \cdot (c_n - c_n) \cdot \kappa_h.$$

В этом случае:

$$\Delta p_i = (0,5H - h_i) \cdot (\gamma_n - \gamma_g) + 0,25 \cdot \rho_n \cdot v_n^2 \cdot (c_n - c_n) \cdot \kappa_h.$$

При определенных соотношениях значений каждого слагаемого полученной формулы может сформироваться отрицательная разность давлений Δp на верхних этажах здания, что означает невозможность инфильтрации.

Основная инфильтрация наружного воздуха происходит через световые проемы G_{np} (остальными составляющими, как правило, пренебрегают ввиду их малости):

$$G_{np} = \frac{0,216 \cdot A_{np} \cdot \Delta p^{2/3}}{R_{u np}}.$$

Сопrotивление воздухопроницанию запылений световых проемов $R_{u np}$ находится по приложению Д ТКП 45-2.04-43-2006.

Наружные ограждения должны обеспечивать воздухопроницаемость, не превышающую нормативных значений, указанных в ТКП 45-2.04-43-2006. Например, для окон нормативная воздухопроницаемость составляет $G_{норм} = 10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

В ориентировочных расчетах теплопотери Q_l удобно определять через коэффициент инфильтрации μ , представляющий собой отношение теплопотерь Q_l к трансмиссионным теплопотерям:

$$\mu = \frac{Q_l}{Q_m}.$$

Для жилых и общественных зданий, как правило, $\mu = 0,03 \div 0,06$, для промышленных $\mu = 0,25 \div 0,30$.

3.17. Тепловые нагрузки отопления гражданского здания

Расчетный (наибольший) расход тепловой энергии на отопление помещения соответствует расчетной температуре наружного воздуха ($t_f = t_{\text{в.5}}(0,92)$) и, как правило, определяется по условию наибольшего дефицита теплоты ($Q_c = 0$):

$$Q'_o = Q_o(t_n) = Q'_m + Q'_{\text{возд}} .$$

По величине Q'_o подбирается требуемая поверхность нагрева отопительных приборов в данном помещении.

Средний расход тепловой энергии на отопление помещения соответствует средней температуре наружного воздуха за отопительный период $t_{н.о}$:

$$Q_o^{cp} = Q_o(t_{н.о.м}) = Q_m(t_{н.о.м}) + Q_{\text{возд}}(t_{н.о.м}) = Q'_o \cdot \frac{t_g - t_{н.о.м}}{t_g - t_n} .$$

Текущий расход тепловой энергии на отопление помещения при любой температуре наружного воздуха t :

$$Q_o = Q_o(t) = Q_m(t) + Q_{\text{возд}}(t) = Q'_o \cdot \frac{t_g - t}{t_g - t_n} .$$

Годовой расход тепловой энергии на отопление помещения определяется с учетом свободных теплопоступлений:

$$Q_o^{год} = 0,024 \cdot (Q_o^{cp} - \eta \cdot Q_c) \cdot z_{ом} , \text{ кВт} \cdot \text{ч} ,$$

где η – коэффициент, принимаемый в зависимости от способа регулирования системы отопления здания:

0,85 – электроотопление с индивидуальным регулированием,

0,80 – водяное отопление с индивидуальными автоматическими терморегуляторами у отопительных приборов,

0,60 – водяное отопление с местным пофасадным регулированием по температуре внутреннего воздуха,

0,40 – водяное отопление с местной системой регулирования по температуре наружного воздуха («следающая система регулирования»),

0,20 – водяное отопление без регулирования.

ТНПА вводится понятие количества градусо-суток отопительного периода D , равное:

$$D = (t_e - t_{н.ом}) \cdot z_{ом}, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}.$$

В этом случае:

$$Q_o^{зод} = 0,024 \cdot \left(Q_o' \cdot \frac{D}{t_e - t_n} - \eta \cdot Q_c \cdot z_{ом} \right).$$

Окончательную тепловую мощность системы отопления здания определяют с учетом дополнительных теплопотерь при остывании теплоносителя в трубопроводах, проложенных в неотапливаемых помещениях, а также дополнительных потерь через участки наружных ограждений, расположенные за отопительными приборами. Согласно СНБ 4.02.01-03 в сумме эти дополнительные теплопотери не должны превышать 7% теплового потока системы отопления. Таким образом, при отсутствии точных данных:

$$Q_o^{зод} = 1,07 \cdot \sum Q_o^{ном}.$$

3.18. Удельный годовой расход на отопление зданий. Расчет по укрупненным показателям

1) Для точных расчетов и анализа теплопотребления пользуются *удельными расходами тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период*, отнесенными к единице отапливаемой площади (жилые) или отапливаемого объема здания (общественные и производственные):

$$q_A = \frac{Q_o^{зод}}{A}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2},$$

$$q_V = \frac{Q_o^{зод}}{V}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}.$$

Для вновь строящихся жилых и общественных зданий должен быть обеспечен годовой удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию многоэтажных зданий и зданий средней этажности не более 60 кВт·ч/м² при естественной вентиляции и не более 40 кВт·ч/м² при приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением и рекуперацией тепла вентиляционных выбро-

сов, малоэтажных зданий и коттеджей соответственно не более 110 и 90 кВт·ч/м².

2) Для теплотехнической оценки объемно-планировочных решений, а также для ориентировочного расчета тепловой нагрузки отопления зданий часто пользуются укрупненным показателем - *удельной тепловой (отопительной) характеристикой здания* $q_{зд}$:

$$q_{зд} = \frac{Q'_o}{V \cdot (t_e - t_n)}, \frac{Вт}{м^3 \cdot К}.$$

Величина $q_{зд}$ определяет тепловые потери здания объемом 1 м³ по наружному обмеру, отнесенные к разности температур в 1°С, и зависит от коэффициента теплопередаче ограждений, формы, размеров и степени остекления здания, расчетной разности температур.

В справочной литературе приводятся значения эталонной удельной тепловой характеристики q_o , соответствующая расчетной разности температур 48°С. Для определения $q_{зд}$ (в известных климатологических условиях), необходимо делать поправку на температурный коэффициент a , учитывающий отклонение фактической разности температуры от эталонной:

$$q_{зд} = q_o \cdot a = q_o \cdot \left(0,54 + \frac{22}{t_e - t_n} \right).$$

Значение q_o выбирается для зданий по справочной литературе в зависимости от назначения и объема.

Таким образом, оценочный расчет тепловой нагрузки отопления здания может быть выполнен по формуле

$$Q'_o = q_o \cdot a \cdot V \cdot (t_e - t_n).$$

3) При нормировании отопления для разных категории потребителей (зданий) пользуются понятием *нормы расхода тепловой энергии на обогрев зданий*, то есть величиной расхода тепловой энергии на единицу *работы обогрева здания* W , Мкал/тыс·м³·сутки·°С

$$H_o = \frac{Q_{o}^{зод}}{W}, \frac{Мкал}{тыс.м^3 \cdot сут \cdot C}.$$

4) Для оценки потребности в тепловой энергии на отопление квартальной жилой застройки (города, района) при отсутствии про-

ектных данных ТКП 45-4.02-182-2009 «Тепловые сети» допускает производить расчет по формуле

$$Q'_o = q_o \cdot A \cdot (I + k_I),$$

где q_o – укрупненный показатель максимального расхода теплоты на отопление жилых зданий на 1 м^2 общей площади, принимаемый по приложению А ТКП 45-4.02-182 в зависимости от года застройки, этажности, характеристики зданий в части внедрения мероприятий по энергосбережению и расчетной температуры наружного воздуха.

A – общая площадь жилых зданий, м^2 ;

k_I – коэффициент, учитывающий расход теплоты на отопление общественных зданий; при отсутствии данных 0,25.

Расчет тепловой нагрузки отопления с помощью укрупненных показателей используют только для ориентировочных расчетов и при определении потребности в тепловой энергии города, района при централизованном теплоснабжении.

3.19. Система отопления: общие сведения

Отопление – обогрев помещений с целью возмещения в них тепловых потерь и поддержания устанавливаемой нормами или другими требованиями температуры воздушной среды.

Период отопления зданий в течение года называют *отопительным периодом*.

Для большинства зданий понятие отопительного периода совпадает с понятием холодного периода года ($t_{ie} = +8 \text{ } ^\circ\text{Ñ}$) и только для лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых считается периодом со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 10°C .

Система отопления – совокупность взаимосвязанных технических элементов и устройств, предназначенных для передачи в обогреваемые помещения требуемого количества теплоты и поддержания в них заданной температуры воздушной среды. Принципиально, система отопления состоит из трех основных элементов: источника теплоты, теплопроводов и отопительных приборов.

Являясь неотъемлемой частью здания, системы отопления являются и должны удовлетворять ряду требований:

– *Санитарно-гигиенические* – обеспечение заданной температуры воздуха в отапливаемых помещениях и поддержание температуры поверхности отопительных приборов, исключаяющей возможность ожогов и пригорания пыли.

– *Технико-экономические* – минимизация расходов на сооружение и эксплуатацию.

– *Архитектурно-строительные* – взаимная увязка с интерьером помещений и со строительными конструкциями, компактность, согласование со сроком строительства зданий.

– *Производственно-монтажные* – минимальное число унифицированных узлов и деталей, механизация их изготовления, сокращение трудовых затрат при монтаже.

– *Эксплуатационные* – эффективность действия в течение всего периода работы, связанная с надежностью и техническим совершенством системы.

Классификация систем отопления:

✓ *по расположению источника теплоты*: местные и центральные. В местных системах отопления все три элемента конструктивно объединяются в одной установке, непосредственно в которой происходят получение, перенос и теплопередача в помещение. Центральные системы отопления предназначены для отопления группы помещений из одного теплового центра.

✓ *по виду используемого теплоносителя*: водяные, паровые, воздушные, печные (огневоздушные), радиационные (лучистые) и электрические. В качестве теплоносителя, циркулирующего в системе отопления, аккумулирующего теплоту и затем передающего ее в обогреваемые помещения, наиболее распространены: вода, пар и воздух.

Вода: представляет собой практически несжимаемую жидкую среду со значительной плотностью и теплоемкостью, изменяет плотность, объем и вязкость в зависимости от температуры, а температуру кипения в зависимости от давления. Достоинства: достаточно равномерная температура помещений, можно ограничить температуру отопительных приборов, малое поперечное сечение труб, бесшумность движения. Недостатки: большие металлоемкость

и гидростатическое давление в системах, регулирование теплопередачи отопительных приборов «с запаздыванием» вследствие тепловой инерции.

Пар: является легкоподвижной средой со сравнительно малой плотностью, температура и плотность зависят от давления, значительно изменяет объем и энтальпию при фазовом превращении. Достоинства: низкие металлоемкость и гидростатическое давление, быстрое прогревание приборов. Недостатки: неравномерная температура помещений из-за несоответствия теплопередачи приборов при неизменной температуре пара (при постоянном давлении) изменяющимся теплотерям в течение отопительного сезона; превышение гигиенического предела температуры поверхности отопительных приборов (разложение, сухая возгонка и пригорание органической пыли интенсивно протекают при температуре поверхности более 80°C, в случае пара – температура поверхности 100°C и более); шум при работе системы.

Воздух: является легкоподвижной средой с малыми вязкостью, плотностью и теплоемкостью, плотность и объем зависят от температуры. Достоинства: равномерная температура помещений, легкость регулирования вследствие малой инерции, отсутствие отопительных приборов, возможность совмещения с вентиляцией, бесшумность работы. Недостатки: малая теплоаккумулирующая способность, высокая теплоемкость, большое понижение температуры по длине воздуховодов.

Системы отопления (отопительные приборы, теплоноситель, предельную температуру теплоносителя или теплоотдающей поверхности) для разных зданий (помещений) следует принимать по приложению Л СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». При этом следует учитывать:

– В холодный период года в общественных, административных, бытовых и производственных помещениях отапливаемых зданий, когда они не используются, и в нерабочее время следует принимать температуру воздуха ниже нормируемой, но не ниже 5°C, обеспечивая восстановление нормируемой температуры к началу использования помещения или к началу работы (дежурное отопление).

– Системы отопления зданий с расчетным значением теплового потока более 50,0 кВт следует проектировать с автоматическим регулированием теплового потока.

– В производственных помещениях, в которых на одного работающего приходится более 50,0 м² площади пола, отопление должно обеспечивать расчетную температуру воздуха на постоянных рабочих местах и более низкую температуру (но не ниже 10°С) – на непостоянных рабочих местах.

– Для систем отопления и внутреннего теплоснабжения следует применять в качестве теплоносителя, как правило, воду; другие теплоносители допускается применять при технико-экономическом обосновании.

– Системы отопления жилых зданий (постройки с 2003 года) должны предусматривать технические решения, обеспечивающие регулирование потребляемой теплоты и учет расхода теплоты на отопление каждой квартирой, помещениями общественного назначения, расположенными в доме, а также зданием в целом.

3.20. Водяная система отопления

Системы водяного отопления прежде всего разделяются на низкотемпературные с предельной температурой теплоносителя 105°С и высокотемпературные – более 105°С.

По способу создания циркуляции воды различаются системы водяного отопления с *естественной циркуляцией* (гравитационные) и с *механическим побуждением циркуляции* воды при помощи насосов (насосные). В гравитационной системе используется различие в плотности воды, нагретой до различной температуры. В насосной системе используется электрический насос для повышения гидравлического давления; в системе создается вынужденное движение воды в дополнение к гравитационному.

Теплопроводы систем водяного отопления подразделяются на *магистраль*, подающие горячую воду к стоякам (подающие магистрали 1) и отводящие охлажденную воду от стояков к теплообменникам (обратные магистрали 2), и *стояки*, подающие 3 и обратные 4, которые, соединяют магистрали с отопительными приборами 5 или с горизонтальными *ветвями* 6 (рисунки 7).

Системы водяного отопления в зависимости от схемы соединения труб с отопительными приборами называются *однотрубными* и *двухтрубными*. В каждом стояке или ветви однотрубной системы приборы соединяются одной трубой, и вода протекает последовательно через все приборы. В двухтрубной системе каждый прибор отдельно присоединяется к двум трубам – подающей и обратной, и вода протекает через него независимо от других приборов.

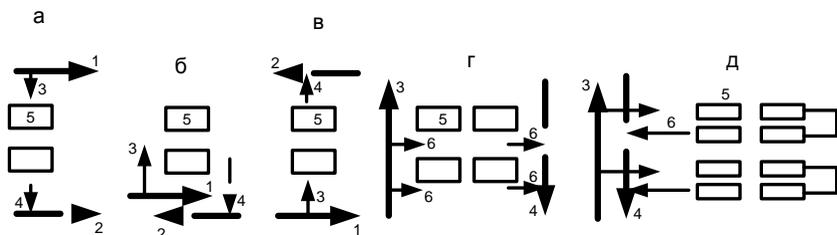


Рисунок 7. Системы водяного отопления

По вертикальному или горизонтальному положению труб, соединяющих отопительные приборы, системы делятся на *вертикальные* со стояками (схемы а – в) и *горизонтальные* с ветвями б (схемы г, д).

В зависимости от места прокладки магистралей различаются системы с *верхней разводкой* (а), когда подающая магистраль 1 располагается выше отопительных приборов 5; с *нижней разводкой* (б), когда подающая 1 и обратная 2 магистрали прокладываются ниже приборов 5; с *«опрокинутой» циркуляцией воды* (в), когда подающая магистраль 1 находится ниже, а обратная 2 выше приборов 5.

Движение воды в подающей и обратной магистралях может совпадать по направлению и быть встречным. В зависимости от этого системы именуется системами с *тупиковым* (встречным) и с *попутным движением воды* в магистралях. На схеме а стрелками на линиях, изображающих магистрали, показано попутное движение воды: вода и в подающей и в обратной магистралях движется в одном и том же направлении; на схемах б, в – тупиковое движение воды: вода в подающей магистрали течет в одном; а в обратной – в противоположном направлении.

На рисунке 8 показаны основные трех типов однотрубных стояков 1 вертикальных систем водяного отопления. Все три типа однотрубных стояков используются и в вертикальных, и в горизонтальных системах. В однотрубном проточном стояке первого типа (а) отсутствуют краны для регулирования теплопередачи отопительных приборов 7. В однотрубном стояке второго типа с постоянно действующими (проточными) замыкающими участками 2 (б) устанавливают регулирующие краны 3 у приборов. В однотрубном проточно-регулируемом стояке третьего типа (в) имеются обходные участки 8 для пропуска воды при регулировании теплопередачи приборов трехходовыми кранами 4.

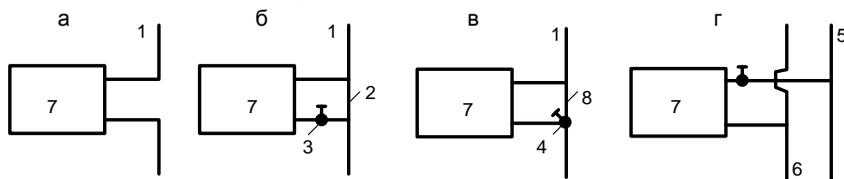


Рисунок 8 Приборные узлы систем водяного отопления

В двухтрубном стояке каждый отопительный прибор 7 присоединяют отдельно к подающей трубе 5 и обратной трубе 6 (г). По подающей трубе подводится горячая вода, по обратной – отводится охлажденная вода от приборов.

Системы водяного отопления в гражданских зданиях проектируются на расчетную температуру теплоносителя: 105°C – для однотрубных систем, 95°C – для двухтрубных систем. Предпочтение отдают однотрубным системам, двухтрубные встречаются реже (как правило, в зданиях трех и менее этажей).

3.21. Отопительные приборы

Отопительными приборами называют устройства, предназначенные для передачи тепловой энергии в отапливаемое помещение от теплоносителя. Они должны удовлетворять теплотехническим, технико-экономическим, гигиеническим, архитектурно-строительным, монтажным и эксплуатационным требованиям.

Отопительные приборы классифицируют:

- по материалу, из которого они изготовлены: металлические (стальные, чугунные, алюминиевые и т.д.), комбинированные и неметаллические;
- по высоте (для вертикальных): высокие (более 650 мм), средние (400-650 мм), низкие (200-400 мм), плинтусные (менее 200 мм);
- по глубине (толщине): малой (до 120 мм), средней (120-200 мм) и большой глубины (более 200 мм);
- по динамическим характеристикам: инерционные, малоинерционные и безынерционные;
- по способу передачи тепловой энергии: конвективные (конвекцией передается не менее 75% общего теплового потока), конвективно-радиационные (конвекцией – 50-75%), радиационные (конвекцией менее 50%).

Основные виды отопительных приборов: радиаторы (секционные и панельные), конвекторы, гладкотрубные приборы, ребристые трубы (включая калориферы).

Радиатор – конвективно-радиационный отопительный прибор, состоящий из отдельных секций с каналами круглой или эллипсообразной формы (секционные), либо из плоских блоков с каналами колончатой или змеевиковой формы (панельные).



Секционный радиатор



Панельный радиатор

Секции радиаторов, как правило, отливают из серого чугуна, они соединяются друг с другом с помощью ниппелей, имеющих на одной половине длины наружную левую резьбу, а на другой – правую. Благодаря такому соединению можно получать радиаторы с раз-

личным числом секций, а значит, с различной поверхностью нагрева. Чугунные радиаторы коррозионно-стойкие (долговечные), имеют высокие теплотехнические показатели. Недостатки: низкая механическая прочность, малое тепловое напряжение металла, трудность изготовления (литье) и монтажа, неэстетичный вид.

Плоские блоки радиаторов свариваются из двух штампованных стальных листов, образуя приборы малой глубины и различной длины. Профиль радиаторных блоков может быть с плоскими вертикальными каналами колончатой формы, с горизонтальными параллельными каналами регистровой формы или последовательно соединенными каналами змеевиковой формы. Панельный радиатор может состоять из одного, двух и трех параллельных блоков. Панельные радиаторы отличаются малой массой, увеличенной излучательной способностью. Они соответствуют интерьеру отапливаемых помещений, легко очищаются от пыли. Их монтаж облегчен, производство механизировано. Распространение стальных радиаторов ограничено необходимостью применения коррозионностойкой холоднокатаной листовой стали (в случае обычной стали срок службы радиаторов сильно сокращается из-за интенсивной внутренней коррозии).

Плоские блоки радиаторов делают также из тяжелого бетона (бетонные отопительные панели), применяя нагревательные элементы змеевиковой или регистровой формы из металлических и неметаллических труб. Бетонные панели располагают в наружных ограждающих конструкциях помещений (совмещенные панели) или приставляют к ним (приставные панели).

Бетонные панели гигиеничны, хорошо монтируются, не занимают полезную площадь, отличаются высоким тепловым напряжением металла. К недостаткам стеновых панелей относятся трудность ремонта, большая тепловая инерция, увеличение теплопотерь через дополнительно прогреваемые наружные ограждения.

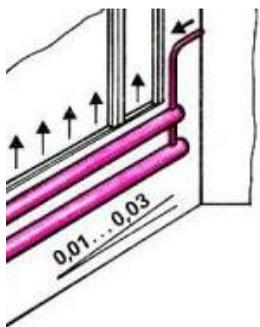
Гладкотрубный прибор – конвективно-радиационный отопительный прибор, состоящий из нескольких соединенных вместе стальных труб, образующих каналы для теплоносителя змеевиковой (полотенцесушители) или регистровой формы.

В регистре при параллельном соединении горизонтальных труб поток теплоносителя делится с уменьшением скорости его движе-

ния. В змеевике трубы соединены последовательно, и скорость движения теплоносителя не изменяется по всей длине прибора.

Отопительные приборы сваривают из труб $D_y = 32..100$ мм, располагаемых для увеличения теплоотдачи излучением одна от другой на расстоянии, на 50 мм превышающем их наружный диаметр, для увеличения теплоотдачи излучением.

Гладкотрубные приборы характеризуются высокими теплотехническими и гигиеническими свойствами, их легко очищать от пыли. Вместе с тем они громоздки, неэстетичны, и требуют ручного труда при сборке.



Гладкотрубный прибор регистровой формы



Конвектор

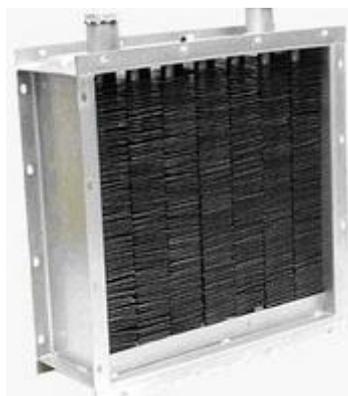
Конвектор – конвективный отопительный прибор, состоящий из двух элементов: трубчато-ребристого излучателя и кожуха. Кожух декорирует нагреватель и способствует повышению теплопередачи. Нагреватель выполняют из стали, чугуна, алюминия и других металлов, кожух – из листовых материалов.

Достоинствами конвекторов является малая инерционность, высокое тепловое напряжение металла вследствие малой металлоемкости, хорошие эстетичные и монтажные качества. Недостатками конвекторов являются трудность удаления пыли с ребристой поверхности, перегрев верхней зоны помещения, сравнительно низкие теплотехнические показатели, что требует выпуска большого числа типоразмеров.

Ребристой трубой называют конвективный прибор, представляющий собой фланцевую чугунную трубу, наружная поверхность которой покрыта совместно отлитыми тонкими ребрами. Площадь внешней поверхности ребристой трубы во много раз выше, чем площадь поверхности гладкой трубы таких же диаметра и длины. Это придает отопительному прибору компактность.



Ребристая труба



Калорифер

Другие преимущества: пониженная температура поверхности ребер при использовании высокотемпературного теплоносителя, сравнительная простота изготовления и невысокая стоимость. Недостатки: слабые теплотехнические показатели, неэстетичный внешний вид, малая механическая прочность ребер и трудность очистки от пыли.

Калорифер – компактный прибор значительной площади, образованной несколькими рядами оребренных труб. Трубы заключены в кожух с отверстиями для входа и выхода нагреваемого воздуха. Калорифер предназначен в первую очередь для теплопередачи при вынужденной конвекции воздуха, создаваемой вентилятором. Ко-

эффект теплопередачи достигает при этом сравнительно высоких значений.

3.22. Тепловой расчет отопительных приборов водяной систем водяного отопления

Тепловой расчет систем отопления заключается в определении площади поверхности отопительных приборов. Поверхность отопительного прибора должна обеспечить необходимый тепловой поток от теплоносителя к воздуху помещения, равный теплотерям помещения за вычетом теплоотдачи проложенных в нем теплопроводов.

В паспорте каждого отопительного прибора заводского изготовления указывается номинальная поверхностная плотность теплового потока $q_{ном}$, Вт/м², то есть удельный тепловой поток, передаваемый через 1 м² площади прибора в помещение.

Этот показатель получают экспериментальным путем при *стандартных условиях*: температура воды на входе в прибор 105°C, а на выходе из него 70°C; температура воздуха в помещении 18°C; расход теплоносителя (воды) в приборе 360 кг/ч; схема питания отопительного прибора – сверху вниз; прибор установлен без ограждений и конструктивных строительных помех.

Расчетная плотность теплового потока в реальных условиях отличается от номинальной, и определяется по формуле

$$q_{np} = q_{ном} \cdot \left(\frac{\Delta t_{cp}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{np}}{360} \right)^p,$$

где 70 – температурный напор, °C, при стандартных условиях, указанных выше [(105 + 70):2 – 18 ≈ 70°C];

360 – стандартный расход воды в приборе, кг/ч;

Δt_{cp} – средний температурный напор, °C, при реальных условиях, отличных от стандартных, в общем случае:

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_{ex} + t_{вых}}{2} - t_g,$$

G_{np} - фактический расход воды в приборе, кг/ч;

n, p – экспериментальные показатели, приведенные в справочных данных в зависимости от типа отопительного прибора, фактического расхода воды через него и схемы подключения прибора.

Как правило, системы водяного отопления устраивают с использованием радиаторов. Основными факторами, влияющими на теплоотдачу радиатора, являются:

- понижение температуры воды в теплопроводах (коэффициент β_1 , принимаемый по справочным данным, $\beta_1 = 1,0 \div 1,1$);

- дополнительные потери теплоты участком стены, на котором размещен отопительный прибор (коэффициент β_2);

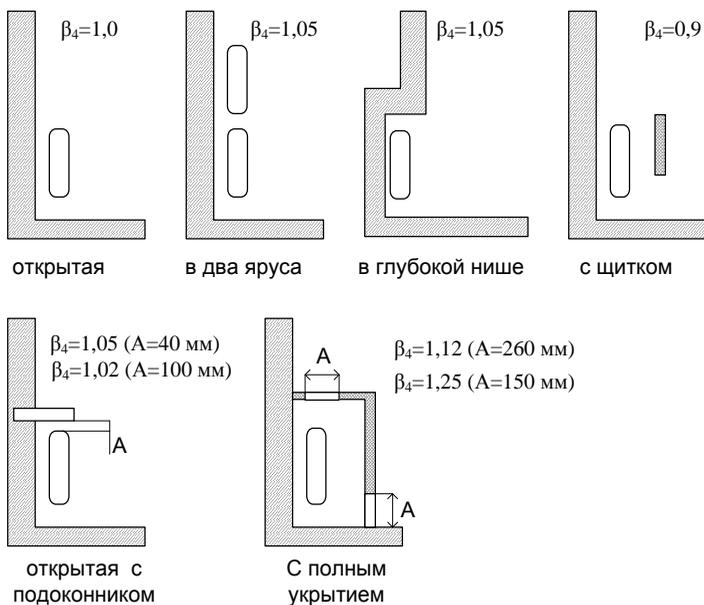
Для чугунных радиаторов: $\beta_2 = 1,02$ при размещении прибора у наружной стены, в том числе под световым проемом, $\beta_2 = 1,07$ – у остекления светового проема. Для стальных панельных радиаторов соответственно 1,04 и 1,1.

- ухудшающиеся условия передачи теплоты в зависимости от числа секций в радиаторе (коэффициент β_3);

$$\beta_3 = 0,92 + \frac{0,16}{F_{np}},$$

где F_{np} – расчетная площадь поверхности нагрева прибора, m^2 ;

- способ установки радиатора в помещении (коэффициент β_4):



Расчетную тепловую мощность отопительного прибора определяют по формуле

$$Q_{np} = Q'_o - \beta \cdot Q_{mp} ,$$

где Q'_o - общие теплопотери помещения, Вт; Q_{mp} - теплоотдача труб стояка и подводок, проложенных в помещении, Вт; β - поправочный коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи теплопроводов: при открытой прокладке 0,9, при скрытой прокладке 0,5, при прокладке в тяжелом бетоне 1,8.

$$Q_{mp} = g_e \cdot l_e + g_z \cdot l_z ,$$

где g, l - теплоотдача 1 м (принимается по справочным данным в зависимости от диаметра и разности температуры теплоносителя на входе в помещение и температуры воздуха в помещении) и длина соответственно вертикальных и горизонтальных труб в пределах помещения.

При отсутствии точных данных по отопительным стоякам и подводящим трубам, расчетную тепловую мощность отопительного прибора допускается определять по формуле

$$Q_{np} = 0,95 \cdot Q'_o .$$

Расчетная наружная площадь поверхности нагрева отопительного прибора, m^2 , независимо от вида теплоносителя:

$$F_{np} = \frac{Q_{np}}{q_{np}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 .$$

Для определения числа секций чугунных радиаторов в отопительном приборе используют формулу

$$N = \frac{F_{np} \cdot \beta_4}{f \cdot \beta_3} ,$$

где f – площадь, m^2 , поверхности нагрева одной секции радиатора, принятого к установке в конкретном помещении;

Для определения числа панельных блоков в отопительном приборе используют формулу

$$N = \frac{F_{np} \cdot \beta_4}{f} ,$$

где f – площадь поверхности нагрева одного панельного блока, m^2 .

При определении числа элементов в отопительном приборе вычисленное значение округляют до целого числа, учитывая, что требуемый по расчету тепловой поток от прибора при этом не должен уменьшаться более чем на 60 Вт или 5%.

3.23. Система вентиляции: общие сведения

Вентиляция – обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне.

По способу подачи в помещения свежего и удаления загрязненного воздуха вентиляцию подразделяют на естественную, принудительную и смешанную.

Естественная вентиляция создает необходимый воздухообмен за счет разности плотностей наружного и внутреннего воздуха, определяемой разностью их температур или под действием ветра.

Приток наружного воздуха в помещения происходит при *проветривании* (периодическое открывание форточек, фрамуг, дверных и оконных проемов), *аэрации* (постоянное открывание) и *инфильтрации* (просачивание воздуха вовнутрь помещений через щели и поры в ограждениях). Удаление воздуха производится либо через разветвленную сеть каналов – воздухопроводов (канальная система вентиляции), либо через проемы в наружных ограждениях (бесканальная система вентиляции). Естественная вентиляция дешева и проста в эксплуатации. Основным ее недостатком заключается в том, что приточный воздух поступает в помещение без очистки и подогрева, а удаляемый не очищается и загрязняет атмосферу.

Принудительная (механическая) вентиляция обеспечивает поддержание постоянного воздухообмена, который осуществляется с помощью механических вентиляторов, воздухопроводов и воздухораспределителей. В зависимости от того, для чего служит система вентиляции, ее подразделяют на *приточную* (для подачи воздуха в рабочую зону), *вытяжную* (для удаления загрязненного или нагретого воздуха) и *приточно-вытяжную*.

Установка механической приточной вентиляции (рисунок 9) обычно состоит из воздухозаборного устройства (воздухоприемника) 1, устанавливаемого снаружи здания в месте наименьшей загрязненности; воздухопроводов 2, по которым воздух подается в помещение; фильтров 3, служащих для очистки воздуха от пыли; калориферов 4, в которых воздух подогревается до необходимой температуры; вентилятора 5; приточных отверстий или насадок 6, через которые воздух попадает в помещение, и регулирующих устройств, которые устанавливают в воздухоприемном устройстве и на отверстиях воздухопроводов.

Установка механической вытяжной вентиляции обычно состоит из вытяжных отверстий, решеток или насадок 7; вентилятора 5; воздухопроводов 2; устройства 8 для очистки воздуха от пыли (газов) и устройства 9 для выброса воздуха (вытяжной шахты), которое должно быть расположено на 1...1,5 м выше конька крыши.

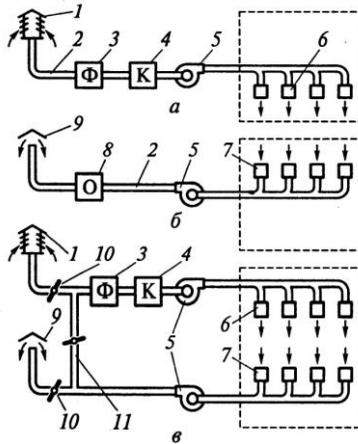


Рисунок 9.Схемы механической вентиляции: а – приточной; б – вытяжной; в – приточно-вытяжной с рециркуляцией: 1 – воздухоприемник; 2 – воздуховод; 3 – фильтр; 4 – калорифер; 5 – вентилятор; 6 – приточное отверстие (насадка); 7 – вытяжная решетка или насадка; 8 – устройство очистки воздуха от пыли; 9 – устройство для выброса воздуха (вытяжная шахта); 10 – заслонки для регулирования притока и вытяжки воздуха; 11 – рециркуляционный воздуховод.

По назначению вентиляция может быть общеобменной, местной и смешанной.

При *общеобменной* вентиляции вентилируется все помещение или его рабочая зона при наличии рассредоточенных источников вредных выделений.

Местная вентиляция в отличие от общеобменной обеспечивает вентиляцию непосредственно у рабочего места. Она может быть приточной либо вытяжной. Приточная вентиляция улучшает микроклимат в ограниченной зоне помещения, вытяжная – удаляет вредные загрязнения непосредственно в местах их образования.

Основной задачей вентиляции является обеспечение расчетного воздухообмена – замены загрязненного воздуха чистым. К вредным выделениям в помещениях относят: избытки теплоты (явной и скрытой), влагу, различные газы и пары вредных веществ, а также пыль. В производственных помещениях указанные вредные выделения могут быть в любых комбинациях, в помещениях жилых и

общественных зданий обычно имеются избытки теплоты, влаги и углекислого газа.

Явной теплотой называют теплопоступления, приводящие к повышению температуры в помещении (от людей, технологических процессов и оборудования, освещения, солнечной радиации). *Скрытой* теплотой называют теплопоступления в виде паров, которые увеличивают энтальпию воздуха в помещении, но не изменяют его температуру.

3.24. Расчет воздухообмена. Тепловые нагрузки вентиляции

Расчет воздухообмена (фактически количества воздуха, необходимого для ассимиляции вредных веществ L) проводят для холодного, переходного и теплого периодов года:

✓ по избыткам явной теплоты (Q , Вт) и отсутствию избытков влаги:

$$L = 3,6 \cdot \frac{Q}{1,2 \cdot c \cdot (t_e - t_n)};$$

✓ по избыткам влаги (W , г/ч) и отсутствию избытков явной теплоты:

$$L = \frac{W}{1,2 \cdot (d_e - d_n)};$$

✓ по количеству выделяющихся вредных веществ (m , мг/ч):

$$L = \frac{m}{\rho \cdot (q_e - q_n)};$$

✓ при одновременном выделении в помещениях вредных веществ, теплоты и влаги следует принимать воздухообмен, больший из рассчитанных для каждого вида вредных выделений.

В формулах указаны: t_e, d_e – температура и влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, °С, г/кг; t_n, d_n – температура и влагосодержание воздуха, подаваемого в помещение, °С, г/кг; q_n, q_e – концентрация

вредных веществ в воздухе, соответственно удаляемом из помещения за пределы обслуживаемой зоны и подаваемом в помещение, мг/м^3 ; c, ρ – теплоемкость и плотность воздуха.

Параметры внутреннего воздуха (t, φ) и наружного воздуха $(t, h, d = f(t, h))$ для каждого из периодов (холодный, переходный, теплый) следует принимать согласно СНБ 4.02.01-03.

Количество выделяющихся в помещениях производственных вредных веществ, теплоты и влаги следует принимать по данным технологической части проекта или нормам технологического проектирования. При отсутствии сведений о количестве вредных выделений, можно использовать данные натуральных обследований аналогичных предприятий или санитарно-гигиенические характеристики, указанные в паспортах технологического оборудования, а также полученные путем расчетов.

Как правило, процесс воздухообмена характеризуют *кратностью воздухообмена* – отношением объема воздуха, подаваемого в помещение или удаляемого из него за 1 ч, к объему помещения:

$$m = \frac{L}{V_n}, \text{ ч}^{-1}.$$

Эта величина часто используется для оценки правильности расчета воздухообмена в помещениях. Значения m приводятся в ТНПА для различных помещений, при этом указывается кратность по вытяжке и по притоку.

$$L = m \cdot V_n.$$

Нормативная кратность используется для расчета воздухообмена в рядовых помещениях, в основном, с избытками теплоты и CO_2 , то есть для жилых и общественных зданий:

По расчетному воздухообмену подбирается основное оборудование: вентиляторы, приточные камеры, воздухонагреватели, теплоутилизаторы, пылеуловители, фильтры, клапаны, шумоглушители и другое.

Расходом теплоты на вентиляцию Q_g называют количество теплоты, необходимое для нагрева поступающего холодного воздуха до температуры в помещении.

В случае естественной вытяжной вентиляции жилых и общественных зданий (вытяжка не компенсируется подогретым приточным воздухом) $Q_6 = Q_2$, и включается в состав расхода тепловой энергии на отопление (В этом случае обычно величину Q_o называют расходом на отопление и вентиляцию здания).

В общем случае, расчетный расход тепловой энергии на вентиляцию с искусственным побуждением (для приточной и приточно-вытяжной вентиляции):

$$Q'_6 = L \cdot c_6 \cdot (t_6 - t_n) = m \cdot V_n \cdot c_6 \cdot (t_6 - t_n),$$

где t_6 - температура воздуха, нагретого в воздухонагревателях (калориферах) – принимается равной расчетной температуре воздуха в помещении с учетом температурного градиента по высоте, °C; t_n - расчетная температура наружного воздуха; c_6 - объемная теплоемкость воздуха.

Текущий расход тепловой энергии на вентиляцию зданий:

$$Q_6(t) = Q'_6 \cdot \frac{t_6 - t}{t_6 - t_n},$$

в том числе средний расход за отопительный период:

$$Q_6^{cp.om}(t_{н.о}) = Q'_6 \cdot \frac{t_6 - t_{н.о}}{t_6 - t_n}.$$

Годовой расход тепловой энергии на вентиляцию зданий:

$$Q_6^{zod} = Q_6^{cp.om} \cdot n_6,$$

где n_6 – число часов работы вентиляции в отопительный период, определяемое расчетом (при отсутствии данных из расчета 16 часов в рабочие сутки).

Для оценки потребности в тепловой энергии на вентиляцию квартальной жилой застройки (города, района) при отсутствии проектных данных ТКП 45-4.02-182-2009 «Тепловые сети» допускает производить расчет по формуле

$$Q'_6 = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot q_o \cdot A,$$

где q_0 – укрупненный показатель максимального расхода теплоты на отопление жилых зданий на 1 м^2 общей площади, принимаемый по приложению А ТКП 45-4.02-182 в зависимости от года застройки, этажности, характеристики зданий в части внедрения мероприятий по энергосбережению и расчетной температуры наружного воздуха;

A – общая площадь жилых зданий, м^2 ;

k_1 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на отопление общественных зданий; при отсутствии данных 0,25;

k_2 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий; при отсутствии данных следует принимать равным: для общественных зданий, построенных до 1985 г. — 0,4, в период с 1985 г. по 1995 г. — 0,6;

3.25. Кондиционирование воздуха: общие сведения

Кондиционирование воздуха – это автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных его параметров (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) с целью обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологических процессов и сохранения ценностей культуры.

Система кондиционирования конструктивно состоит из воздухоприготовительного устройства (кондиционера), сети воздухопроводов, сетевого оборудования (доводчиков, распределителей воздуха, средств автоматического регулирования и шумоглушителей).

Принцип кондиционирования можно рассмотреть на примере форсуночного кондиционера, предназначенного для полной обработки воздуха, с регулируемыми рециркуляциями (рисунок 10).

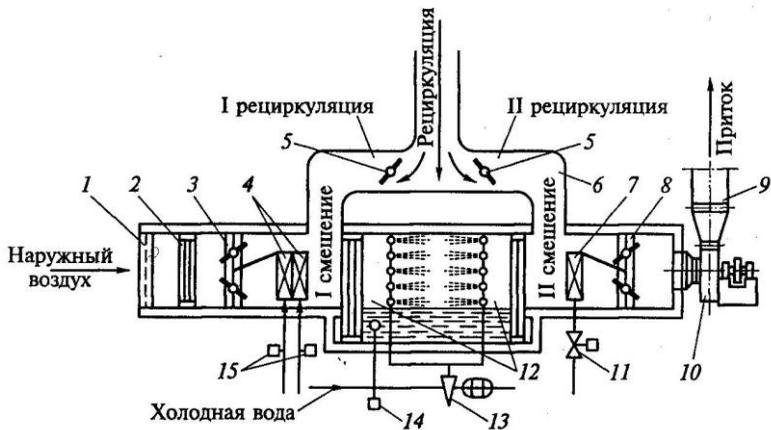


Рисунок 10. Система кондиционирования:

1 – жалюзийная решетка; 2 – фильтр; 3 – клапан; 4 – калориферы первого подогрева; 5 – заслонки рециркуляционного воздуха; 6 – камера смешения; 7 – калорифер второго подогрева; 8 – регулирующий клапан на пути воздуха; 9 – воздуховод; 10 – вентиляционный агрегат; 11 – регулирующий клапан на пути теплоносителя калорифера; 12 – оросительная камера; 13 – регулятор оросительной системы; 14 – поплавковое устройство; 15 – специальные клапаны

Наружный воздух поступает в кондиционер через жалюзийную решетку **1** и очищается от пыли в фильтре **2**. Пройдя клапан **3**, часть воздуха поступает в калориферы первого подогрева **4**. Установленные на подаче горячей воды в калориферы **4** специальные клапаны **15** регулируют степень нагрева воздуха в калориферах. Воздух может проходить, минуя калориферы, то есть оставаясь без подогрева. Затем свежий подогретый воздух смешивается с некоторым объемом рециркуляционного воздуха, возвращаемого из обслуживаемого кондиционером помещения через заслонки **5**.

Смесь наружного и рециркуляционного воздуха проходит оросительную камеру **12**, калорифер второго подогрева **7**, клапан **8**, попадает в вентиляционный агрегат **10** и по воздуховоду **9** поступает в помещение. Температура теплоносителя в калорифере **7** регулируется автоматически специальным клапаном **11**. Уровень воды в оросительной камере поддерживается поплавковым устройством **14**.

Насос с регулятором оросительной системы **13** обеспечивает поступление холодной воды к форсункам в требуемом количестве.

В практике кондиционирования в зависимости от вида обработки воздуха используются процессы охлаждения, нагревания, осушения и увлажнения.

Охлаждение воздуха при кондиционировании осуществляют с помощью специальных теплообменных аппаратов – воздухоохладителей, которые изготовляют двух типов: поверхностные «сухие» и «мокрые». В поверхностных «сухих» охладителях воздух вступает в контакт с охлаждающей поверхностью ребристых или гладких труб, в которых циркулирует холодная вода, рассол или специальный холодильный агент. В воздухоохладителях «мокрого» типа воздух охлаждается в результате непосредственного его соприкосновения с капельками холодной воды в оросительной камере со смоченной поверхностью, образованной металлическими фарфоровыми кольцами, постоянно орошаемыми холодной водой или рассолом. Встречаются конструкции охладителей, в которых воздух охлаждается при прохождении через натуральный дробленый лед.

Охлаждаться воздух может только в том случае, если у охлаждающей поверхности температура ниже температуры охлаждаемого воздуха. В воздухоохладителях «сухого» типа при температуре охлаждающей поверхности ниже температуры охлаждаемого воздуха по сухому термометру, но выше точки росы процесс охлаждения происходит при постоянном влагосодержании – от воздуха отводится только явная теплота, в результате чего его температура понижается. В тех случаях, когда температура поверхности «сухого» воздухоохладителя ниже точки росы, процесс охлаждения сопровождается конденсацией водяных паров из воздуха. При этом воздух охлаждается и одновременно осушается.

В охладителях «мокрого» типа при температуре разбрызгиваемой воды, равной температуре мокрого термометра, воздух в процессе охлаждения отдает явную теплоту и его температура понижается. Температура воды, несмотря на теплообмен, не повышается, так как теплота, отдаваемая ей воздухом, идет полностью на испарение. Следовательно, в этом случае температура воздуха понижается, а влагосодержание несколько возрастает, то есть воздух увлажняется.

Иногда для увлажнения воздуха используют водяной пар, но применяют этот способ редко, так как пар обладает неприятным специфическим запахом.

Охлаждение и увлажнение воздуха можно также производить с помощью перегретой воды. Принцип охлаждения воздуха в данном случае основан на использовании эффекта испарения при вскипании распыляемой перегретой воды. Расход теплоты на парообразование при этом превышает теплосодержание разбрызгиваемой воды, а недостающее количество ее отбирается от воздуха, в результате чего температура воздуха понижается. Испаряющаяся вода поступает в воздушно-паровую смесь и повышает ее влагосодержание.

Для нагревания воздуха используют калориферы – нагревательные аппараты гладкотрубной или оребренной конструкции. Термодинамический процесс нагревания воздуха в калорифере протекает при постоянном влагосодержании, но с повышением температуры воздуха его относительная влажность падает.

В тех случаях, когда для осушения воздуха применяют жидкие или твердые влагопоглощающие вещества, процесс осушения сопровождается повышением температуры осушаемого воздуха в результате перехода скрытой теплоты (при конденсации водяных паров) в явную.

Классификация систем кондиционирования воздуха:

1) по надежности:

✓ первый класс – заданные параметры воздуха не обеспечиваются в среднем 100 ч в год при круглосуточной работе или 70 ч в год при односменной работе в дневное время;

✓ второй класс – заданные параметры воздуха не обеспечиваются в среднем 250 ч в год при круглосуточной работе или 175 ч в год при односменной работе в дневное время;

✓ третий класс – заданные параметры воздуха не обеспечивают в среднем 450 ч в год при круглосуточной работе или 315 ч в год при односменной работе в дневное время.

2) по назначению:

✓ комфортные – используют для создания микроклимата, оптимального для жизнедеятельности людей.

✓ технологические – предназначены для обеспечения необходимых параметров воздуха для оптимизации технологических процессов.

3) по характеру связи с обслуживаемым помещением: местные и центральные (источники теплоты и холода централизованы, распределение воздуха по помещениям обеспечивается распределительной сетью воздуховодов);

4) по схеме обработки воздуха: прямоточные и рециркуляционные;

5) по конструктивным признакам: на автономные и неавтономные.

4. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И КАНАЛИЗАЦИЯ

4.1. Горячее водоснабжение. Тепловые нагрузки

Горячее водоснабжение почти не зависит от температур наружного воздуха, поэтому нагрузка горячего водоснабжения имеет практически постоянный годовой и резкопеременный суточный характер.

При централизованном горячем водоснабжении приготовление воды нужной температуры производится в одном общем для здания или группы зданий центре и затем по трубопроводам распределяется по помещениям или зданиям.

Для предотвращения остывания воды в трубах при периодическом ее разборе системы горячего водоснабжения во многих случаях снабжаются обратными, циркуляционными линиями. Циркуляция воды по системе производится с помощью насоса. Циркуляционные линии обязательны в зданиях, в которых необходимо постоянно поддерживать равномерную температуру воды в кранах (больниц, поликлиники, гостиницы, жилые дома).

При наличии постоянного расхода горячей воды или малой протяженности разводящих трубопроводов (промышленные предприятия, бани, прачечные) циркуляционные линии не сооружаются.

Средненедельная тепловая нагрузка горячего водоснабжения здания определяется по формуле

$$Q_{\text{ср.н}} = \frac{1,2 \cdot a \cdot m \cdot c \cdot (55 - t_x)}{24 \cdot 3,6}, \text{ Вт},$$

где a – норма расхода горячей воды с температурой $t_2 = 55^\circ\text{C}$ на одного человека, л/сут, принимаемая в зависимости от степени комфортности здания; m – число человек; c – удельная теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/(кг·К); t_x – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период, принимаемая 5°C .

Величина a для всех типов зданий принимается в соответствии с ТКП 45-4.01-52-2007 «Системы внутреннего водоснабжения зданий», приложение Б.

Потребление горячей воды имеет переменный характер как в течение недели, так и в течение суток. Наибольшее водопотребление приходится на праздничные дни и первый выходной день, а в течение суток – утром и вечером.

Неравномерность водопотребления характеризуется коэффициентами *недельной неравномерности* χ_n (показывает, во сколько раз расход воды за сутки с максимальным водопотреблением превосходит расход воды, средний за неделю) и *суточной неравномерности* χ_c (показывает, во сколько раз расход воды за час с максимальным водопотреблением превосходит расход воды, средний за сутки с максимальным водопотреблением).

Средняя за сутки максимального водопотребления тепловая нагрузка горячего водоснабжения жилого здания:

$$Q_z^{cp.c} = \chi_n \cdot Q_z^{cp.n}, \text{ Вт} .$$

Расчетная (максимально-часовая) тепловая нагрузка горячего водоснабжения жилого здания:

$$Q_z^p = \chi_n \cdot \chi_c \cdot Q_z^{cp.n}, \text{ Вт} .$$

Величины χ_n и χ_c следует определять в соответствии с ТКП 45-4.01-52-2007 «Системы внутреннего водоснабжения зданий», приложение Б или по справочным данным.

Например, для жилого дома квартирного типа с централизованным горячим водоснабжением, оборудованного умывальниками, мойками и ваннами длиной от 1500 до 1700 мм, оборудованными душами, расход воды на 1 человека составляет (ТКП 45-4.01-52-2007, приложение Б):

- = в сутки среднего водопотребления 105 л/сут;
- = в сутки наибольшего водопотребления 120 л/сут;
- = в час наибольшего водопотребления 10,0 л/ч.

Следовательно,

$$\chi_n = \frac{120}{105} = 1,14, \quad \chi_c = \frac{10,0}{(120/24)} = 2,0 .$$

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение определяется по формуле

$$Q_z^{200} = 0,024 \cdot Q_z^{cp.n} \cdot \left(z_{om} + \beta \cdot \frac{55 - t_{x.l}}{55 - t_x} (z_z - z_{om}) \right), \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где z_z, z_{om} – продолжительность работы системы горячего водоснабжения и длительность отопительного периода соответственно, сут; β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотапливаемый период по отношению к отопительному периоду, принимаемый при отсутствии данных для жилищно-коммунального сектора равным 0,8 (для курортов – от 1,2 до 1,5), для предприятий – 1,0; $t_{x.l}$ – температура холодной (водопроводной) воды в летний период, принимаемая равной 15°C.

Величину z_z обычно принимают равной 350 суток с учетом профилактических работ, проводимых на тепловых сетях.

В соответствии с ТКП 45-4.02-182-2009 «Тепловые сети» приложение А, средненедельную и расчетную (максимально-часовую) тепловую нагрузку горячего водоснабжения жилых и общественных зданий допускается определять с помощью укрупненного показателя:

$$Q_z^{cp.n} = q_z \cdot m, \text{ Вт},$$

$$Q_z^p = 2,4 \cdot q_z \cdot m, \text{ Вт},$$

где q_z – укрупненный показатель среднего расхода теплоты на горячее водоснабжение на одного человека, принимаемый по ТКП 45-4.02-182-2009 «Тепловые сети», таблица А.2, в нормы потребления горячей воды a на одного человека в сутки.

Расчет тепловых нагрузок горячего водоснабжения с помощью укрупненных показателей используют только для ориентировочных расчетов и при определении потребности в тепловой энергии города, района при централизованном теплоснабжении.

Температура горячей воды регламентируется следующими нормативными документами:

– ТКП 45-4.01-52-2007 «Системы внутреннего водоснабжения зданий»: температуру горячей воды в местах водоразбора следует предусматривать не ниже 50°C и не выше 75°C для систем цен-

трализованного горячего водоснабжения, присоединяемых к закрытым системам теплоснабжения (п. 5.4);

– ПСМ РБ от 30.05.2003 № 724 «О мерах по внедрению системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения Республики Беларусь»: норматив температуры горячей воды – не менее 50°C;

Постановление Минздрава РБ от 30.12.2009 № 142 «Об утверждении санитарных норм, правил и гигиенических нормативов «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации систем централизованного горячего водоснабжения»: температура горячей воды в местах водоразбора не должна быть ниже 50°C и выше 75°C.

4.2. Система водоотведения (канализация) зданий

Система канализации (водоотведения) — комплекс инженерных сооружений и устройств, предназначенных для приема и удаления сточных вод с территорий населенных мест и промышленных предприятий, а также их очистки и обезвреживания до выпуска в водоем. Основными элементами систем канализации являются: внутренняя канализационная сеть зданий; внутриквартальные или дворовые канализационные сети; наружные канализационные сети; насосные станции; очистные сооружения; выпуски.

Различные по характеру и концентрации загрязнения отдельные виды сточных вод требуют разных методов их очистки. В связи с этим возникает необходимость транспортирования отдельных видов сточных вод по самостоятельным трубопроводам. В зависимости от того, как отводятся отдельные виды сточных вод — совместно или раздельно, системы канализации подразделяют на: общесплавные, раздельные (полные, неполные и полураздельные) и комбинированные.

При *общесплавной системе* канализации все виды сточных вод отводят к очистным сооружениям по единой канализационной сети. Так как в период сильных дождей расход сточных вод, следующих на очистные сооружения, очень велик, а концентрация загрязнений их мала, часть смеси сточных вод сбрасывают в водоем без очистки через специальные устройства — ливнеспуски, располагаемые обычно на главном коллекторе вблизи водоема. Сбрасываемый рас-

ход определяется мощностью водоема, а также санитарными и экономическими соображениями.

При *раздельной* системе канализации отдельные виды сточных вод, содержащих загрязнения различного характера, отводят по самостоятельным канализационным сетям. При полной раздельной системе канализации устраивают не менее двух сетей — *бытовую* сеть для отвода бытовых сточных вод и *дождевую*, или водосточную сеть для отвода атмосферных сточных вод. Производственные сточные воды, загрязнения которых аналогичны загрязнениям бытовых сточных вод, отводят по бытовой сети. Если характер загрязнений производственных сточных вод не позволяет производить их совместную очистку с бытовыми сточными водами, их отводят по самостоятельным сетям. Если разные цехи промышленных предприятий дают сточные воды с загрязнениями, требующими разных методов очистки, для каждого из них устраивают свою канализационную сеть.

Бытовые и производственные воды подвергают очистке на самостоятельных очистных сооружениях. До недавнего времени атмосферные (поверхностные) воды разрешалось сбрасывать в водоемы без очистки. Такую систему принято называть полной раздельной системой канализации без очистки поверхностного стока.

В соответствии с действующим СНиП 2.04.03—85 не менее 70 % годового поверхностного стока должно подвергаться очистке. С этой целью создают одну из двух систем: полную раздельную систему канализации с локальными очистными сооружениями для очистки поверхностного стока или полную раздельную систему канализации с централизованными очистными сооружениями для очистки поверхностного стока. В последнем случае очистка поверхностного стока частично или полностью может производиться совместно с очисткой бытовых и производственных сточных вод. В период интенсивных ливней часть наиболее чистого поверхностного стока может сбрасываться через разделительные камеры в водоемы без очистки.

Система внутренней канализации состоит из приемников сточных вод, гидравлических затворов и внутренней канализационной сети, которая в свою очередь включает сеть трубопроводов (отводных линий, стояков, сборных коллекторов, выпусков) и местные установки для перекачки и предварительной очистки сточных вод

(решетки, песколовки, грязеотстойники, жируловители, бензомаслоуловители).



Системы внутренней канализации оборудуют устройствами:

для вентиляции (вентиляционными трубопроводами), для прочистки в случае засоров (ревизиями, прочистками) и для защиты помещений от проникания из канализационной сети вредных и дурно пахнущих газов (гидравлическими затворами — сифонами).

Отводной канализационный трубопровод, принимающий стоки от стояков внутренней канализационной сети прокладывают в техническом подполье. Помещение технического подполья постоянно вентилируется.

Материал и оборудование для систем внутренней канализации. Трубы. Для устройства сети применяют чугунные, асбестоцементные, пластмассовые, керамические, железобетонные, бетонные и стальные трубы. Трубы чугунные раструбные изготавливают диаметром 50, 100, 150 мм, покрытые битумом. Изменение направление трубопровода, присоединение отводов производят с помощью соединительных фасонных частей. Пластмассовые трубы по сравнению с металлическими имеют ряд преимуществ, и нашли

широкое применение в системах канализации. Асбестоцементные трубы используют для отвода агрессивных вод.

Приемники сточных вод. Приёмниками служат санитарные приборы, воронки, сливы, лотки. Для приема дождевых сточных вод на поверхности кровли устанавливают воронки, из прочного материала не поддающиеся воздействию сточных вод. Поверхность приборов должна быть гладкой и иметь закругленную форму.

Трассировка и устройство внутренней канализации. Сеть внутренней канализации, состоящую из отводных трубопроводов от приборов (приемников сточных вод), стояков, коллекторов (горизонтальных трубопроводов, объединяющих несколько стояков), вытяжных труб, выпусков и внутриквартирной сети, прокладывают с соблюдением правил.

Отводные трубопроводы прокладывают по стенам выше пола, а иногда под потолком расположенного ниже нежилого или общественного помещения в виде подвесных линий. Все отводные трубопроводы прокладывают по кратчайшему расстоянию с установкой на концах и на поворотах прочисток. Приемники сточных вод присоединяют к трубам с установкой между ними гидравлических затворов (сифонов).

Канализационные стояки, транспортирующие сточные воды от отводных линий в нижнюю часть здания, размещают вблизи приемников сточных вод (в туалетах, кухнях). Ревизии на стояке устанавливают на 1 м выше места присоединения отводной линии верхнего этажа и далее через два этажа на третьем, на первом этаже и в подвале.

Стояки размещают открыто - у стен и перегородок (ближе к углу), или скрыто - в монтажных шахтах, блоках, кабинах. Проходы стояков через перекрытия заделывают цементным раствором на всю толщину перекрытия и выше на 8—10 см с оберткой стояка рулонным гидроизоляционным материалом.

Выпуски, отводящие сточные воды от стояков за пределы здания во внутриквартирную канализационную сеть, укладывают с обеспечением плавных присоединений к стоякам (двумя отводами по 135° или удлиненными отводами).

Глубину заложения трубы выпуска определяют с учетом: границы промерзания грунта (низ трубы располагается выше границы промерзания на 0,3 м) ; предохранения трубы от механических по-

вреждений (в местах проезда наземного транспорта глубина заложения д/б не менее 1 м).

Наименьшая длина трубы выпуска от наружной стены до смотрового колодца зависит от вида грунтов: для твердых грунтов она соответствует 3 м, для просадочных - 5 м.

Для прокладки трубы выпуска в стене фундамента оставляют проем, обеспечивающий зазор вокруг трубы не менее 0,2 м. Зазор заделывают водогазонепроницаемым материалом (например, глиной) с установкой гильзы.

Организация уклона выпуска канализационной трубы из здания по принципу «чем больше, тем лучше» - ОШИБКА, так как это приводит к засорам. Уклон для трубы 100 мм должен быть строго 2 см/м. Эта цифра не случайна. Она обусловлена тем, что при таком уклоне в трубе максимально сохраняется транспортирующая способность потока сточных вод и они увлекают за собой крупные включения, которые неизбежно останутся в трубе при большем уклоне.

Использование для наружной магистрали пластиковых труб, предназначенных для внутренней прокладки приводит к преждевременному выходу системы из строя и необходимости значительного объема земляных работ для замены трубопровода, что особенно неприятно на обжитых участках.

Канализация, отводящая сточные воды, выделяющие запахи, вредные газы и пары, с вредными для здоровья компонентами, должна оборудоваться вентиляцией, осуществляющейся через вытяжные трубы, являющиеся продолжением стояков. Вытяжные трубы выводят на 0,3 м выше плоской и 0,5 м скатной неэксплуатируемых кровель здания, и не менее чем на 3 м выше плоской эксплуатируемой кровли. При объединении одной вытяжной трубой несколько стояков ее диаметр увеличивают на 50 мм. Объединять одной вытяжной трубой рекомендуется не более 6 канализационных стояков.

Используют также двухтрубную систему канализации. Вентиляционный стояк присоединяют к канализационному в самой нижней и самой верхней его точках, а также по высоте здания через этаж перемычками. Если диаметр вентиляционного стояка принимают равным диаметру канализационного (для высотных зданий), то стояки соединяют друг с другом через этаж перепусками.

Расчет сети внутренней канализации. Задачей расчета является подбор диаметров и уклонов трубопроводов канализационной сети, обеспечивающих отвод сточных вод от санитарно-технических приборов и сброс их в городской канализационный коллектор в самотечном режиме.

Максимальная пропускная способность стояка диаметром 100 мм при угле присоединения поэтажных ответвлений 90° составляет 3,2 л/с. Расчетный расход в основании стояка, л/с:

$$q_s = q_{tot} + q_{0s}, \quad (7.1)$$

где q_{tot} – общий максимальный расчетный расход воды приборами рассчитываемого стояка, л/с, определяется по формуле для количества приборов N , обслуживаемых этим стояком и вероятности действия приборов P_{tot} , зависящей от количества потребителей в здании и количества обслуживаемых приборов;

q_{0s} – залповый сброс стоков одним прибором, л/с, при наличии на стояке унитазов $q_{0s} = 1,6$ л/с.

Если расчетный расход превысит максимальную пропускную способность стояка, необходимо увеличить диаметр или изменить угол присоединения поэтажных ответвлений.

5. ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ

5.1. Методологическая и инструментальная база проведения энергетического обследования зданий в Республике Беларусь.

Необходимость комплексного подхода к осуществлению энерго- и ресурсосберегающих мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и в первую очередь систем обеспечения их микроклимата не подлежит сомнению и обусловлена главным образом сокращением запасов ТЭР, и как следствие, их постоянным удорожанием. С 2006 года Европейский Союз вел практику обязательной энергетической сертификации зданий, оценки их фактического энергопотребления и для повышения эффективности проектируемых.

Она основывается на Европейской программе по проблемам изменения климата (European climate change programme — ЕССР) и Директивах Евросоюза по энергетическим характеристикам зданий 2002/91/ЕС (общепринятое название EPBD — Energy Performance of Building Directive) и др. Стандарты EPBD учитывают взаимосвязь трех основных положений Директивы и рассматривают их как единое целое: требования к энергетическим характеристикам зданий и их расчеты, сертификаты на энергетические характеристики (энергетическая паспортизация) и проведение регулярных проверок.

Ключевыми стандартами EPBD являются следующие:

1) EN 15217. Energy performance of buildings. Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings (Энергоэффективность зданий. Методы выражения энергетических характеристик зданий и сертификация энергопотребления зданий, разработчик CEN/TC 89);

2) EN 15603. Energy performance of buildings. Overall energy use and definition of energy ratings (Энергоэффективность зданий. Полное использование энергии, первичная энергия и эмиссия CO₂, разработчик CEN/TC 371);

3) EN ISO 13790. Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling (Энергоэффективность зданий. Расчет потребления энергии для отопления и охлаждения помещений, разработчик CEN/TC 89);

4) EN 15316. Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies (Отопительные системы в зданиях. Метод расчета энергетической потребности системы и эффективности системы, 13 частей, разработчик CEN/TC 228);

5) EN 15243. Ventilation for buildings. Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems (Вентиляция зданий. Расчет комнатных температур, нагрузки и энергии для зданий с бытовыми системами кондиционирования, разработчик CEN/TC 156);

6) EN 15378. Heating systems in buildings. Inspection of boilers and heating systems (Отопительные системы в зданиях. Проверка бойлеров и отопительных систем, разработчик CEN/TC 228);

7) EN 15240. Ventilation for buildings. Energy performance of buildings. Guidelines for inspection of air-conditioning systems (Вентиляция зданий. Энергоэффективность зданий. Руководство по контролю систем кондиционирования воздуха, разработчик CEN/TC 156);

8) EN 15239. Ventilation for buildings. Energy performance of buildings. Guidelines for inspection of ventilation systems (Вентиляция зданий. Энергоэффективность зданий. Руководство по контролю вентиляционных систем, разработчик CEN/TC 156);

9) EN 15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics (Исходные параметры микроклимата помещений для проектирования и оценки энергетической эффективности зданий в отношении качества воздуха, теплового комфорта, освещения и акустики, разработчик CEN/TC 156).

В странах ЕС у каждого здания должен быть Сертификат энергоэффективности здания (энергетический паспорт), выдаваемый для нового здания или уточняемый при смене владельца (арендатора) для ранее построенного.

Жилищный фонд Республики Беларусь потребляет для отопления и горячего водоснабжения около 35-40 процентов энергоресурсов страны. В этой связи мероприятия по снижению энергопотребления имеют для республики большую народно-хозяйственную значимость.

Чтобы решить задачу энергосбережения в Беларуси следует воспользоваться механизмами законодательной базы, которая является экономическим стимулом использования ТЭР.

Структура управления энергосбережением в Республике Беларусь включает:

- Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь;
- областные и Минское городское управления по надзору за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов;
- координационный межведомственный совет по энергосбережению и эффективному использованию местных топливных ресурсов;
- экспертный совет при Департаменте по энергоэффективности Республики Беларусь;
- государственные предприятия «Белэнергосбережение» и «Белинвестэнергосбережение»;
- республиканская межведомственная комиссия по контролю за экономией и рациональным использованием топливно-энергетических и материальных ресурсов;
- отраслевые, областные, городские, районные и постоянно действующие организациях комиссии по контролю за экономией и рациональным использованием топливно-энергетических и материальных ресурсов;
- в облисполкомах, гор - и райисполкомах - штатные единицы ответственных за энергосбережение, в министерствах и ведомствах
- отделы или ответственные за энергосбережение [2].

К настоящему моменту нормативная база энергосбережения насчитывает значительное количество документов. В основе лежит Закон Республики Беларусь от 15 июля 1998 г. № 114-З «Об энергосбережении».

Данный закон регулирует отношения, возникающие в процессе деятельности юридических и физических лиц в сфере энергосбережения в целях повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, и устанавливает правовые основы этих отношений. В нём подчёркнуто, что энергосбережение является приоритетом государственной политики в решении энергетической проблемы в Республике Беларусь, и установлено, что объектами отношений в сфере энергосбережения являются физические и юридические лица (пользователи и производители ТЭР) осуществляю-

щие определенные виды деятельности. Законом определены основные принципы государственного управления в сфере энергосбережения и источники финансирования мероприятий по энергосбережению. Для производителей и пользователей топливно-энергетических ресурсов предусмотрена система получения льготных кредитов для проведения энергосберегающих мероприятий, определён порядок образования и использования фондов «Ресурсо - и энергосбережение» субъектами хозяйствования.

Директива президента Республики Беларусь №3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» устанавливает предписания государственным органам для снижения энергопотребления и рациональному использованию ТЭР, уменьшению энергоемкости валового продукта, вовлечению в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Закон Республики Беларусь от 27 декабря 2010 г. № 204-З «О возобновляемых источниках энергии» регулирует отношения, связанные с использованием возобновляемых источников энергии для производства электрической энергии, ее дальнейшим потреблением и иным использованием, а также с производством установок по использованию возобновляемых источников энергии. Закон определяет основные принципы государственной политики, субъекты и объекты отношений, основные направления государственного регулирования, права и обязанности производителей энергии из возобновляемых источников энергии. Законом регулируются полномочия исполнительных и распорядительных органов в сфере использования возобновляемых источников энергии. Закон определяет источники финансирования и цены на возобновляемые источники энергии и тарифы на энергию, производимую из возобновляемых источников энергии.

5.2. Энергетический паспорт здания.

Сертификация энергосбережения и использование системы классификации создают основу для оценки и сравнения энергопотребления, энергоэффективности и энергозатрат различных зданий. Основная цель состоит в том, чтобы владельцы, арендаторы и другие категории пользователей зданий могли ознакомиться с энергохарактеристиками того или иного здания в удобной и доступной форме с

тем, чтобы отличить энергоэффективное здание от других существующих на рынке, и определить количественную «ценность» такого отличия.

Классификация зданий по энергосбережению указывает на качество тепловой защиты здания, состояние и исправность источников тепла и оборудования центрального отопления, вентиляции, кондиционирования и освещения. В отличие от энергетического аудита, который заключается в оценке стоимости и окупаемости термомодернизации, энергетический сертификат показывает энергетические характеристики существующего здания и его энергетический класс. Энергетический аудит можно выполнять однократно, тогда как энергетический сертификат составляется раз в 10 лет (при отсутствии мероприятий, значительно влияющих на класс энергопотребления).

В Республике Беларусь существует энергетическая классификация новых зданий описанное в ТКП 45-2.04-43-2006, представленная в таблице 1. Согласно ему для жилых зданий новой постройки должен быть обеспечен годовой удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию не более $108 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ при естественной вентиляции.

Таблица 1. Классы энергетической эффективности зданий

Обозначение класса	Наименование класса энергетической эффективности	Отклонение («+» или «-») расчетных (фактических) значений удельного расхода тепловой энергии на отопление здания q_h^{des} от нормативных значений, %	Мероприятия, рекомендуемые органам администрации
Для новых и реконструированных зданий			
I	Энергоэффективный	-20	Экономическое стимулирование
II	C низким потреблением энергии	от -11 до -19	Экономическое стимулирование
III	C нормальным потреблением энергии	от +10 до -10	—
Для существующих зданий			

IV	С повышенным потреблением энергии	от +6 до +75	Целесообразна реконструкция здания
	С высоким потреблением энергии	Св. +76	Необходимо утепление здания в ближайшей перспективе

При выдаче энергетического сертификата здания используются немного другие параметры. Здания делятся на систему из 8 классов обозначенными буквами от A++ до F. С распределение энергозатрат от 10 и до более 250 кВт·ч/м²год. Это позволяет упростить оценку для различных зданий жилого фонда. Потребность в энергии на м² полезной жилой площади в год приведена на рисунке 1.

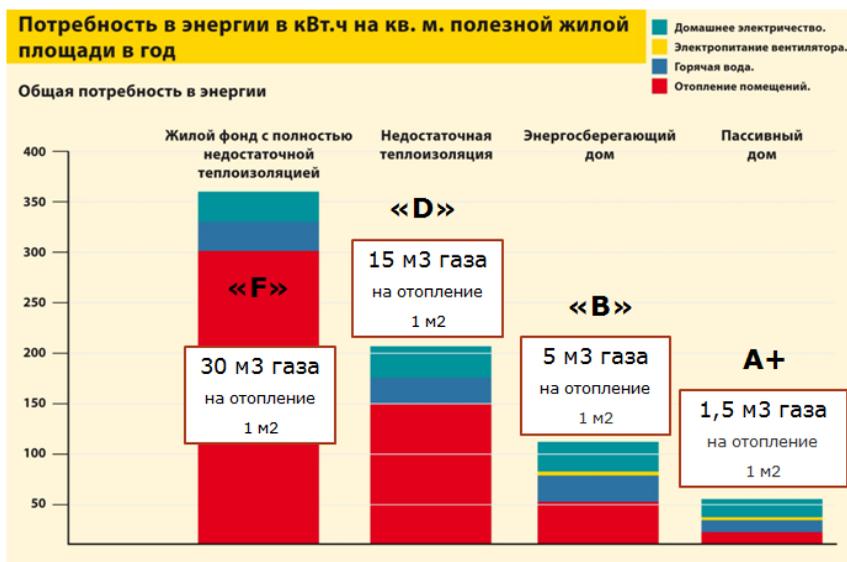


Рисунок 1. Потребность в энергии на м² полезной жилой площади в год.

При постройке жилья предприятие застройщик заранее может решить какого определенного энергетического класса здание они хотят построить. Продавец подержанного жилья может усовершенствовать свой дом, тем самым повысив его стоимость.

В сертификате указывается номер сертификата, что в дальнейшем послужит созданию республиканской базы данных об энергоэффективности зданий. Далее указывается предназначение здания и адрес; дата выдачи сертификата; срок его действия (10 лет); кем выдан, с указанием реквизитов организации, проводившей сертификацию; тип здания (существующее или новое); год строительства; год реконструкции (если проводилась); расчетная площадь.

Для наглядности в сертификате расположена фотография соответствующего здания. Также удобно читается энергетическая маркировка здания, представляющая собой цветовую шкалу с указанием класса энергоэффективности, к которому относится строение, и конкретной цифры потребления энергии на квадратный метр в год.

Здесь же можно найти расход электроэнергии и энергии на горячее водоснабжение. В нижнем левом углу указываются выбросы парниковых газов в эквиваленте CO_2 , вырабатываемых при сжигании углеводородного топлива, необходимого для обеспечения энергетических нужд здания. Пример сертификата представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 Энергетический сертификат здания

К энергетическому сертификату прилагается протокол. Сертификат выдается на основе методик, действующих в Республике:

- Расчёт удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию: «Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики»;
- Расчёт затрат энергии на горячее водоснабжение и электроэнергию на освещение и оборудование: «Методические указания по нормированию потребления тепловой и электрической энергии в учреждениях и на предприятиях социальной сферы»;
- Расчёт выбросов CO₂: «Правила оценки выбросов за счёт внедрения мероприятий по энергосбережению, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии».

5.3. Показатели энергоэффективности зданий

В Европе существует следующая классификация зданий в зависимости от их уровня энергопотребления:

- “Старое здание” (здания, построенные до 1970-х годов) — они требуют для своего отопления около трехсот киловатт-часов на квадратный метр в год: $300 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{г})$.

- “Новое здание” (которые строились с 1970-х до 2000 года) — $150 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{г})$.

- “Дом низкого потребления энергии” (с 2002 года в Европе не разрешено строительство более низкого стандарта!) — $60 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{г})$.

- “Пассивный дом” (уже принят Закон, согласно которому с 2019 года в Европе нельзя строить дома за стандартом ниже, чем пассивный дом!) —

$15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{г})$.

- “Дом нулевой энергии” (здание, архитектурно имеющее тот же стандарт, что и пассивный дом, но инженерно оснащенное так, чтобы потреблять исключительно только ту энергию, которую само и вырабатывает) — $0 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{г})$.

- “Дом плюс энергии” (здание, которое с помощью установленного на нем инженерного оборудования: солнечных батарей, коллекторов, тепловых насосов, рекуператоров и т.п. вырабатывало бы больше энергии, чем само потребляло).

Чтобы достигнуть максимальной энергоэффективности здания следует обратить внимание на ряд факторов:

Теплоизоляция:

- строительные конструкции с максимально повышенной теплоизоляцией (коэффициент теплопередачи не более $0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, стремится к идеалу $0,10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

- стыковые и переходные соединения без утечки тепла: правильный расчет либо абсолютно герметичное выполнение.

Герметичность:

- создание ограждающей герметичной оболочки;

- обеспечение герметичности всех стыковых и переходных соединений и пересечений.

Контролируемая вентиляция:

- механический способ вентиляции;
- рекуперация тепла: устанавливать соответствующие устройства вблизи термооболочки здания, степень рекуперации не ниже 75%;
- при необходимости - дополнительная теплоизоляция центрального прибора и подогревающего элемента;
- «комфортная» вентиляция: управляется пользователем;
- как альтернативный вариант - установка земляного теплообменника.

Окна:

- квалифицированная установка оконных конструкций;
- применение двойного остекления и суперизолирующих оконных рам.

Расположение и направление здания:

- южное направление основного фасада (допустимое отклонение плюс/минус 30°) и большие оконные проемы, направленные на юг;
- отсутствие затененных участков с целью обеспечения пассивного накопления солнечной энергии;
- растительность, не дающая тень.

Компактность формы сооружения:

- учесть фактор площади ограждающей поверхности здания (по возможности без выступающих конструкций);
- компактные формы здания, использовать возможность пристройки.

Специалисты Института тепло- и массообмена им. Лыкова НАН Беларуси по заказу Института энергетики НАН Беларуси разработали собственную систему классификации, воспользовавшись опытом зарубежных коллег в период с 2002-2010 года. Для оценки потенциал существующего жилого фонда следует воспользоваться параметрами данной методики, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные параметры при энергетической оценке зданий

№ п/п	Критерии	Метод определения	Оценка весомости, балл
1	Генеральный план и ландшафт Архитектура и планировочные решения		
1.1	Степень инсоляции прилегающей территории	% обеспеченности по действующим нормам:	
		>120 %	10
		110-120 %	7

№ п/п	Критерии	Метод определения	Оценка
		весомости, балл	
1.2	Обеспеченность полезной площадью жителей (сотрудников), м ² /чел	105–110 %	3
		>12	5
		10–12	3
		8–10	2
1.3	Комфортность объемно-планировочных решений	- высота 80 % помещений не менее 3,5 м при соотношении ширины и глубины не менее 1,5 : 1	5
		- высота 80 % помещений не менее 3,2 м при соотношении ширины и глубины не менее 2 : 1	3
		- высота 80 % помещений не менее 2,8 м	2
1.4	Наличие подземных коммуникаций	- высокая плотность	0
		- низкая плотность	10
2	Водопользование		
2.1	Разделение водопровода на хозяйственный и питьевой . Система сбора стоков.	- система очистки питьевого водопровода, утилизация «серых» питьевых стоков для использования в унитазах и писсуарах	10
		- система сбора и очистки стоков	5
2.2	Применение водосберегающей арматуры, оконечных устройств и приборов учета расхода воды	- система контроля и регулирования давления воды у конечных потребителей	5
		- система учета расхода воды у конечных потребителей	5
		- водосберегающая смывные бачки, душевые сетки, писсуары, смесители	5
		- наличие системы хранения воды	15
2.3	Наличие собственного источника водоснабжения	-река	5
		- грунтовые воды	5
3	Материалы, ресурсы, оборудование		
3.1	Энергоэффективность и экология бытового оборудования и оргтехники	- наличие экологических сертификатов, класс энергоэффективности А	10
		- наличие экологических сертификатов, класс энергоэффективности В–С	5
3.2	Энергоэффективность инженерного оборудования	- класс энергоэффективности кондиционеров, котлов, малых насосов А, вентустановки, холодильные машины, большие насосы имеют сертификаты «Евровент», «Европамп»	10
		-класс энергоэффективности кондиционеров, котлов, малых насосов В–С, вентустановки, холодильные машины, большие насосы имеют сертификаты «Евровент», «Европамп»	5
3.3	Термическая сопротивление ограждающих конструкций	- ниже нормативного	0
		-нормативное	20
		- выше нормативного	40
4	Качество и комфорт среды обитания		
4.1	Воздушно-тепловой комфорт	- оптимальные нормативные параметры микроклимата и воздухообмена с возможностью индивидуального регулирования	15
		- оптимальные нормативные параметры без возможности индивидуального регулирования	10
		-оптимальные параметры с отклонением до допустимых не более чем на 50 % полезной площади	5
4.2	Световой комфорт	Степень обеспеченности нормативами естест-	

№ п/п	Критерии	Метод определения	Оценка весомости балл
		веной освещенности в расчетных точках помещений	
		>120 %	15
		110–120 %	10
		105–110 %	5
5	Нетрадиционные и альтернативные энергоисточники		
5.1	Использование вторичных энергоресурсов	Доля утилизированной энергии в годовом энергобалансе	
		>20 %	10
		15–20 %	20
		10–15 %	30
		5–10 %	40
5.2	Использование нетрадиционных и альтернативных энергоисточников (ветро-, гелиоэнергетика, геотермика, тепловые насосы и др.)	Доля альтернативности энергетики в годовом энергобалансе	
		>20 %	40
		15–20 %	30
		10–15 %	20
		5–10 %	10

Пояснение критериев.

Раздел 1. Генеральный план и ландшафт Архитектура и планировочные решения

1.1 Степень инсоляции прилегающей территории. Чем выше степень инсоляции, тем активнее можно внедрять устройства солнечной энергетики.

1.2. -1.3. Комфортность устройства внутренних помещений. Соблюдение комфортных условий обитания человека в здании позволяет использовать устройства обеспечения микроклимата в номинальных режимах работы, что сокращает потребление энергии на их привод, а так же делает эффективной систему регулирования. Реализация этого принципа делает здание привлекательным для применения энергосберегающих технологий.

1.4. Наличие подземных коммуникаций. Близкое расположение плотной сети подземных коммуникаций делает невозможным применение грунтовых тепловых насосов.

Раздел 2. Водопользование

2.1 Разделение водопровода на хозяйственный и питьевой. Организация системы сбора и очистки стоков дает возможность рассматривать стоки как вторичный энергетический ресурс (ВЭР).

2.2 Применение водосберегающей арматуры, оконечных устройств и приборов учета расхода воды. Применение системы учета

параметров и расхода воды позволяет экономить энергию при подаче воды потребителю. Наличие в системе баков – аккумуляторов позволяет уменьшить капитальные расходы на внедрение новых элементов системы подачи воды и горячего водоснабжения.

2.3 Наличие собственного источника водоснабжения дает возможность установки водяного теплового насоса.

Раздел 4. Качество и комфорт среды обитания. Как и в пунктах 1.2-1.3

Раздел 5. Нетрадиционные и альтернативные энергоисточники

5.1. В любом административном здании существует возможность использования вторичных источников энергии (теплота вентвыбросов). Таким образом, если в здании проекты такого рода уже реализованы, то это повышает эффективность здания, однако снижает его общий потенциал для дальнейших проектов.

5.2 Критерий, перекликаясь с (5.1) дает определяет необходимо ли дальнейшее внедрение устройств нетрадиционной энергетики.

Полученный результат сводится в таблицу 3.

Таблица 1. Система энергетической маркировки зданий

Класс	Баллов	Рекомендации
A	270 – 181	Применение устройств нетрадиционной энергетики, вплоть до полного покрытия электрической и тепловой нагрузки.
B	180 – 101	Применение устройств нетрадиционной энергетики с учетом экономической целесообразности.
C	100 – 61	Применение устройств нетрадиционной энергетики возможно, однако первоначальный этап модернизации потребителей энергии не завершен
D	60 – 40	Предлагается провести первоначальный этап реконструкции системы энергообеспечения, в основе которого будут малозатратные мероприятия по повышению эффективности использования

		энергии.
Е	40 – 0	Введение системы учета параметров и расхода подачи энергоносителей, тепловая модернизация здания, создание нормативных условий обитания, при необходимости изменение архитектурно – планировочных решений здания и внутренних помещений.

5.4. Действия энергоаудитора

Составить энергетический паспорт здания. Типовой энергетический паспорт здания должен включать:

- данные о геометрии и ориентации здания, его этажности и объеме, площади наружных ограждающих конструкций и пола отапливаемых помещений;

- климатические характеристики района, а также длительность отопительного периода и расчетную температуру внутреннего и наружного воздуха;

- данные о системах обеспечения микроклимата помещений и способах их регулирования;

- сведения о теплозащите здания и его энергетических характеристиках, включая приведенные сопротивления теплопередачи отдельных ограждений и здания в целом, максимальный и удельный расходы энергии на отопление здания за отопительный период и приходящийся на одни градусо-сутки;

- соответствие теплозащиты и энергетических параметров здания нормативным требованиям; данные о системе освещения здания;

- данные о системе водоснабжения здания.

Измеряемые параметры, ответственные места. В процессе энергоаудита измеряются коэффициенты теплопередачи стен, перекрытий, оконных проемов. Замеряется площадь окон, средняя кратность воздухообмена за отопительный период, фактическая температура наружного воздуха и помещений, расходы электроэнергии, тепловой энергии, газа, горячей и холодной воды за сутки.

Проверяется качество изоляции ограждающих конструкций, остекление, уплотнение дверных и оконных проемов.

Комплексно исследуются системы отопления, вентиляции и кондиционирования, освещения и водоснабжения.

Возможные рекомендации по энергосбережению. Дополнительная изоляция стен и перекрытий, тройное и вакуумное остекление.

Модернизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования, освещения и водоснабжения.

Установка интегрированных систем управления оборудованием зданий.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Цель работы: изучение работы оборудования теплового пункта. Ознакомление с практикой работы систем автоматики, контроля и учета теплоты, с новыми методами регулирования нагрузок с целью экономии теплоты во всех системах теплоснабжения.

Основные положения

При теплоснабжении районов массовой застройки применяют обычно многоступенчатые системы теплоснабжения, в которых важную роль играет тепловой пункт.

Назначение теплового пункта – обеспечение оптимального использования теплоты, получаемой от ТЭЦ (или котельной); распределение ее между системами отопления, вентиляции и горячего водоснабжения с учетом реального теплопотребления в течение суток в зависимости от фактических внутренних и наружных температур; а также учет тепловыми счетчиками потребленной или отпущенной тепловой энергии потребителю.

Тепловые пункты сооружаются для каждого здания отдельно – *индивидуальные* тепловые пункты (ИТП) и для группы зданий – *центральные* тепловые пункты (ЦТП).

Типовые тепловые схемы ТП предусматривают установку элеваторов, которые не позволяют изменять расходы сетевой воды. Новые энергосберегающие мероприятия связаны с необходимостью глубокого регулирования всех параметров системы теплоснабжения. В новых тепловых схемах ТП принята установка подмешивающих насосов, систем дополнительной автоматики и регулирования, использование электронных регуляторов. Это позволяет учитывать фактическую температуру внутри и вне помещений, фактические потребности в теплоте. Оборудование и схемы ТП

должны учитывать возможность использования новых энергосберегающих технологий в системах теплоснабжения жилых и общественных зданий.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с правилами охраны труда и техники безопасности при работе в тепловом пункте (ТП).
2. Ознакомиться с производственными инструкциями по обслуживанию оборудования ТП.
3. Изучить тепловую схему ТП, схему автоматизации, учета и контроля, и зарисовать ее.
4. Снять показания манометров и термометров.
5. Вычислить коэффициент смещения элеватора.
6. Вычислить основные размеры элеватора, горловины элеватора, диаметр сопла.
7. Вычислить необходимый напор перед элеватором.
8. Определить количество отдаваемого тепла на отопление и горячее водоснабжение по тепловому счетчику и расчетным путем.
9. Данные занести в таблицы 1.1...1.4.

Методика расчета

Мощность теплового потока Q_o , кВт, отдаваемого водой в систему теплоснабжения здания, определяется формулой

$$Q_o = G c_p (\tau_1 - \tau_2), \quad (1.1)$$

где G – массовый расход воды через систему теплоснабжения, кг/с; c_p – удельная изобарная теплоемкость воды, равная 4,187 кДж/(кг·К); τ_1 , τ_2 – соответственно температура прямой и обратной сетевой воды, идущей от источника теплоты (соответственно до и после системы потребления), °С;

В системах теплоснабжения применяют следующие расчетные значения температур воды:

- 1) $\tau_1 = 95$ °С, $\tau_2 = 70$ °С в системах отопления жилых и общественных зданий;

2) $\tau_1 = 135 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau_2 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ в системах централизованного тепло-снабжения от котельной или ТЭЦ, а также в системах отопления промышленных зданий [22].

С целью сокращения расходов сетевой воды от ТЭЦ (экономия электроэнергии и капитальных вложений) ее температура (τ_1) существенно выше, чем вода, подаваемая непосредственно в систему отопления здания (t_3). В ТП установлено оборудование (насосы, элеваторы), обеспечивающие этот режим. Сетевая вода после системы отопления (τ_2) смешивается с прямой сетевой (τ_1).

Расчетный коэффициент смешения можно находить следующим образом:

- через отношение расходов

$$u = \frac{G_1}{G_2}; \quad (1.2)$$

- по температурам воды

$$u = \frac{\tau_1 + t_3}{t_3 + \tau_2}; \quad (1.3)$$

- с учетом расхода и температуры

$$u = \frac{G_1\tau_1 + G_2\tau_2}{G_1 + G_2}, \quad (1.4)$$

где u – коэффициент смешения; G_1 – расход теплоносителя, поступающего из тепловой сети, $\text{м}^3/\text{с}$; G_2 – расход теплоносителя, возвращающегося в тепловую сеть, $\text{м}^3/\text{с}$; τ_1 , τ_2 – соответственно температура прямой и обратной сетевой воды, $^\circ\text{C}$; t_3 – температура воды, подаваемой непосредственно в систему отопления здания, $^\circ\text{C}$.

По показаниям расходомеров определяется расход воды, циркулирующей в системе отопления. По значениям G_1 и G_2 определяется коэффициент смешения элеватора по формуле (1.1). Сопоставление значений величины коэффициента смешения, вычисленных по формулам (1.1) и (1.2), должно дать близкую сходимость. При отсутствующих расходомерах, фактический расход, $\text{м}^3/\text{с}$, теплоносителя при элеваторном присоединении системы отопления может быть определен по формуле

$$G_1 = 1,2 d_c^2 \sqrt{\Delta H}, \quad (1.5)$$

где d_c – диаметр сопла элеватора, м; ΔH – располагаемая разность

напора перед элеватором, м.

Разность напора H , м, в тепловой сети перед элеватором, определяющая его нормальную работу, находится из выражения:

$$\Delta H = 1,4h_m(1+u)^2, \quad (1.6)$$

где u – коэффициент смешения, полученный опытным путем в ходе лабораторной работы; ΔP_m – сопротивление местной системы отопления, по данным разности показаний манометров, Па; h_m – расчетные гидравлические потери в системе отопления, м.

Разность напора, м, в тепловой сети перед элеватором определяющая его нормальную работу, находится из выражения:

$$\Delta H = \frac{P_1}{\rho} - \frac{P_2}{\rho} \quad (1.7)$$

где P_1 – давление до элеватора, Па; P_2 – давление после элеватора, Па; ρ – плотность воды, при данной температуре воды, кг/м³.

Пользуясь величиной полученного коэффициента смешения, можно проверить основные размеры элеватора по формулам:

- диаметр горловины элеватора, м

$$d_2 = 9,6 \sqrt[4]{\frac{G_1^2(1+u)}{h}}. \quad (1.8)$$

- диаметр сопла элеватора, м

$$d_c = \frac{d_2}{1+u}. \quad (1.9)$$

При приборах, установленных на подающем и обратном трубопроводах, переданное на отопление количество тепла, кВт, определяют как

$$Q_o = c_p(G_1\tau_1 - G_2\tau_2), \quad (1.11)$$

где c_p – удельная изобарная теплоемкость воды, равная 4,187 кДж/(кг·К); G_1 – расход воды поступающей из тепловой сети, м³; G_2 – расход воды в обратном трубопроводе, м³; τ_1 – температура прямой сетевой воды, °С; τ_2 – температура обратной воды, °С;

При установке приборов учета расхода воды на обратном трубопроводе количество тепла, кВт, определяется по формуле

$$Q_o = G_2 c_p (\tau_1 - \tau_2), \quad (1.12)$$

где G_2 – расход воды в обратном трубопроводе, м^3 ; τ_1, τ_2 – соответственно температура прямой и обратной сетевой воды, $^{\circ}\text{C}$.

Массовый расход воды, $\text{кг}/\text{с}$, определяют по формуле

$$G = V\rho, \quad (1.13)$$

где V – объемный расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

ρ – плотность воды, при данной температуре воды, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Таблица 1.1 Таблица измерений и результатов

№ пп	Температура наружного воздуха, $t_{нр}, ^{\circ}\text{C}$	Температура сетевой воды, $^{\circ}\text{C}$		Давление теплоносителя, Па		Расход воды, поступающей из тепловой сети, $G_1, \text{м}^3/\text{с}$	Расход в обратном трубопроводе, $G_2, \text{м}^3/\text{с}$	Расход воды, циркулирующей в системе отопления, $G_3, \text{т}/\text{ч}$
		τ_1	τ_2	P_1	P_2			

Таблица 1.2 Таблица измерений и результатов

№ п/п	Температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$		Разность температуры по ТС, $\Delta t, ^{\circ}\text{C}$	Температура воздуха в помещениях, $t_{в}^{\text{п}}, ^{\circ}\text{C}$				Температура воды на ГВ, $^{\circ}\text{C}$		Давление теплоносителя после элеватора, $P_3, \text{Па}$
	на входе t_3	на выходе t_4		в ТП	1	2	3	на входе $t_1^{\text{хв}}$	на выходе $t_2^{\text{хв}}$	

Таблица 1.3 Таблица результатов расчетов

№ п/п	Коэффициент смешивания, u	Диаметр горловины элеватора, d_c	Диаметр сопла элеватора, d_2	Разность давлений, $\Delta H, \text{Па}$

Таблица 1.4 Таблица результатов расчетов

№ п/п	Тепловая энергия по ТС, Q , ГДж	Расход теплоносителя, на отопление $G_{вх}$, M^3/c	Расчет тепла, на отопление, Q , кВт	Расчет тепла, на ГВ, Q , кВт

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Цель работы: Определение коэффициента теплопередачи отопительного прибора.

Основные положения

Отопительные приборы, предназначенные для обогрева помещений, по преобладающему способу теплоотдачи делятся на три группы:

– *радиационные приборы*, передающие излучением не менее 50 % общего теплового потока (потолочные отопительные панели и излучатели);

– *конвективно-радиационные приборы*, передающие конвекцией от 50 до 75 % общего теплового потока (радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы, напольные отопительные панели);

– *конвективные приборы*, передающие конвекцией не менее 75 % общего теплового потока (конвекторы и ребристые трубы).

В данные группы входят отопительные приборы пяти основных видов (рис. 2.1): *радиаторы* секционные и панельные, гладкотрубные *приборы* – эти три вида приборов имеют гладкую внешнюю поверхность; *конвекторы*, *калориферы*, ребристые трубы – имеют ребристую поверхность.

Отопительные приборы должны обеспечивать равномерный обогрев помещений. Наиболее равномерно помещения нагревают *напольные* и *потолочные* отопительные панели.

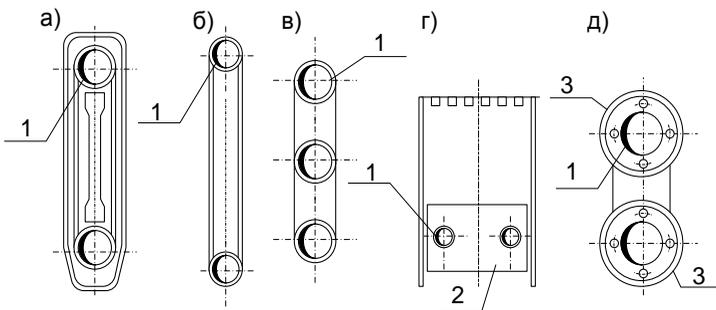


Рис. 2.1. Схемы отопительных приборов различных видов (поперечный разрез):

а – радиатор чугунный секционный; б – радиатор стальной панельный (PCB); в – гладкотрубный прибор из трех горизонтальных стальных труб; г – конвектор с кожухом; д – прибор из двух ребристых труб; 1 – канал для теплоносителя; 2 – стальная пластина; 3 – чугунный фланец

Порядок выполнения работы

Лабораторная установка (рис. 2.2), состоит из котла EUROLINE ZW 23-1, к которому подключен лабораторный стенд, включающий в себя отопительную радиаторную батарею собранную из 3-х алюминиевых секций «FONDITAL-MONDIAL-500», теплосчетчик «СТРУМЕНЬ ТС-05», регулятор температуры «СТРУМЕНЬ РТМ-02», датчики температуры, грязевик, шаровые краны и соединительные трубопроводы. Для выполнения работы:

1. Включить котел BOSH, задать режим нагрева воды для теплоснабжения до 55 С.
2. Закрыть кран байпасной линии, открыть кран на входе в радиатор б.
3. Включить регулятор 3 тепловой нагрузки РТМ-02 в сеть.
4. Перейти в режим ручного управления регулятором тепловой нагрузки, перевести регулирующий клапан 7 в положение, соответствующее 100 % открытия.
5. Включить тепло счетчик 5, нажав левую функциональную кнопку. Дождаться выхода системы на постоянный режим, когда температура воды достигнет 55 °С.

6. Зафиксировать показания параметров подающей и обратной горячей воды, по температуре и расходу, по показаниям на приборов на стенде «BOSH». Также снять показания параметров по температуре, расходу, количеству отданного тепла по горячей воде на отопительном приборе, по счетчику ТС-05 и занести все полученные данные в таблицу 2.2.

7. Повторить съем параметров по падающей и обратной воде на стенде и отопительном приборе не менее 5 раз с интервалом в 5 минут, данные занести в таблицу 2.2.

8. Произвести остановку котла. Закрыть краны на входе в радиатор, на выходе и входе стенда. Перекрыть подачу воды на стенд.

9. Закрыть газовый кран на входе на котел, на стенд и счетчике газа.

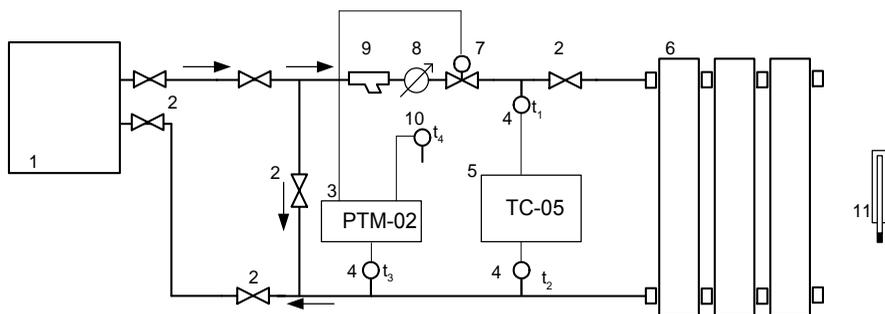


Рис. 2.2. Схема экспериментальной установки

1 – котел EUROLINE ZW 23-1; 2 – шаровые краны; 3 – регулятор тепловой нагрузки; 4 – датчики температуры; 5 – тепло счетчик; 6 – радиатор; 7 – регулирующий клапан; 8 – расходомер; 9 – фильтр; 10 – датчик температуры наружного воздуха; 11 – термометр

Методика расчета

На основе полученных данных найти мощность теплового потока отопительного прибора Q , Вт (2.1) и коэффициент теплопередачи k , Вт/(m^2 К) (2.9) отопительного прибора. На основе обмера отопительного прибора определить по справочным данным из Приложения 3 его тип и основные геометрические размеры, вес. Рассчитать

площадь нагревательной поверхности как одной A_c , m^2 , секции отопительного прибора так и всего прибора A_{np} , m^2 .

Мощность теплового потока Q , кВт, отдаваемого водой от отопительного прибора, определяется по формуле

$$Q = Gc_p(t_1 - t_2), \quad (2.1)$$

где G – расход воды через отопительный прибор, кг/с; c_p – удельная теплоемкость воды, равная 4,187 кДж/(кг·К); t_1 , t_2 – соответственно температура воды на входе и выходе отопительного прибора, °С.

Теплоотдача от отопительного прибора воздуху помещения, Вт, определяется по формуле

$$Q = k A (t_{np} - t_v), \quad (2.2)$$

где k – коэффициент теплопередачи отопительного прибора, Вт/(m^2 К); A – площадь нагревательной поверхности отопительного прибора, m^2 ; t_{np} – средняя температура на поверхности отопительного прибора, °С; t_v – температура внутреннего воздуха в помещении, °С.

Каждый отопительный прибор имеет определенную *площадь нагревательной поверхности* A , m^2 , рассчитываемую в соответствии с требуемой теплоотдачей прибора, если поверхностная плотность теплового потока прибора q_{np} , Вт/ m^2 , известна, то теплоотдача отопительного прибора Q_{np} , Вт, должна быть пропорциональна площади его нагревательной поверхности

$$Q_{np} = q_{np} \cdot A. \quad (2.3)$$

Следовательно, *расчетная площадь* A_p , m^2 , отопительного прибора независимо от вида теплоносителя определяется по формуле

$$A_p = \frac{Q_{np}}{q_{np}}, \quad (2.4)$$

где Q_{np} – требуемая теплоотдача отопительного прибора в помещение, Вт.

Для обеспечения необходимой теплоотдачи в прибор должно поступать определенное количество теплоносителя в единицу времени

G , кг/с, называемое *расходом теплоносителя*, при котором теплопередача в помещение сопровождается понижением его температуры, определяют по формуле:

$$G_{вод} = \frac{Q_m}{c_p (t_1 - t_2)}, \quad (2.5)$$

где G – расход воды через отопительный прибор, кг/с; Q_T – передаваемый тепловой поток в помещение, Вт; c_p – удельная теплоемкость воды, равная 4,187 кДж/(кг·К); t_1 – температура воды, входящей в отопительный прибор, °С; t_2 – температура воды, выходящей из отопительного прибора, °С;

Рассчитать расход металла на прибор, обеспечивающий повышение *теплового напряжения* металла прибора M , Вт/(кг К), определяемого по формуле

$$M = \frac{Q_{np}}{G_m (t_m - t_в)}, \quad (2.6)$$

где Q_{np} – тепловой поток от отопительного прибора при $\Delta t = 1$ °С, Вт; G_m – масса металла отопительного прибора, кг; t_m – температура теплоносителя в теплопроводе, °С; $t_в$ – температура воздуха в помещении, °С.

Рассчитать расходы теплоносителя во время эксперимента G , кг/с (2.5), и сравнить с полученными значениями, найденными по показаниям тепло счетчика (2.7). Расход воды через отопительный прибор, кг/с, определяется по формуле

$$G = V\rho, \quad (2.7)$$

где V – объемный расход воды, проходящий через отопительный прибор, м³/с; ρ – плотность воды, при данной температуре воды в отопительном приборе, кг/м³;

Температура воздуха в помещении определяется по показаниям сухого термометра.

Средняя температура, °С на поверхности отопительного прибора определяется по формуле

$$t_{np} = \frac{(t_1 + t_2)}{2}, \quad (2.8)$$

где t_1 , t_2 – соответственно температура воды на входе и выходе

отопительного прибора, °С.

Приравнивая формулы 2.2, 2.7 и 2.8, получаем выражение для определения коэффициента теплопередачи отопительного прибора k , Вт/(м² К):

$$k = \frac{Gc_p(t_1 - t_2)}{A(t_{np} - t_6)} \quad (2.9)$$

Полученные данные занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.1 Таблица измерений и результатов

№ п/ п	Температура					Объемный расход, $V, \text{ м}^3/\text{с}$		
	воз- духа, $t_{в}, \text{ }^\circ\text{C}$	теплоносителя на стенде		теплоносителя на отопительном при- боре		на поверх- ности ото- пительно- го прибо- ра, $t_{пр}, \text{ }^\circ\text{C}$	по стенду	по ТС
		на вхо- де, $\tau_1, \text{ }^\circ\text{C}$	на вы- ходе, $\tau_2,$ $^\circ\text{C}$	на вхо- де, $t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	на вы- ходе, $t_2,$ $^\circ\text{C}$			

Таблица 2.2 Таблица результатов расчетов

№ п/ п	Расход тепло- носителя $G, \text{ кг/с}$		Количе- ство от- данного тепла по счетчику, $Q, \text{ кВт}$	Расчетная мощность отопи- тельного прибора, $Q, \text{ кВт}$	Коэффициент теплопереда- чи отопитель- ного прибора, $k, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$	Нагрева- тельная по- верхность отопитель- ного прибо- ра, $A_{пр}, \text{ м}^2$	Тепловое напря- жение металла, $M, \text{ Вт}/(\text{кг} \text{ К})$
	рас- чет ны й	по из- мере- ниям ТС					

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Цель работы: ознакомиться с новыми теплоизоляционными ма-
териалами, применяемыми для тепловых сетей, определить их эф-
фективность.

Основные положения

В Республике Беларусь реализована централизованная схема теплоснабжения – подача теплоты потребителям от ТЭЦ и котельных тепловыми сетями. Эффективность схемы не вызывала сомнений, республика занимала ведущее место в мире по уровню теплофикации и централизованного теплоснабжения. Однако, значительное количество оборудования ТЭЦ и котельных, конструкций тепловых сетей морально и физически устарело (более 50 лет работы).

Применяемые ранее изоляционные материалы (в основном минеральная вата) не имели должного качества по теплоэффективности, по прочности и ряду других требований. В основном применялась канальная прокладка сетей, что затрудняет их своевременный ремонт и необходимую замену изоляции. Фактически тепловые сети в значительном количестве работают в условиях нарушения конструкций изоляции (разрушения, наличие влаги и др. неблагоприятные факты).

Нормативные (проектные) потери теплоты при транспорте должны составлять 4-6 %. При этом обеспечивается эффективность централизации. Фактически значения тепловых потерь составляют до 20-30 % (так, например, в тепловых сетях г. Минска – до 18 %). При таких значениях подача теплоты от ТЭЦ (особенно при протяженных тепловых магистралях) становится не эффективной (затратной).

Решение проблемы заключается в применении новых высокоэффективных изоляционных материалов (полиуретан, пенопласт, базальтовая вата и др.). Это позволяет сократить тепловые потери в 3-4 раза, обеспечить допустимые тепловые потери на уровне 4-5 %, сохранить работу ТЭЦ, обеспечить экономию топлива за счет теплофикации.

Порядок выполнения работы

Лабораторная установка (рис. 3.1), состоит из трех металлических труб, длиной $l = 1$ м, внутренним диаметром $d_1 = 0,020$ м и внешним диаметром $d_2 = 0,024$ м в них находятся ТЭНы (трубчатые электрические нагревательные элементы). На наружной по-

верхности каждой трубы зачеканено по четыре хромель-копелевые термопары. Одна труба (23) выполнена без изоляции, другая (21) – с теплоизоляцией из *стекловатных полуцилиндров*, третья (23) – с теплоизоляцией из *пенополиуретановых полуцилиндров*. На поверхности теплоизоляционных полуцилиндров находятся по четыре хромель-копелевые термопары. Для избежания механических воздействий, воздействий ультрафиолетового излучения, а также для уменьшения коэффициента теплоотдачи излучением ($\alpha_{л}$) теплоизоляционные полуцилиндры покрыты самоклеющейся алюминиевой фольгой.

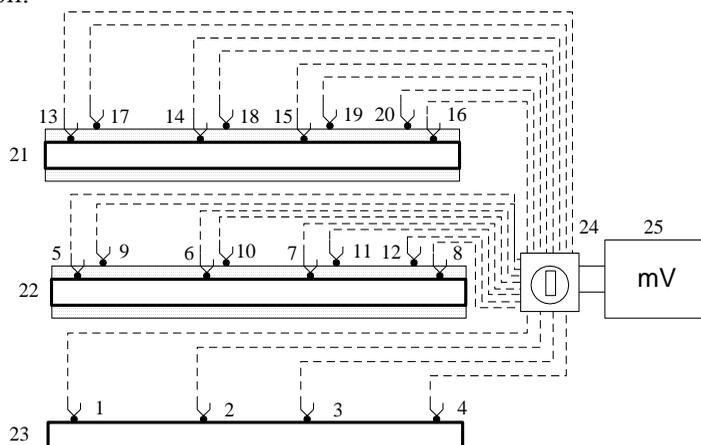


Рис. 3.1 Схема лабораторной установки

1 ÷ 20 хромель-копелевые термопары; 21 ÷ 22 – изолированные трубы с ТЭНами; 23 – неизолированная труба с ТЭНом; 24 – переключатель термопар; 25 – милливольтметр

1. Ознакомиться с инструкцией по выполнению работы. Изучить правила техники безопасности при выполнении работы.
2. Включить установку на нагрев трубы №1 (*голая*), установив режим нагрева по амперметру и вольтметру. Через 15–20 минут измерить температуру по термопарам № 1–4.
3. Повторить замеры температуры по объекту через 2–3 минуты не менее двух раз.
4. Переключить установку на нагрев трубы № 2 (*стекловата*) при данном режиме нагрева. Через 15–20 минут измерить тем-

пературу по термопарам № 5–12. Повторить замеры температуры по объекту той же последовательности 2–3 раза через 3 минуты.

5. Переключить установку на нагрев трубы № 3 (*пенополиуретан*) при данном режиме нагрева. Через 15–20 минут измерить температуру по термопарам № 13–20. Повторить замеры температуры по объекту.

6. Изменить режим нагрева латором, зафиксировав его по амперметру и вольтметру, повторить исследования на трубах №№ 2 и 3.

7. Снова изменить режим нагрева латором, зафиксировав его по амперметру и вольтметру, повторить исследования на трубах №№ 2 и 3 при новом температурном режиме.

8. Измерять температуру окружающей среды и скорость движения воздуха в помещении с помощью термоанемометра во время проведения эксперимента, и для введения погрешности на холодный спай термопары и определения коэффициент теплоотдачи α по формулам 3.4 – 3.6.

9. Выключить установку. Оформить таблицы испытаний 3.1 – 3.3 и расчетов 3.4 – 3.6.

Методика расчета

По показаниям милливольтметра, находят среднее значение всех термопар по вертикали для рассматриваемых режимов. Усредняют полученные значения для внутренней и внешней поверхностей. По градуировочной таблице для ХК термопар определяют температуры и с учетом температуры холодных спаев определяют температуры T_{n1} и T_{n2} , К.

Тепловой поток Q , Вт, выделяемый нагревателем, расположенным внутри трубы, соответствует его электрической мощности и определяется по формуле

$$q = \frac{0,86 \cdot (I \cdot U)}{\pi \cdot d_2 \cdot l}, \quad (3.1)$$

где I – сила электрического тока, А; U – падение напряжения на электронагревателе, В; d_2 – наружный диаметры трубы, м; l – длина трубы, м.

Тепловыделение, Вт, от горячих поверхностей трубопроводов рассчитываются по формуле

$$Q = \alpha (T_{\text{п}} - T_{\text{в}}) F, \quad (3.2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи (конвекцией и лучеиспусканием), Вт/(м² К); F – площадь поверхности, отдающей теплоту, м²; $T_{\text{п}}$ и $T_{\text{в}}$ – температуры наружной поверхностей трубы и окружающего воздуха, К.

Коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м² К), входящий в формулу (3.2), определяется как тепловой поток, проходящий через 1 м² поверхности при температурном напоре $\Delta T = T_{\text{п}} - T_{\text{в}}$, равном одному градусу. Он характеризует интенсивность теплообмена между телом и окружающей средой. Для плотности теплового потока, Вт имеем:

$$q = \alpha \cdot \Delta T, \quad (3.3)$$

отсюда можем найти коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м² К), как

$$\alpha = \frac{q}{\Delta T \cdot F} \quad (3.4)$$

но можно найти коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м²·К), из уравнения Стефана–Больцмана

$$\alpha = C_0 \varepsilon \left[\frac{\left(\frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{в}}}{100} \right)^4}{T_{\text{п}} - T_{\text{в}}} \right] \quad (3.5)$$

где C_0 – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела, равный 5,67 Вт/(м²·К⁴);

ε – степень черноты поверхности тела (определяется по таблицам).

При обследовании тепловых сетей часто коэффициент теплоотдачи α , Вт/(м² К), находят при известной скорости окружающего воздуха, по формуле

$$\alpha = 9,3 + 0,047(t_n - t_e) + 7\sqrt{w}, \quad (3.6)$$

где w – скорость движения окружающего воздуха, м/с.

Из закона Фурье для трубы длиной l , м, тепловой поток, Вт, будет равен

$$Q = \frac{\bar{T}n_1 - \bar{T}n_2}{\frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}} \pi l, \quad (3.7)$$

где d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметры трубы, м; T_{n1} и T_{n2} – температуры внутренней и наружной поверхностей трубы, К; λ – коэффициент теплопроводности исследуемого вещества при средней температуре $\bar{T} = (T_{n1} + T_{n2})/2$, К, нагреваемой внутренней и внешней поверхности, Вт/(м·К); l – длина трубы, м.

В условиях стационарного режима, вся теплота, выделяемая электрическим нагревателем, проходит через цилиндрический слой исследуемого материала. Приравнивая уравнения (3.2) и (3.7), находим значение коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м К), при температуре \bar{T} , К

$$\lambda = \frac{Q \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi \cdot l \cdot (\bar{T}_1 - \bar{T}_2)}. \quad (3.8)$$

Тепловое сопротивление изоляции R_u , м² К/Вт, для цилиндрического слоя находим как

$$R_u = \frac{1}{\pi \cdot 2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}. \quad (3.9)$$

При известных тепловых потоках находим коэффициент полезного действия изоляции по формуле

$$\eta_u = \frac{Q_n - Q_u}{Q_n}, \quad (3.10)$$

где Q_u – тепловой поток от изолированной поверхности трубы, Вт; Q_n – тепловой поток от неизолированной поверхности трубы, Вт.

Таблица 3.1 Таблица измерений и результатов (труба №1)

№ п/п	I, А	U, В	Показания милливольтметра, мВ				T _{х.сп} , К	T _{п1} , К
			№ термопар					
			1	2	3	4		

Таблица 3.2 Таблица измерений и результатов (труба №2)

№ п/ п	I, А	U, В	Показания милливольтметра, мВ								T _{х.сп} , К	T _{п1} , К	T _{п2} , К
			№ термопар										
			5	6	7	8	9	10	11	12			

Таблица 3.3 Таблица измерений и результатов (труба №3)

№ п/ п	I, А	U, В	Показания милливольтметра, мВ								T _{х.сп} , К	T _{п1} , К	T _{п2} , К
			№ термопар										
			13	14	15	16	17	18	19	20			

Таблица 3.5 Таблица результатов расчетов

Труба	Скорость окружающего воздуха, w, м/с	T _{п1} , К	T _{п2} , К	Тепловой поток от ТЭН, q, Вт	Тепловой поток, Q _{п1} , Вт	Тепловой поток, Q _{п2} , Вт
1						
2						
3						

Таблица 3.6 Таблица результатов расчетов

Труба	Коэффициент теплоотдачи, α, Вт/(м ² ·К)			Коэффициент теплопроводности, λ̄, Вт/(м·К)	Тепловое сопротивление изоляции, R _и , м·К/Вт	КПД изоляции, η _и
	по формуле (3.4)	по формуле (3.5)	по формуле (3.6)			
2						
3						

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Цель работы: Ознакомиться с принципом работы системы естественной вытяжной вентиляции. Провести экспериментальную проверку режима работы естественной системы вентиляции.

Основные положения

Вентиляционная система (ВС) – это совокупность устройств, для обработки, транспортирования, подачи и удаления воздуха. Вентиляционные системы классифицируют в зависимости от их функционального назначения и принципиальных конструктивных особенностей.

По *способу побуждения* движения воздуха системы вентиляции делятся на:

- системы с *естественным побуждением* – перемещение воздуха обусловлено действием сил гравитации (естественное гравитационное давление, создаваемое за счет разности температур и плотностей наружного и внутреннего воздуха) и ветрового давления;

- системы с *искусственным (механическим) побуждением* – движение воздуха вызвано вентиляторами.

По *наличию воздухопроводов* системы вентиляции бывают канальные и бесканальные. *Бесканальные системы* не имеют воздухопроводов для транспортирования воздуха, примером является открытое окно для притока свежего воздуха. В *канальных системах* естественной вентиляции подача наружного воздуха или удаление загрязненного осуществляется по специальным каналам, предусмотренным в конструкциях здания, или приставным воздуховодам.

Вытяжная естественная канальная система вентиляции (рис. 4.1) в жилом здании организует воздухообмен таким образом: наружный воздух поступает в жилые помещения, а загрязненный удаляется через вытяжные каналы кухни и санузла. Естественная вентиляция осуществляется для помещений, не требующих воздухообмена больше $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 жилой площади. Минимальный

воздухообмен определяется исходя из необходимости вентиляции кухни и санузлов (Приложение 4).

Естественная канальная вентиляция (рис. 4.1) состоит из вертикальных (1) внутри стенных или приставных каналов с отверстиями, закрытыми жалюзийными решетками (2), сборных горизонтальных воздуховодов (3) и вытяжной шахты (4). Для усиления вытяжки воздуха из помещений, на шахте часто устанавливают специальную насадку – *дефлектор* (5). Загрязненный воздух из помещений поступает через жалюзийную решетку в канал, поднимается вверх, достигая сборных воздуховодов, и оттуда выходит через шахту в атмосферу. Компенсация удаляемого воздуха происходит – за счет поступления наружного воздуха, и перетекания воздуха из других помещений.

В зависимости от этажности здания в каналах соответствующих этажей при естественном побуждении движения воздуха значения скоростей принимают по схеме приведенной в Приложении 5.

Естественное гравитационное давление воздуха Δp_e , Па, определяют по формуле

$$\Delta p_e = h_i g (\rho_n - \rho_v), \quad (4.1)$$

где h_i – высота воздушного столба, принимаемая от центра вытяжного отверстия до устья вытяжной шахты, м; g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$; ρ_n – плотность наружного воздуха при данной температуре, кг/м^3 ; ρ_v – плотность внутреннего воздуха при данной температуре, кг/м^3 .

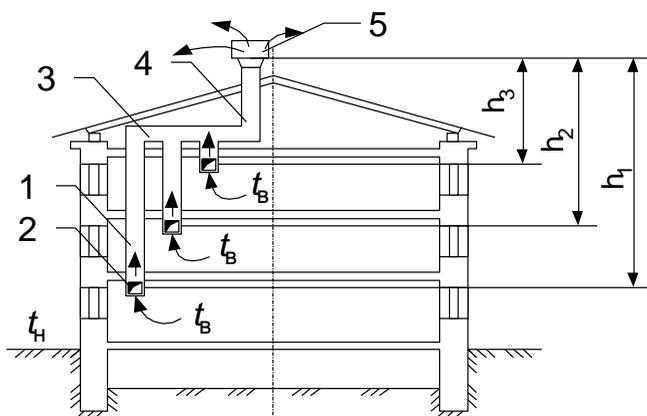


Рис. 4.1. Схема естественной вытяжной канальной вентиляции
 1 – вертикальный канал (воздуховод); 2 – жалюзийная решетка; 3 – сборный горизонтальный канал (воздуховод) зонт (или дефлектор); 4 – сборная вытяжная шахта; 5 – дефлектор (или зонт)

Расчетное естественное (гравитационное) давление для систем вентиляции жилых и общественных зданий определяется для температуры наружного воздуха $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. При более высоких наружных температурах, когда естественное давление становится весьма незначительным, дополнительный воздухообмен можно получать, открывая более часто и на более продолжительное время форточки, фрамуги, а иногда створки оконных рам.

Рассматривая формулу естественного гравитационного давления воздуха (4.1), можно сделать следующие выводы.

1. Верхние этажи здания по сравнению с нижними находятся в менее благоприятных условиях, так как располагаемое давление здесь меньше.

2. Естественное давление становится большим при низкой температуре наружного воздуха и заметно уменьшается в теплое время года.

3. Охлаждение воздуха в воздуховодах (каналах) влечет за собой снижение действующего давления и может вызвать выпадение конденсата со всеми вытекающими последствиями.

Из формулы (4.1) следует, что естественное давление не зависит от длины горизонтальных воздухопроводов, тогда как для преодоления сопротивлений в коротких ветвях воздухопроводов, безусловно, требуется меньше давления, чем в ветвях значительной протяженности. На основании технико-экономических расчетов и опыта эксплуатации вытяжных систем вентиляции радиус их действия (от оси вытяжной шахты до оси наиболее удаленного отверстия) допускается не более 8÷10 м.

Для нормальной работы системы естественной вентиляции необходимо сохранение равенства перепада давления, Па,

$$\Delta p_e = \Sigma(R/\beta + Z) \alpha, \quad (4.2)$$

где R – удельная потеря на трение, Па/м; l – длина воздухопроводов (каналов), м; Z – потеря давления на местные сопротивления, Па; B – поправочный коэффициент на шероховатость поверхности канала; α – коэффициент запаса, равный 1,1-1,15.

Если известна площадь сечения воздухопроводов (каналов) и известен часовой расход воздуха, скорость движения воздуха v , м/с, в системе естественной вентиляции определяться по формуле

$$v = \frac{L}{3600f}, \quad (4.3)$$

где f – площадь сечения канала воздухопровода), м²; L – расход вентиляционного воздуха, м³/ч.

В системах естественной вентиляции для увеличения располагаемого давления на устье вытяжной шахты устанавливают насадки – дефлекторы. Усиление тяги происходит благодаря разряжению, возникающему при обтекании дефлектора ветром. На рис 4.3 приведена схема дефлектора ЦАГИ. Разряжение, создаваемое дефлектором P_o , Па, и количество удаляемого воздуха зависят от скорости ветра и могут быть определены по формуле

$$P_o = \frac{P_h}{P_e} \cdot \frac{v_B^2}{2} \rho, \quad (4.4)$$

где P_h – динамическое давление в устье патрубка дефлектора, Па; P_e – скоростное давление ветра, Па; v_B – скорость ветра, м/с; ρ – плотность наружного воздуха ($\rho_B = 1,2$ кг/м³).

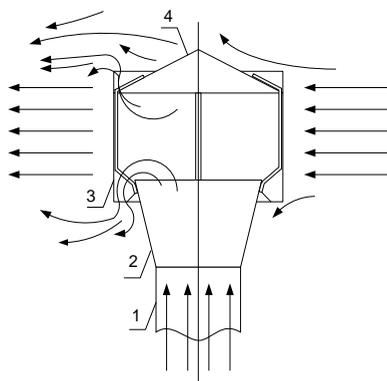


Рис.4.3. Дефлектор
 1 – цилиндрический патрубок; 2 – диффузор; 3 – кольцо; 4 – зонт.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа (рис 4.4) состоит из воздуховода выполненного из оцинкованного железа высотой $H = 3100$ мм (1) диаметром $D = 100$ мм и дефлектора (4), в нижней части воздуховода вмонтирован электронагреватель (2). По длине воздуховода на высотах $h_1 = 330$ мм, $h_2 = 1040$ мм, $h_3 = 1970$ мм, $h_4 = 2900$ мм находятся отверстия (3) для замера скорости, давления и температуры воздуха.

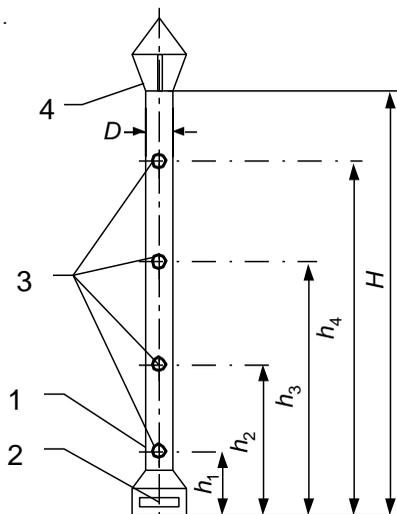


Рис. 4.4 Схема лабораторной установки

1 – воздуховод; 2 – электрический нагреватель; 3 – отверстия для измерения скорости воздуха; 4 – зонт (или дефлектор)

Измерить температуру и скорость движения воздуха в помещении. Скорость воздуха и температура определяется термоанемометром Testo-425. Включить нагреватель в сеть, положение нагрева 1. Через 10 минут после включения для установившегося режима в точках измерения h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 (выхлоп дефлектора) измерить температуру и скорость воздуха в канале с помощью термоанемометра Testo-425. Повторить измерения не менее трех раз с интервалом в 3-5 минут.

Переключить нагреватель в другое положение и через 10-15 минут повторить измерения. Полученные результаты занести в таблицу 4.3.

Методика расчета

По полученным данным рассчитать естественное гравитационное давление ΔP_e по формуле (4.1), плотности воздуха при данной температуре определить по Приложению 2.

Используя показания термоанемометра, рассчитать динамическое давление в точках измерения P_h , Па, по формуле

$$P_h = \frac{v_h^2}{2} \rho_v, \quad (4.3)$$

где v_h – скорость воздуха в патрубке дефлектора, м/с; ρ_v – плотность воздуха, кг/м³.

По полученной экспериментально скорости воздуха для данной точки измерений определить объем воздуха V , м³/с, перемещаемого в воздуховоде, по формуле

$$V = F v_{cp}, \quad (4.4)$$

где F – площадь сечения канала, м²; v_{cp} – средняя скорость воздуха в патрубке дефлектора, м/с.

Площадь сечения, м², для круглого воздуховода находится как

$$F = \pi D^2/4, \quad (4.5)$$

где D – диаметр воздуховода, м.

Площадь сечения, м², для квадратного воздуховода находится как

$$F = ab, \quad (4.6)$$

где a – основание воздуховода, м; b – высота воздуховода, м;

При этом в системе естественной вытяжной вентиляции количество теплоты, уходящее с воздухом, Q_v , кВт, определяется по формуле

$$Q_v = V c_v (t_{nc} - t_{н.в}), \quad (4.7)$$

где V – объемный расход воздуха, м³/с; c_v – теплоемкость воздуха, кДж/(кг °С); t_{nc} – средняя температура уходящего воздуха, °С; $t_{н.в}$ – температура наружного воздуха, °С;

Разряжение, создаваемое дефлектором P_d , рассчитать по формуле 4.2.

Таблица 4.4 Таблица измерений и результатов

№ п/п	P_0 , Па	$v_{в.н}$, м/с	$t_{н.в}$, °С	h_i , м	$t_{в.н}$, °С	v_h , м/с	$\rho_{в.н}$, кг/м ³	P_h , Па	Δp_e , Па	V , м ³ /с	$Q_{в}$, кВт

Лабораторная работа № 5

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Цель работы: изучить оборудование и работу приточных вентиляционных установок (ПВУ); возможность и эффективность использования теплоты уходящего воздуха для подогрева наружного (поступающего в ПВУ).

Основные положения

Системы вентиляции общественных зданий потребляют до 80 % всей теплоты расходуемой на отопления здания. При этом на отопление жилых, общественных и производственных зданий по разным оценкам расходуется до 30 % энергоносителей, используемых в республике, а с учетом потерь на теплотрассах, расходы возрастают еще на 20-30 %.

Потери энергии в первую очередь связаны с низкой энергоэффективностью зданий, которая обусловлена низкими теплоизоляционными характеристиками ограждающих конструкций, плохим качеством столярных изделий, не плотностям в ограждающих конструкциях, несовершенством инженерных сооружений. Потери тепла, поступающего в здание на отопление, распределяются следующим образом:

- через ограждающие конструкции 40-50 %;
- через окна и вентиляцию 30-45 %;
- подвальные и чердачные помещения 5-30 %;

Уровень тепловых потерь многоэтажных зданий существующего жилого фонда достигает при этом 160-200 кВт·ч/м².

Доля потерь энергии на вентиляцию в суммарных потерях энергии здания увеличивается при повышении термосопротивления ограждающих конструкций. Например, при холодной пятидневке (-25°C) и 18°C в помещении при термосопротивлении стены $R_{\text{ст}} = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, окна $R_{\text{ст}} = 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ распределение теплотерь выглядит следующим образом:

-	через стены	5,2 Вт/м ² ;
-	через окна	7,3 Вт/м ² ;
-	с воздухообменом	21,4 Вт/м ² .

Основной упор при энергосбережении в зимний период должен быть сделан на разработку и совершенствование энергоэффективных систем вентиляции. В них заложен основной принцип — контроль и управляемость воздухообмена. Поэтому вентиляционные системы должны быть:

- полностью контролируемые без притока воздуха за счет воздухопроницаемости конструкций;
- с принудительными электромеханическими побудителями;
- с возможностью работы в различных режимах по производительности;
- с автоматическим выбором режимов работы;
- с регулированием уровня воздухообмена в помещениях в зависимости от качества воздуха;
- с рекуперацией тепла, отводимого вентиляционной системой воздуха.

Замкнутость вентиляционной системы означает, что свободный воздухообмен через неплотности или щели в ограждающих конструкциях должен быть исключен, Это делает воздухообмен в помещениях контролируемым и управляемым.

Принудительная система вентиляции должна иметь не менее двух режимов работы: режим ожидания и рабочий. *Режим ожидания*, когда время большинство населения в жилых помещениях отсутствует и воздухообмен в квартирах может быть снижен до минимального уровня. *Рабочий режим*, в ночное, вечернее и утреннее время — максимальный уровень воздухообмена в спальне, кухне, санузле и общей комнате при снижении воздухообмена в остальных помещениях.

Решение задачи оптимального воздухообмена возможно только при автоматической системе регулирования и возможности пере-

распределения воздушных потоков между комнатами в квартире. Такого рода организационные мероприятия, могут уменьшить коэффициент общего воздухообмена, а, следовательно, и потери энергии за счет воздухообмена на 30-50 %.

Основным элементом, обеспечивающим экономию энергетических ресурсов в системе вентиляции, является теплообменник «воздух/воздух». Он обеспечивает передачу тепла вентиляционных выбросов свежему воздуху. В теплообменнике приточный воздух нагревается от значения температуры t_1 до температуры t_2 , а уходящий из помещения остывает от температуры t_2 до температуры t_0 .

Эффективность работы приточной вентиляционной установки (ПВУ) определяется правильным подбором поверхности нагрева калорифера; оптимальным количеством подаваемой сетевой воды; работой систем автоматики, регулирующей количество и температуру подаваемого воздуха с учетом наружной температуры и требований комфортности помещений. Удаляемый из помещения воздух с температурой 18-20 °С целесообразно использовать для подогрева (рециркуляции) подаваемого в ПВУ наружного воздуха, что позволяет снизить расход теплоты на 40-60 %. Эффективность утилизации теплоты вентиляционных выбросов определяется конструкцией (стоимостью) теплоутилизационных систем.

Порядок выполнения работы

Схема экспериментального теплообменника на тепловых трубах изображена ниже на рисунке 5.1. Верхняя часть теплообменника представляет собой канал холодного воздуха, нижняя часть – канал горячего воздуха.

Оба канала пересекают пучок тепловых труб. В канал горячего воздуха комнатный воздух всасывается с помощью вентилятора 3, далее поступает в конфузор, в котором расположен нагреватель, имеющий две ступени нагрева. Здесь комнатный воздух нагревается и затем поступает в пространство между оребренными тепловыми трубами. Отдав часть теплоты тепловым трубам, охлажденный воздух выходит по каналу наружу.

В канал холодного воздуха комнатный воздух всасывается с помощью вентилятора 7, поступает во вторую половину пространства

между тепловыми трубами где принимает теплоту, отданную горячим воздухом, и нагретым выходит наружу по каналу.

Вентилятор в канале горячего воздуха 3 и нагреватели 4 запитаны непосредственно от сети переменного тока напряжением 220 В. Вентилятор в канале холодного воздуха 7 с целью регулирования расхода воздуха подключен к ЛАТРу, изменяющему напряжение питания от 0 до 220 В.

На входе и выходе каждого канала расположены термодары 2, измеряющие температуры воздуха. Теплообменник закреплен на подставке, на лицевой панели которой расположены элементы управления. Показания термодар регистрируется цифровым вольтметром 6, подключенным к ним через шаговый переключатель 5.

Средняя скорость воздуха v в каждом из каналов определяется с помощью лепесткового анемометра, порядок работы с которым описан в Приложении 6.

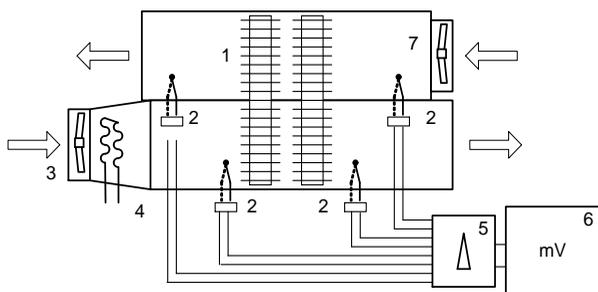


Рис.5.1. Схема экспериментального теплообменника на тепловых трубах

1 – пучок тепловых труб; 2 – термодары, измеряющие температуры горячего и холодного воздуха на входе и выходе соответственно; 3 – вентилятор горячего воздуха; 4 – нагреватель; 5 – колодка термодар и переключатель термодар; 6 – милливольтметр; 7 – вентилятор холодного воздуха.

Управление установкой осуществляется с пульта управления:

1. Установить тумблер выключения сети в верхнее положение «Сеть». При этом загорится сигнальная лампочка на левой боковой стенке подставки.

2. Установить выключатель вентилятора 3 и нагревателя 4 в положение «ВКЛ». При этом одновременно начинают работать вентилятор канала горячего воздуха 3 и нагреватель 4.

ВНИМАНИЕ: Нагреватель не может работать длительное время без обдува воздухом. Поэтому, если при включении нагревателя вентилятор не заработал, необходимо немедленно отключить установку от электропитания, поставив тумблер выключения сети в нижнее положение, и сообщить об этом преподавателю.

3. Установить тумблер выключателя вентилятора канала холодного воздуха 7 в верхнее положение «ВКЛ». При этом вентилятор 7 начинает работать. С помощью ЛАТРа установить необходимую скорость вращения вентилятора.

5. С помощью лепесткового анемометра определить среднюю скорость движения воздуха в выходных каналах холодного и горячего воздуха и вычислить его объемный расход. Геометрические размеры каналов:

- горячего воздуха – высота $a=130$ мм, ширина $b=135$ мм:
- холодного воздуха – высота $a=135$ мм, ширина $b=135$

мм.

6. По имеющемуся в лаборатории психрометру определить температуру комнатного воздуха на влажном $t_{в.м}$ и сухом $t_{о.с}$ термометре. Определить влажность воздуха φ и массовое влагосодержание d .

7. Переключая шаговый переключатель, снять показания всех четырех термопар и определить температуры на входе и выходе горячего и холодного воздуха с погрешностью на холодный спай термопары.

8. С помощью ЛАТРа изменить значение скорости холодного воздуха в канале и через 3–5 минут повторить измерения, описанные выше в пп. 5–7. Изменение скорости холодного воздуха произвести еще несколько раз.

9. Переключить тумблер переключения мощности питания нагревателя 4 во второе положение, изменив тем самым мощность нагревателя. Изменить значение скорости холодного воздуха в канале и повторить все измерения, несколько раз меняя скорость холодного воздуха.

Данные всех измерений и вычислений занести в следующие таблицы 5.4 и 5.5. Произвести расчеты параметров эффективности ра-

боты теплообменного аппарата для различных режимов и занести в таблицу 5.6.

Методика расчета

Коэффициент полезного действия теплообменника определяется по формуле (5.1)

$$\eta = (h(t_0) - h(t_2)) / (h(t_1) - h(t_2)) = (t_0 - t_2) / (t_1 - t_2), \quad (5.1)$$

где $h(t)$ – энтальпия влажного воздуха, кДж/кг; t_0 – температура остывшего воздуха на выходе из теплообменника и уходящего из помещения, °С; t_2 – максимальная температура нагретого в теплообменнике воздуха (после рекуперации), °С; t_1 – температура приточного воздуха, поступающего на вход теплообменника (до рекуперации), °С.

Значение энтальпии влажного воздуха, кДж/кг, рассчитываются по формулам

$$h(t) = c_{pv} t + (c_{pn} t) = 1,005 t + (2500 + 1,8068 t) d \cdot 10^{-3}, \quad (5.2)$$

$$h(t) = c t + 2500 d \cdot 10^{-3} = t + d_n (2501 + 1,93 t), \quad (5.3)$$

где c_{pv} – удельная теплоемкость воды (4,19 кДж/(кг °С)); c_{pn} – средняя удельная теплоемкость водяного пара (1,8 кДж/(кг °С)); c – удельная теплоемкость влажного воздуха, кДж/(кг °С); t – температура воздуха, °С; d – влагосодержание воздуха; г/кг.

Удельная теплоемкость влажного воздуха, кДж/(кг °С), находится как

$$c = c_v + c_n d / 1000, \quad (5.4)$$

где c_v – средняя удельная теплоемкость сухого воздуха, в интервале температур 0-100 °С, равная 1,005 кДж/(кг °С); c_n – средняя удельная теплоемкость водяного пара, 1,8 кДж/(кг °С); d – влагосодержание воздуха; г/кг.

При организованной системе вентиляции температура уходящего из помещения остывшего воздуха t_0 , °С, определяется по формуле

$$t_0 = t_2 + \eta((h_1(t_1) - h_1(t_2))/(c_b + d_{2c} c_n)), \quad (5.5)$$

где t_0 – температура остывшего воздуха на выходе из теплообменника и уходящего из помещения, °С; t_2 – максимальная температура нагретого в теплообменнике воздуха (после рекуперации), °С; t_1 – температура приточного воздуха, поступающего на вход теплообменника (до рекуперации), °С; η – коэффициент полезного действия теплообменника.

Если в помещении не организованная система приточно-вытяжной вентиляции, то t_0 температура остывшего воздуха уходящего из помещения будет равна средней температуре воздуха в помещении. Количество подаваемого воздуха, м³/с, находим

$$V_g = mV_n, \quad (5.6)$$

где V_b – расход вентиляционного воздуха, м³/с; m – кратность воздухообмена в помещении, 1/с или 1/ч; V_n – внутренний объем вентилируемого помещения, м³.

Расход теплоты на вентиляцию, кВт, определяется выражением

$$Q_b = mV_n c_b (t_2 - t_1), \quad (5.7)$$

где c_b – теплоемкость воздуха, кДж/(кг °С); t_2 – температура приточного воздуха (нагретого в калорифере), подаваемого в помещение, °С; t_1 – температура воздуха перед калорифером, °С.

Эффективность работы калорифера (теплообменного аппарата) характеризуется термодинамической эффективностью теплообменника.

Термодинамическая эффективность теплообменника есть отношение количества теплоты, передаваемой в данном теплообменнике, к количеству теплоты, передаваемой в теплообменнике с бесконечно большой поверхностью теплообмена с теми же параметрами на входе, определяется по формуле

$$E = \frac{T_{хол}^{вых} - T_{хол}^{вх}}{T_{гор}^{вх} - T_{хол}^{вх}}. \quad (5.8)$$

где $T_{хол}^{вых}$ – температура приточного воздуха (нагретого в теплообменнике), подаваемого в помещение, °С; $T_{хол}^{вх}$ – температура холодного воздуха перед теплообменником, °С. $T_{гор}^{вх}$ – температура нагретого воздуха, подаваемого в теплообменник, °С;

Объемный расход V воздуха определяется произведением средней скорости v на площадь поперечного сечения потока S , м³/с:

$$V = v \cdot S, \quad (5.9)$$

При этом теплота, воспринятая холодным воздухом в калорифере, кВт, определяется по формуле

$$Q_B = V c_B (t_2 - t_1), \quad (5.10)$$

где V – объемный расход воздуха, м³/с; c_B – теплоемкость воздуха, кДж/(кг °С);

t_2 и t_1 – соответственно конечная и начальная температура нагреваемого в калорифере воздуха, °С;

Теплота, уходящая с горячим воздухом из калорифера, кВт, определяется по формуле

$$Q_B = V c_B (t_0 - t_B), \quad (5.11)$$

где V – объемный расход воздуха, м³/с; c_B – теплоемкость воздуха, кДж/(кг °С); t_0 – температура уходящего из калорифера воздуха, °С; t_B – температура наружного воздуха, °С. В данном случае это температура воздуха в помещении лаборатории.

Таблица 5.4 Средние скорости и расходы горячего и холодного воздуха

№ пп	Холодный воздух					Горячий воздух				
	$N_{нач}$	$N_{кон}$	v , м/с	S_K , м ²	V , м ³ /с	$N_{нач}$	$N_{кон}$	v , м/с	S_K , м ²	V , м ³ /с

Таблица 5.5 Температуры горячего и холодного воздуха

№ П П	Температура										Влажность воздуха, φ	Массовое вла­госодержание, d
	горяче­го воз­духа на входе, t_3		горяче­го воз­духа на выходе, t_4		холод­ного воздуха на вхо­де, t_1		холод­ного воздуха на вы­ходе, t_2		влаж­ного термо­метра, $t_{в.т}$	сухого термо­метра, t_0		
	мВ	°С	мВ	°С	мВ	°С	мВ	°С	°С	°С		

Таблица 5.6 Показатели эффективности работы теплообменного аппарата

№ пп	Энталь­пия хо­лодного воздуха, кДж/кг		Энтальпия горячего воздуха, кДж/кг		Энталь­пия воздуха, кДж/кг	Теплота, восприня­тая хо­лодным воздухом, $Q^x_{воз}$, кДж	Теплота уходя­щая с горячим возду­хом, $Q^2_{вент}$, кДж	К.П. Д., η	Т. Э. ТА, E
	$h(t_1)$	$h(t_2)$	$h(t_3)$	$h(t_4)$	$h(t_0)$				

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОВОЙ ПЛИТЫ

Цель работы: Ознакомиться с принципом работы, типами и видами бытовых газовых плит. Определить КПД газовой плиты с выключенным и включенным духовым шкафом.

Основные положения

Газовыми приборами называют устройства, использующие тепловую энергию, получаемую от сжигания газа, для приготовления пищи, получения горячей воды для хозяйственных нужд и отопле-

ния помещений.

Газовые приборы подразделяются на:

- устройства для приготовления пищи – кухонные многогорелочные напольные плиты, настольные и туристские;
- устройства для нагрева воды – проточные и емкостные водонагреватели;
- отопительные приборы с использованием воздуха или воды в качестве теплоносителя.

Наиболее распространенными являются газовые плиты и водонагреватели.

Одно из основных требований к газовым приборам – обеспечение полноты сгорания газа и устойчивой работы горелок. Рассмотрим основные характеристики газовых приборов.

Тепловой нагрузкой газового прибора называют количество теплоты, которое получают при сжигании газа в единицу времени. Тепловую нагрузку прибора, кВт, определяют по формуле

$$Q_r = Q_n^p \cdot V_r, \quad (6.1)$$

где Q_r – тепловая нагрузка прибора, кВт; Q_n^p – низшая рабочая теплота сгорания природного газа, кДж/м³; V_r – количество газа, сжигаемого в единицу времени, м³/с.

Теплопроизводительность прибора, кДж, есть количество теплоты, переданное нагреваемому телу в единицу времени, определяем по формуле

$$Q = G \cdot c_p (t_2 - t_1), \quad (6.2)$$

где G – количество нагреваемого вещества, кг; t_1, t_2 – температура нагреваемого тела до и после нагрева, °С.

Коэффициент полезного действия прибора, %, определяется отношением теплопроизводительности прибора к его тепловой нагрузке:

$$\eta = \frac{Q}{Q_r} \cdot 100. \quad (6.3)$$

Для бытовых газовых плит КПД должен быть равен не менее 55 %, а для бытовых водонагревателей не менее 80 %.

Плиты выпускают для работы на природном газе с номинальным давлением 1300 и 2000 Па и на сжиженном газе с номинальным давлением 3000 Па. Работа горелок плиты с одного вида газа на другой переводится только съемными соплами.

Для газовых бытовых плит применяют два типа горелок: конфорочные, служащие для приготовления пищи на открытом огне, и духового шкафа, предназначенные для нагревания его камеры.

Горелки обоих типов являются эжекционными, струя газа подсаживает (эжектирует) через отверстия воздух, требующийся для горения. Вследствие этого в смесительной части корпуса горелки образуется газоздушная смесь, при сгорании которой и создается пламя. Сжигание газоздушной смеси по сравнению со сжиганием чистого газа позволяет повысить температуру горения газа и обеспечивает более полное его сгорание.

Горелки газовых плит запроектированы одинаковыми для всех типов плит, чтобы обеспечивалось горение газа без проскока и отрыва пламени при изменении тепловой мощности для горелок стола 0,25...1,2, а для горелок духовки – 0,3...1,2 номинальной величины. Пламя горелок стола не должно гаснуть под воздействием потока воздуха, движущегося со скоростью 2 м/с, и падении давления газа в газопроводе перед плитой не более чем 50 % от номинальной величины.

Порядок выполнения работы

Перед началом проведения эксперимента измеряют площадь теплообмена, рабочей поверхности цилиндра (кастрюли) F , м². С помощью мерного стакана измеряют массу воды m , л. Набирают воду в рабочий цилиндр (кастрюлю) и измеряют ее начальную температуру t_1 , °С. В соответствии с правилами эксплуатации бытового газового оборудования производят розжиг газовой плиты (одной из горелок по выбору). Устанавливают на нее рабочий цилиндр с водой и фиксируют начальное показание газового счетчика в начале V_1 , м³, эксперимента. Задаются продолжительностью эксперимента $\tau = 3...10$ минут. После окончания времени эксперимента выключают газовую плиту, фиксируют показание газового счетчика V_2 , м³, температуру воды t_2 , °С. Горячую воду сливают. Эксперимент на данной горелке повторяют 3–4 раза. Затем проводят эксперимент на

следующих горелках газовой плиты. Полученные результаты заносят в таблицу 6.1.

Снова разжигаем одну из газовых горелок. устанавливаем рабочее положение регулятора горелки в положение максимум, задаются продолжительностью эксперимента $\tau = 2 \dots 6$ минут, фиксируют показание газового счетчика $V_1, \text{ м}^3$. После окончания времени эксперимента фиксируют показание газового счетчика $V_2, \text{ м}^3$. Переводят положение регулятора горелки в положение минимум и повторяют эксперимент. Повторяют измерения 3-4 раза на данной горелке. Аналогичный эксперимент проводят на следующих горелках газовой плиты. Полученные результаты заносят в таблицу 6.3.

Полезно используемое тепло, кДж, от сгорания газообразного топлива в горелке бытовой газовой плиты определяется по формуле

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{вод}} + Q_{\text{с}} + Q_{\text{о.с}}, \quad (6.4)$$

где $Q_{\text{вод}}$ – количество теплоты, воспринятое водой, кДж; $Q_{\text{с}}$ – количество теплоты, затраченное на нагрев сосуда, кДж; $Q_{\text{о.с}}$ – количество теплоты, отданное в окружающую среду, кДж.

Количество теплоты, кДж, воспринятое водой, определяется по формуле

$$Q_{\text{вод}} = G_{\text{вод}} \cdot c_p (t_2 - t_1), \quad (6.5)$$

где $G_{\text{вод}}$ – количество нагреваемого вещества, кг;
 t_1 и t_2 – температура нагреваемой воды до начала и после нагрева, °С;
 c_p – удельная теплоемкость воды, равная 4,187 кДж/(кг·К).

Количество теплоты, затраченное на нагрев сосуда $Q_{\text{с}}$, кДж, определяется по формуле

$$Q_{\text{с}} = G_{\text{с}} \cdot C'_p (t_2 - t_1), \quad (6.6)$$

где G – количество нагреваемого вещества (масса сосуда), кг; t_1 и t_2 – температура нагреваемого сосуда до начала и после нагрева, °С;
 C'_p – удельная теплоемкость материала сосуда для воды, кДж/(кг·К).

Алюминиевый сплав $C_p' = 1,256$ кДж/(кг К), сталь $C_p' = 0,45 \div 0,55$ кДж/(кг К).

Количество теплоты, отданное в окружающую среду от поверхности сосуда, кДж, определяется по формуле

$$Q_{o.c.} = Q_{\text{рад}} + Q_{\text{конв}}, \quad (6.7)$$

где $Q_{\text{рад}}$ – количество теплоты, отданное в окружающую среду радиацией или излучением, кДж; $Q_{\text{конв}}$ – количество теплоты, отданное в окружающую среду конвекцией, кДж.

Количество теплоты, отданное в окружающую среду лучеиспусканием, кДж, определяется по формуле

$$Q = \varepsilon \cdot C_0 \cdot F \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \cdot \tau ; \quad (6.8)$$

где ε – степень черноты полного нормального излучения, равная 0,2; C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равен $5,67 \cdot 10^{-3}$ кВт/(м² К); F – поверхность теплообмена сосуда, м²; T_2 – средняя температура поверхности сосуда, К; T_1 – температура окружающего воздуха, К; τ – время опыта, с.

Средняя температура, К, поверхности сосуда определяется по формуле

$$T_2 = \left(\frac{t_{\text{нач}} + t_{\text{кон}}}{2} \right) + 273. \quad (6.9)$$

Количество теплоты, отданное в окружающую среду конвекцией, не учитывается ввиду того, что сосуд, установленный на конфорке газовой плиты, омывается отходящими дымовыми газами.

КПД газовой плиты определяется по формуле (6.3). Данные записывают в таблицу 6.1 и 6.2, тепловую мощность горелки $Q_{\text{г}}$ находят по формуле (6.1).

Рассчитывают минимальную и максимальную тепловые мощности горелки при минимальном максимальном и максимальном расходах газа. После чего определяют *предел регулирования* тепловой мощности горелок газовой плиты по формуле

$$n = \frac{Q_2^{\min}}{Q_2^{\max}}, \quad (6.10)$$

где Q_2^{\min} – минимальная тепловая мощность горелки, кВт; Q_2^{\max} – максимальная тепловая мощность горелки, кВт;
Данные занести в таблицу 6.3.

Таблица 6.1 Таблица измерений и результатов

№ п/п	Тип газового прибора	Показания счетчика расхода газа, V , $\text{м}^3/\text{с}$		Температура воды, T , $^{\circ}\text{C}$		Время, τ , ч	Расход, V_r , м^3
		начальное	конечное	начальная	конечная		

Таблица 6.2 Таблица результатов расчетов

№ п/п	Теплота на нагрев воды, $Q_{\text{вод}}$, кДж	Теплота на нагрев сосуда, $Q_{\text{с}}$, кДж	Теплота в окружающую среду, $Q_{\text{ос}}$, кДж	Полезно используемая теплота, $Q_{\text{пол}}$, кДж	Тепловая нагрузка, Q_r , кДж/ч	Теплопроизводительность, Q , кДж/ч	КПД, η

Таблица 6.3 Таблица результатов расчетов

№ п/п	Тип газового прибора	Положение регулятора	Показания счетчика расхода газа, V , $\text{м}^3/\text{с}$		Время, τ , ч	Расход, V_r , м^3	Q_2^{\min} , кВт	Q_2^{\max} , кВт	n
			начальное	конечное					

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Цель работы состоит в изучении устройства, принципа действия и сравнении основных параметров наиболее распространенных типов электрических источников света.

Общие сведения

Свет представляет собой электромагнитные волны длиной $4 \cdot 10^{-7} \dots 8 \cdot 10^{-7}$ м. Электрические волны излучаются при ускоренном движении заряженных частиц. Для того чтобы атом или молекула начали излучать, им необходимо передать определенное количество энергии. Излучая, они теряют полученную энергию, поэтому для непрерывного свечения необходим постоянный приток энергии извне.

Световой поток, Φ , лм, – поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз (наиболее чувствителен глаз при дневном освещении к свету с длиной волны 555 нм). Единицей измерения светового потока с точки зрения восприятия его человеческим глазом (яркости) является люмен (лм). Световой поток в 1 лм белого света равен $4,6 \cdot 10^{-3}$ Вт (1 Вт = 217 лм).

Энергия излучения (лучистая энергия) принято измерять в джоулях (Дж). В большинстве случаев для оценки источника света надо знать не энергию излучения, а *мощность (поток) излучения*.

Поток излучения, Φ_e , (Дж/с = Вт), – энергия, переносимая электромагнитными волнами за 1 секунду через произвольную поверхность.

$$\Phi_e = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad (7.1)$$

где ΔQ – энергия, излучаемая за время Δt , Дж;

Δt – промежуток времени, в течении которого излучение может рассматриваться равномерным, с.

Сила света I , кд, – пространственная плотность светового потока, численно равная отношению потока излучения к телесному углу, в пределах которого поток распространяется и равномерно распределяется.

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\omega}, \quad (7.2)$$

где $\Delta\Phi$ — световой поток, лм; $\Delta\omega$ — телесный угол, ср (стерадиан).

Сила света измеряется в канделах (кд). 1 кандела равна силе света, испускаемой в перпендикулярном направлении с площади в $1/600000$ м² абсолютно черного тела при температуре застывания платины 2045 К и давлении 101325 Па.

На практике используется понятие *средней силы света*, кд, когда принимается световой поток Φ_ω , лм, распределенный равномерно в пределах большего или меньшего телесного угла ω , ср:

$$I = \frac{\Phi_\omega}{\omega}, \quad (7.3)$$

Телесный угол ω , ср, – измеряется отношением площади S , м², которую он вырезает на поверхности сферы, описанной из его вершины, к квадрату радиуса этой сферы:

$$\omega = \frac{S}{r^2}, \quad (7.4)$$

где S — вырезаемая конусом площадь в поверхности сферы, м²; R — радиус сферы, м.

За единицу телесного угла – *стерадиан* (ср) – принимается угол, который, имея вершину в центре сферы, вырезает на ее поверхности участок, равный квадрату радиуса.

Для облегчения определения зональных световых потоков пользуются заранее рассчитанными значениями телесных углов для десятиградусных зон (Приложение 7). Распределение силы света источников света в различных направлениях пространства представляют в виде таблиц и графиков, в прямоугольных и в угловых координатах.

Освещенность, E , лк, – отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Измеряется в люксах (лк), где люкс – освещенность, при которой на 1 м² поверхности равномерно распределен световой поток в 1 люмен:

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad (7.5)$$

где Φ – световой поток, лм; S – площадь поверхности, м².

Освещенность поверхности, лк, прямо пропорциональна световому потоку и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника – закон обратных квадратов Кеплера:

$$E = \frac{I}{l^2}, \quad (7.6)$$

где I – сила света, кд; l – расстояние от источника до точки наблюдения, м.

Эффективность электрических источников света

Основные характеристики, по которым оценивается эффективность работы электрического источника света:

- номинальное напряжение, V , В;
- потребляемая электрическая мощность, N , Вт;
- поток излучения, Φ_e , Вт;
- коэффициент полезного действия источника света,

кпд η ;

- светоотдача, H , лм/Вт;
- цветовая температура, К;
- средняя продолжительность работы, ч.

Номинальное напряжение – электрическое напряжение тока в сети в вольтах, при котором лампа (источник) предназначен к работе.

Эффективность источника света (лампы) оценивают *световой отдачей*, H , лм/Вт, – значением светового потока, приходящегося на единицу мощности лампы. Величина светоотдачи учитывает, какая часть излученной мощности лежит в видимом диапазоне.

$$H = \frac{\Phi}{N}, \quad (7.6)$$

где Φ – световой поток, лм; N – потребляемая электрическая мощность источником света, Вт.

Коэффициент полезного действия источника света, η , %, – отношение потока излучения, исходящего от источника света, к потребляемой электрической мощности

$$\eta = \frac{\Phi_e}{N} \cdot 100, \quad (7.7)$$

где Φ_e – поток излучения, Вт; N – потребляемая электрическая мощность источником света, Вт.

Порядок выполнения работы

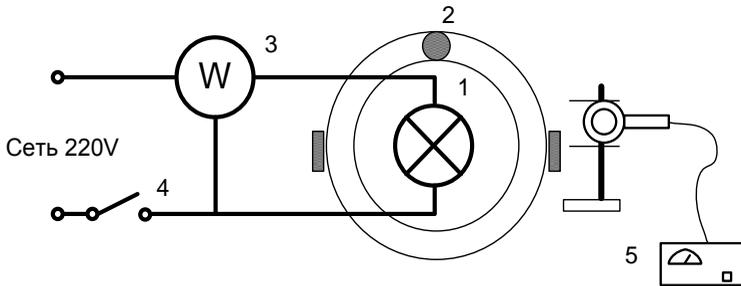


Рис. 7.1. Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 7.1) включает в себя: 1 – светильник с лампой (накаливания или люминесцентной, работающей с частотой от 12500-35000 Гц); 2 – поворотный стол; 3 – ваттметр для измерения потребляемой лампами из сети электрической мощности; 4 – выключатели; 5 – прибор для измерения освещенности люксметр.

1. Установить необходимый диапазон измерений люксметра.

2. Установить поворотный стол по отметкам 0. Направление тубуса на штативе выставить на среднюю область лампы. Закрепить в тубусе датчик люксметра. Измерить расстояние l , м, от источника света до датчика люксметра в тубусе. Включить лампу выключателем 3. Измерить люксметром 4 величину освещенности на поверхности включенного светильника при данном положении стола. Изменить положение светильника на поворотном столе по горизонтали на необходимый угол (5° , 15° , 25° , 35° , 45° , 55° , 65° , 75° , 85°), измерить величину освещенности при данных углах.

3. Определить величину мощности N , Вт, потребляемой лампой по ваттметру 2. Выключить лампу.

4. После остывания лампы, заменить ее лампой другого типа. Повторить измерения.

5. Полученные данные по каждому источнику света, занести в табл. 7.1 для каждого из типов источника света.

Рассчитать значение силы света I , кд из закона Кеплера, формула (7.6), падающий световой поток Φ , лм, по формуле (7.3) и числовым данным телесного угла ω , кд, из Приложения 4, поток излучения по формуле $\Phi_e = \Phi/217$, Вт.

Найти средний суммарный поток излучения Φ_e , Вт, от каждого источника света и используя полученные результаты рассчитать КПД источника света по формуле (7.7) данные занести в таблицы по источникам.

По полученным результатам для каждого источника света построить график кривых распределения сил света в прямоугольных координатах. Сделать вывод об эффективности исследуемых источников света.

Т а б л и ц а 7.1 Таблица измерений и результатов

Электрический источник света									
Потребляемая мощность N , Вт									
КПД источника света η									
α	5°	15°	25°	35°	45°	55°	65°	75°	85°
Освещенность E , лк									
Сила света I , кд									
Световой поток Φ , лм									
Поток излучения Φ_e , Вт									
Светоотдача H , лм/Вт									

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Единицы измерения давления

Единица	Па	Бар	кгс/см ²	кгс/м ² (мм вод. ст.)	мм рт. ст.
1 Па	1	10 ⁻⁵	1,0197·10 ⁻⁵	0,10197	7,5006·10 ⁻³
1 Бар	10 ⁵	1	1,0197	1,0197·10 ⁴	750,06
1 кгс/см ²	9,8066·10 ⁴	0,98066	1	10 ⁴	735,56
1 кгс/м ² (мм вод. ст.)	9,8066	0,98066·10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	1	7,3556·10 ⁻³
1 ммрт.ст.	133,32	1,3332·10 ⁻³	1,3595·10 ⁻³	13,595	1

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Зависимость коэффициентов вязкости воды и воздуха от температуры

<i>t</i> , °С	Вода			Воздух		
	ρ , кг/м ³	$\eta \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	ρ , кг/м ³	$\eta \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с
0	1000	1788	1,789	1,293	17,2	13,28
10	999,7	1306	1,306	1,247	17,6	14,16
20	998,2	1004	1,006	1,205	18,1	15,06
30	995,7	801,5	0,805	1,165	18,6	16,00
40	992,2	653,3	0,659	1,128	19,1	16,96
50	988,1	549,4	0,556	1,093	19,6	17,95
60	983,2	469,9	0,478	1,060	20,1	18,97

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Радиаторы алюминиевые секционные «FONDITAL-MONDIAL»

Модель	350	500	600	800
A – межосевое расстояние, мм	350	500	600	800
B – высота, мм	427	577	677	877
C – глубина, мм	97	97	97	97
D – ширина, мм	80	80	80	80
Объем воды в секции, л	0,2	0,37	0,45	0,6
Вес одной секции, кг	1,5	2	2,5	3
Теплоотдача одной секции при <i>t</i> = 60 °С, Вт	139	183	211	259

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Минимальный воздухообмен для специализированных помещений.

Назначение помещения	Объем удаляемого воздуха, м ³ /ч
для не газифицированных кухонь	60
для газифицированных кухонь (1-комнатная квартира)	60
для газифицированных кухонь (2-хкомнатная квартира)	75
для газифицированных кухонь (3-хкомнатная квартира)	90
для ванных и санузлов	25
для технических помещений (электрощитовая, лифтовая и т.д.)	1 л/ч

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Рекомендуемые скорости движения воздуха в вертикальных каналах естественной вытяжной вентиляции

этажность здания	Скорость воздуха в канале v , м/с
до 2-х этажей	0,4 – 0,6
	0,6 – 0,7
до 3-х этажей	0,7 – 0,8
до 4-х этажей	0,9 – 1,0
более 5-х этажей	1,1 – 1,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Порядок работы с лепестковым анемометром

Анемометр снабжен тарировочной кривой, на которой каждой скорости вращения лепестков соотнесено определенное значение скорости воздушного потока. Для проведения измерений с помощью анемометра необходимо:

1. Зафиксировать имеющиеся на счетчике числа оборотов показания N_n .

2. Расположить рабочую часть анемометра в воздушном потоке, запустить режим измерения, одновременно с этим включить секундомер.

3. Через определенный промежуток времени ΔT выключить секундомер и анемометр, снять показания числа оборотов N_k .

4. Вычислить скорость вращения W , оборот/с, разделив разность снятых показаний счетчика на время промежутков времени измерения

$$W = (N_{\text{кон}} - N_{\text{нач}}) / \Delta T.$$

5. По тарировочной кривой определить соответствующую скорость воздуха v , м/с.

Примечание: рекомендуемый промежуток времени измерений – 10÷30 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Телесные углы для десятиградусных зон углов α .

№ п/п	Направление силы света	Границы телесного угла	Телесного угол, ср
1.	5°	0 – 10°	0,095
2.	15°	10 – 20°	0,283
3.	25°	20 – 30°	0,463
4.	35°	30 – 40°	0,628
5.	45°	40 – 50°	0,774
6.	55°	50 – 60°	0,897
7.	65°	60 – 70°	0,993
8.	75°	70 – 80°	1,058
9.	85°	80 – 90°	1,091
10.	95°	90 – 100°	1,091
11.	105°	100 – 110°	1,058
12.	115°	110 – 120°	0,993
13.	125°	120 – 130°	0,897
14.	135°	130 – 140°	0,774
15.	145°	140 – 150°	0,628
16.	155°	150 – 160°	0,463
17.	165°	160 – 170°	0,283
18.	175°	170 – 180°	0,095

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосбережение в системах теплоснабжения и вентиляции и кондиционирования воздуха /Л.Д. Богуславский [и др.]; под ред. Л.Д. Богуславского М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
2. Богословский В.Н.. Отопление. : учебник для вузов / В.Н. Богословский, А.Н. Сканави.М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов Е.Я. – 3-е изд. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
4. Арсеньев Г.В. Тепловое оборудование и тепловые сети: учебник для вузов/ Г.В. Арсеньев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 400 с.
5. Ионин А.А. Газоснабжение: учебник для вузов./ А.А. Ионин – 4-е изд. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с
6. Варфоломеев Ю.М. Отопление и тепловые сети: учебник / Ю.М. Варфоломеев, О.Я. Кокорин. М.: ИНФРА-М, 2006. – 735 с.
7. Колесников А.И. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях / А.И. Колесников, М.Н. Федоров, Ю.М. Варфоломеев, М.: ИНФРА-М, 2005. – 124 с.
8. Лабораторный практикум по отоплению, вентиляции, газоснабжению, гидравлическим машинам, холодильным установкам и теплоснабжению / Э.Х. Одельский [и др.]; под ред. проф. Э.Х. Одельского. – 2-е изд. – Мн.: «Высшая школа», 1964. – 275 с.
9. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие / Б.М. Хрусталева [и др.]; под ред. проф. Б.М. Хрусталева. М.: ИАСВ, 2005. – 275 с
10. Исаев В.Н. Устройство и монтаж санитарно-технических систем зданий / В.Н. Исаев, В.И. Сасин – 2-е изд. – М. : «Высшая школа» 1989.-351 с.
11. Справочник по инженерному оборудованию жилых и общественных зданий / под редакцией В.С. Дикаревского, Будивэльник, 1989. – 358 с
12. Блази В. Справочник проектировщика Строительная физика./ В. Блази. М.: Техносфера, 2005. – 535 с
13. Межгосударственный стандарт ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Межгосударственная научно-технической комиссия по стандарти-

зации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС), 1996 г.

14. ГОСТ 26253-84 «Здания и сооружения. Метод определения теплоустойчивости ограждающих конструкций» Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985 г.

15. ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций» Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985 г.

16. Межгосударственный стандарт ГОСТ307-32-2001 «Трубы и фасонные и стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. Технические условия». Межгосударственная научно-технической комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС), 2001 г.

17. СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М. :ФГУП ЦПП, 1998 г.

18. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М. :ГУП ЦПП, 2004 г.

19. Свод правил по проектированию и строительству тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с промышленной изоляцией из пенополиуритана в полиэтиленовой оболочке (СП 41-105-2002). Государственный к Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунального комплексу (ГОССТРОЙ РОССИИ), Москва, 2003 г.

20. Требования Минтеплосетей к проектной документации и применяя оборудованию при строительстве тепловых сетей с применение предварительно изолированных трубопроводов. Минск, 2003 г.

21. СТБ 1295-2001 «Трубы стальные предварительно термоизолированные пенополиуретаном. Технические условия». Официальное издание. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Минск 2002 г.

22. СНиП 2.04.07-86. Тепловые сети. – М.: Госстрой, 1988. – 48 с.

23. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М.: Госстрой, 1989. – 32 с.

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ТЕМАМ:

1. РАЗДЕЛ I. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ

Понятие «здание» и классификация зданий по назначению. Общая классификация зданий. Основные конструктивные элементы зданий.

2. РАЗДЕЛ II. ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Классификация систем искусственного освещения. Понятие «Разряд зрительных работ». Понятия «коэффициент запаса», «светотдача». Понятия «цветовая температура», «индекс цветопередачи». Способы получения оптического излучения. ЛН: устройство, маркировка, особенности. ГЛН: устройство, маркировка, особенности. Общие недостатки газоразрядных ламп. Понятие «Стробоскопический эффект». ЛЛ: устройство, маркировка, особенности. ДРЛ: устройство, маркировка, особенности. ДРИ: устройство, маркировка, особенности. ДНаТ: устройство, маркировка, особенности. Светодиоды: устройство, особенности. Выбор ИС для разных видов зданий и помещений. КПД светильника. Степень защиты светильников. Условное обозначение светильников. Методы расчета освещения. Степень защиты светильников. Алгоритм расчета освещения методом коэффициента использования светового потока, расчетные формулы. Понятие «Индекс помещения». От чего зависит коэффициент использования светового потока. Алгоритм расчета освещения методом удельной мощности. Определение годового расхода электроэнергии на освещение. Годовой расход электроэнергии на освещение здания: расчетная формула. Основные направления (мероприятия) по экономии электроэнергии в системах освещения.

3. РАЗДЕЛ III. МИКРОКЛИМАТ ЗДАНИЙ.

Обслуживаемая зона помещений. Показатели микроклимата помещений. Условия комфортности тепловой обстановки. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата. Факторы, определяющие

оптимальные и допустимые параметры микро-климата в гражданских и производственных помещениях. Понятие рабочей зоны помещения. Холодный и теплый периоды года. Тепловой режим зданий, влияющие факторы. Воздушный режим зданий, влияющие факторы. Виды влажностных режимов помещений, от чего зависят. Типы условий эксплуатации ограждений. Теплотехнические характеристики строительных материалов, влияющие на теплозащитные свойства ограждений. Понятие «тепловая защита здания». Расчетные условия наружной среды, регламентирующий документ. Расчетные условия внутренней среды, регламентирующий документ. Понятие «обеспеченность», используемые в расчетах коэффициенты обеспеченности. Расчетное сопротивление теплопередаче однородного ограждения (формула и ее физический смысл). Выражение для теплового потока через ограждение. Нахождение температуры в произвольной точке многослойного ограждения. Понятие «Сложное ограждение». Алгоритм метода суперпозиции для расчета сложного ограждения. Определение расчетной поверхности ограждений. Расчет полов на грунте и стен, углубленных в землю. Принцип расчета полов на грунте и стен, углубленных в землю. Нормативные сопротивления теплопередаче по зонам I-IV неутепленного пола. Приведенное сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов. Требуемое сопротивление теплопередаче ограждения (формула и ее физический смысл). Тепловая инерция ограждения (формула и ее смысл). Классификация зданий по массивности. Нахождение расчетной зимней температуры в зависимости от величины тепловой инерции ограждения. Нормативное сопротивление теплопередаче ограждений. Контрольные теплопередаче наружных ограждений гражданского здания. Защита внутренней поверхности ограждений от конденсации влаги Величины нормативного сопротивления. Условие защиты ограждения от конденсации влаги на внутренней поверхности. Цель и алгоритм проведения ТВР ограждения. Условие защиты ограждения от конденсации влаги в толще. Понятие «отопительный период». Особенности воды как теплоносителя. Особенности пара как теплоносителя. Особенности воздуха как теплоносителя. Магистраль, стояки, ветви. Однотрубные и двухтрубные системы водяного отопления. Вертикальные и горизонтальные системы водяного отопления. Системы водяного отопления с нижней и верхней разводкой.

Расчетная температура теплоносителя в водяных системах отопления. Радиатор. Конвектор. Гладкотрубный прибор. Ребристая труба. Калорифер. Стандартные условия испытаний отопительного прибора. Факторы, влияющие на теплоотдачу радиатора. Понятия «аэрация», «инфильтрация», «эксфильтрация». Виды механической вентиляции. Вредные выделения. Понятия «явная теплота» и «скрытая теплота». Понятие «кратность воздухообмена». Расчетный расход теплоты на вентиляцию здания (формула). Средний за отопительный период расход теплоты на вентиляцию здания (формула). Годовой расход теплоты на вентиляцию здания (формула). Использование укрупненного показателя для расчета вентиляции. Принципиальные элементы форсуночного кондиционера. Способы охлаждения воздуха при кондиционировании.

4. РАЗДЕЛ IV. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И КАНАЛИЗАЦИЯ

Средненедельный расход теплоты на ГВС (формула.). Средний за сутки максимального водопотребления расход теплоты на ГВС (формула). Расчетный (максимально-часовой) расход теплоты на ГВС (формула). Годовой расход теплоты на ГВС (формула). Коэффициент недельной неравномерности водопотребления. Коэффициент суточной неравномерности водопотребления. Использование укрупненных показателей для расчета ГВС. Нормативный диапазон температуры горячей воды. Система канализации (водоотведения). Общесплавной системе канализации. Система внутренней канализации. Материал и оборудование для систем внутренней канализации. Приемники сточных вод. Трассировка и устройство внутренней канализации. Организация уклона выпуска канализационной трубы. Расчет сети внутренней канализации.

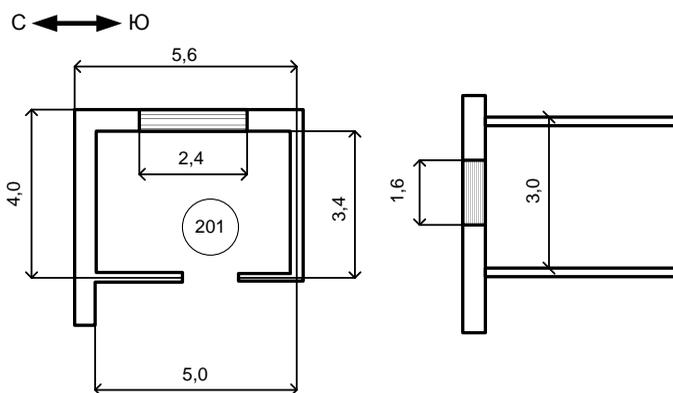
5. РАЗДЕЛ V. ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Стандарты ЕРВД. Структура управления энергосбережением в Республике Беларусь. Нормативная база энергосбережения в Республике Беларусь. Сертификация энергосбережения и использование системы классификации. Энергетический паспорт здания. Классы энергетической эффективности зданий. Показатели энергоэффек-

тивности зданий. Основные параметры при энергетической оценке зданий. Система энергетической маркировки зданий. Действия энергоаудитора по оценке энергопотребления зданий. Измеряемые параметры, ответственные места. Возможные рекомендации по энергосбережению.

ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ К ЭКЗАМЕНУ

Рассчитать трансмиссионные тепловые потери угловой жилой комнаты, расположенной на 2 этаже девятиэтажного жилого дома в г. Минске. Расчетное сопротивление теплопередаче наружной стены $R_o = 0,94 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$, окна выполнены с двойным остеклением в деревянных раздельных переплетах. Расположение комнаты относительно сторон горизонта и геометрические характеристики даны ниже.



Решение:

Площадь комнаты:

$$S = 5,0 \cdot 3,4 = 17 \text{ м}^2$$

ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника» таблица 4.1:

$$t_b = 18^\circ \text{C}, \text{ но для угловых комнат: } t_b = 20^\circ \text{C}$$

По таблице 3.1СНБ 2.04.02-2000 «Строительная климатология» для г. Минска: $t_n = t_{x,5}(0,92) = -24^\circ \text{C}$

ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника» Приложение Г:

$$R_o(\text{ок}) = 0,42 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Площади ограждений находим по правилам обмера с точностью до $0,1 \text{ м}^2$:

- площадь окон – по наименьшим размерам строительных проемов в свету;
- длина наружных стен неугловых помещений – между осями внутренних стен, а угловых помещений – от угла до оси внутренних стен;
- высота стен промежуточного этажа – между уровнями чистых полов данного и вышележащего этажей;
- высота стен верхнего этажа – от уровня чистого пола верхнего этажа до верха утепляющего слоя чердачного перекрытия или от уровня чистого пола до линии пересечения внутренней поверхности наружной стены с верхней плоскостью бесчердачного покрытия;
- площадь полов и потолков – по размерам между осями внутренних стен или от внутренней поверхности наружных стен до оси внутренних стен;

Расчет сведен в таблицу.

1	2	Характеристика ограждения				7	8	9	10	11
		3	4	5	6					
Номер, назначение и площадь помещения	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	Наименование	Ориентация	Размеры, м	Площадь A , M^2	$1/R_m, \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$	$(t_{в}-t_{н})\cdot n$	$I + \Sigma\beta$	$Q_m, \text{Вт}$	Примечание
201, жилая угловая, 17	20	Н.с	С	4,0·3,0	12,0	1,06	44	1+0,1+0,05	644	
		Н.с	В	5,6·3,0	16,8	1,06	44	1+0,1+0,05	901	
		Ок.	В	2,4·1,6	3,8	2,38-1,06	44	1+0,1+0,05	257	
ВСЕГО									1800	



Определить тепловые потери с воздухообеном для жилой угловой комнаты в условии предыдущей задачи, если $H = 28,6 \text{ м}$, $h = 6,4 \text{ м}$, уплотнение окон выполнено прокладками из пенополиуретана. Также определить: коэффициент инфильтрации, воздухопроницаемость окна и сравнить ее с нормативом.

Решение:

Расход воздуха, инфильтрующегося через окно:

$$G_{np} = \frac{0,216 \cdot A_{np} \cdot \Delta p^{2/3}}{R_{u np}}$$

Сопротивление воздухопроницанию для двойного остекления в раздельных переплетах с уплотнением из пенополиуретана [3, приложение Д] $R_{u np} = 0,29 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$.

Площадь окна: $A_{np} = 2,4 \cdot 1,6 = 3,84 \text{ м}^2$

Расчетная разность давления:

$$\Delta p_i = (0,5H - h_i) \cdot (\gamma_n - \gamma_e) + 0,25 \cdot \rho_n \cdot v_n^2 \cdot (c_n - c_n) \cdot \kappa_h$$

Удельный вес наружного и внутреннего воздуха:

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 - 24} = 13,91 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$$

$$\gamma_e = \frac{3463}{273 + 20} = 11,82 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$$

Плотность наружного воздуха: $\rho_n = \frac{13,91}{9,8} = 1,42 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$\kappa_h = 1,1$ (для здания $20 < H < 40 \text{ м}$), $v_n = 3,1 \text{ м/с}$ (г. Минск).

Следовательно,

$$\Delta p_i = (0,5 \cdot 28,6 - 6,4) \cdot (13,91 - 11,82) + 0,25 \cdot 1,42 \cdot 3,1^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 1,1 = 20,21 \text{ Па}$$

$$G_{np} = \frac{0,216 \cdot 3,84 \cdot 20,21^{2/3}}{0,29} = 21,22 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Тепловые потери с воздухообменом:

$$Q_{\text{возд}} = \max \{Q_1, Q_2\}$$

$$Q_1 = 0,28 \cdot G_{np} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot k,$$

Коэффициент учета влияния встречного теплового потока для окон с раздельными переплетами: $k = 0,8$.

$$Q_1 = 0,28 \cdot 21,22 \cdot 1 \cdot (20 + 24) \cdot 0,8 \approx 210 \text{ Вт}$$

$$Q_2 = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho_e \cdot c \cdot (t_e - t_n) \cdot k = 0,28 \cdot (3 \cdot A_{\text{жс}}) \cdot \rho_e \cdot c \cdot (t_e - t_n) \cdot k,$$

$$Q_2 = 0,28 \cdot (3 \cdot 17) \cdot \frac{11,82}{9,8} \cdot 1 \cdot (20 + 24) \cdot 0,8 \approx 610 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{возд}} = \max \{210, 610\} = 610 \text{ Вт}$$

Воздухопроницаемость окна:

$$G_{\text{ок}} = \frac{G_{np}}{A_{\text{пр}}} = \frac{21,22}{3,84} = 5,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}, \text{ что меньше норматива } (10 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}).$$

 Для угловой жилой комнаты (условие предыдущих задач) определить тепловые нагрузки отопления, а также количество градусо-суток отопительного периода. Принять «следающую» систему регулирования отопления.

Решение:

$$Q'_o = Q'_T + Q'_{\text{возд}} = 1800 + 610 = 2410 \text{ Вт}$$

$$Q_o^{cp} = Q'_o \cdot \frac{t_e - t_{\text{н.ом}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = 2410 \cdot \frac{20 + 0,9}{20 + 24} = 1145 \text{ Вт}$$

$$Q_o^{zod} = 0,024 \cdot (Q_o^{cp} - \eta \cdot Q_c) \cdot z_{\text{от}} = 0,024 \cdot (1145 - 0,4 \cdot (9 \cdot 17)) \cdot 198 = 5150 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

$$D = (t_e - t_{\text{н.ом}}) \cdot z_{\text{от}} = (20 + 0,9) \cdot 198 = 4138,2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$$

 Определить расчетные трансмиссионные тепловые потери для производственного здания ($t_a = 16^\circ\text{C}$) размерами $A \times B \times H = 20 \times 45 \times 8$ м по наружному обмеру, расположенному в г. Брест, если для него известна отопительная характеристика $q_o = 0,45 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{К}$.

Решение:

$$t_n = t_{x.s}(0,92) = -21^\circ\text{C} \text{ (г. Брест)}$$

Находим фактическую отопительную характеристику производственного здания:

$$q_{зo} = 0,45 \cdot \left(0,54 + \frac{22}{16 + 21} \right) = 0,51 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$$

Следовательно,

$$Q'_T = q_{зo} \cdot V \cdot (t_b - t_n) = 0,51 \cdot (20 \cdot 45 \cdot 8) \cdot (16 + 21) \cdot 10^{-3} = 135,9 \text{ кВт}$$

 Определить расчетные расходы теплоты на отопление микрорайона общей жилой площадью 64 тыс. м^2 , расположенного в г. Борисов, если застройка выполнена домами средней (3-4) этажности в период 1982-1984 г.г. без учета внедрения энергосберегающих мероприятий.

Решение:

$$t_n = t_{x.s}(0,92) = -24^\circ\text{C} \text{ (г. Борисов)}$$

По приложению А ТКП 45-4.02-182 «Тепловые сети» находим укрупненный показатель максимального расхода теплоты на отопление жилых зданий на 1 м^2 общей площади:

$$q_o = q(3 - 4 \text{ этажа; до } 1985 \text{ г.; } t_n = -24^\circ\text{C; без мероприятий}) = 123 \text{ Вт}$$

$$Q'_o = q_o \cdot A \cdot (1 + k_1) = 123 \cdot 64000 \cdot (1 + 0,25) \cdot 10^{-6} = 9,84 \text{ МВт}$$



Для административного здания размерами $A \times B \times H = 20 \times 45 \times 8$ м по наружному обмеру (г. Брест, $q_o = 0,442$ Вт/м³·К) определить: годовой расход теплоты на отопление (свободными теплопоступлениями пренебречь) и норму расхода тепловой энергии на обогрев.

По фактическому потреблению тепловой энергии на отопление здания в первом квартале отчетного года сделать вывод об эффективности отопления здания, если известны фактические показания теплосчетчика и среднемесячные температуры наружного воздуха:

январь: 47,2 Гкал, -3,1 °С

февраль: 51,3 Гкал, -6,8 °С

март: 40,0 Гкал, -0,8 °С

Решение:

$$t_n = t_{x,5}(0,92) = -21^\circ \text{C} \text{ (г. Брест)}$$

$$t_{н.от} = +0,6^\circ \text{C}$$

$$z_{от} = 181 \text{ сут.}$$

Находим фактическую отопительную характеристику производственного здания:

$$q_{зд} = 0,442 \cdot \left(0,54 + \frac{22}{18 + 21} \right) = 0,49 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$$

Следовательно,

$$Q'_o = q_{зд} \cdot V \cdot (t_b - t_n) = 0,49 \cdot (20 \cdot 45 \cdot 8) \cdot (18 + 21) \cdot 10^{-3} = 137,6 \text{ кВт}$$

$$Q_o^{cp} = Q'_o \cdot \frac{t_e - t_{н.от}}{t_b - t_n} = 137,6 \cdot \frac{18 - 0,6}{18 + 21} = 61,4 \text{ кВт}$$

$$\begin{aligned} Q_o^{год} &= 0,024 \cdot Q_o^{cp} \cdot z_{от} = 0,024 \cdot 61,4 \cdot 181 = \\ &= 266,7 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \text{ (229,4 Гкал)}. \end{aligned}$$

Годовая работа системы отопления:

$$W_{год} = (20 \cdot 45 \cdot 8) \cdot 181 \cdot (18 - 0,6) \cdot 10^{-3} = 22675,68 \text{ тыс.м}^3 \cdot \text{сут.}^\circ \text{C}$$

Норма расхода тепловой энергии на обогрев здания:

$$H_o = \frac{Q_o^{zod}}{W_{zod}} = \frac{229,4 \cdot 10^3}{22675,68} = 10,12 \frac{\text{Мкал}}{\text{тыс.м}^3 \cdot \text{сут} \cdot ^\circ \text{C}}$$

Фактический удельный расход тепловой энергии на обогрев здания в первом квартале отчетного года:

$$H_\phi = \frac{Q_\phi}{W_\phi} = \frac{229,4 \cdot 10^3}{22675,68} = 10,12 \frac{\text{Мкал}}{\text{тыс.м}^3 \cdot \text{сут} \cdot ^\circ \text{C}}$$

$$Q_\phi = 47,2 + 51,3 + 40,0 = 138,5 \text{ Гкал.}$$

$$W_{\text{янь}} = (20 \cdot 45 \cdot 8) \cdot 31 \cdot (18 + 3,1) \cdot 10^{-3} = 4709,52 \text{ тыс.м}^3 \cdot \text{сут} \cdot ^\circ \text{C}$$

$$W_{\text{фев}} = (20 \cdot 45 \cdot 8) \cdot 28 \cdot (18 + 6,8) \cdot 10^{-3} = 4999,68 \text{ тыс.м}^3 \cdot \text{сут} \cdot ^\circ \text{C}$$

$$W_{\text{март}} = (20 \cdot 45 \cdot 8) \cdot 31 \cdot (18 + 0,8) \cdot 10^{-3} = 4196,16 \text{ тыс.м}^3 \cdot \text{сут} \cdot ^\circ \text{C}$$

$$W_\phi = 4709,52 + 4999,68 + 4196,16 = 13905,36 \text{ тыс.м}^3 \cdot \text{сут} \cdot ^\circ \text{C}$$

$$H_\phi = \frac{Q_\phi}{W_\phi} = \frac{138,5 \cdot 10^3}{13905,36} = 9,96 \frac{\text{Мкал}}{\text{тыс.м}^3 \cdot \text{сут} \cdot ^\circ \text{C}}$$

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Понятие «здание» и классификация зданий по назначению. Общая классификация зданий. Основные конструктивные элементы зданий.
2. Обслуживаемая зона помещений. Показатели микроклимата помещений. Условия комфортности тепловой обстановки. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата. Факторы, определяющие оптимальные и допустимые параметры микроклимата в гражданских и производственных помещениях. Понятие рабочей зоны помещения. Холодный и теплый периоды года.
3. Тепловой, воздушный и влажностный режимы зданий. Факторы, на них влияющие. Виды влажностных режимов помещений. Типы условий эксплуатации ограждений. Тепло-технические характеристики строительных материалов, влияющие на теплозащитные свойства ограждений. Понятие «тепловая защита здания».
4. Расчетные условия наружной и внутренней среды, документ, их регламентирующий. Понятие «обеспеченность», используемые в расчетах коэффициенты обеспеченности.
5. Расчетное сопротивление теплопередаче однородного ограждения (формула и ее физический смысл). Выражение для теплового потока через ограждение. Нахождение температуры в произвольной точке многослойного ограждения.
6. Понятие «сложное ограждение». Алгоритм метода суперпозиции для расчета сложного ограждения.
7. Определение расчетной поверхности ограждений.
8. Принцип расчета полов на грунте и стен, углубленных в землю. Нормативные сопротивления теплопередаче по зонам I-IV утепленного пола.
9. Приведенное сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов.
10. Требуемое сопротивление теплопередаче ограждения и тепловая инерция ограждения (формула и ее физический смысл). Классификация зданий по массивности. Нахождение

- ние расчетной зимней температуры в зависимости от величины тепловой инерции ограждения.
11. Величины нормативного сопротивления теплопередаче наружных ограждений гражданского здания.
 12. Условие защиты ограждения от конденсации влаги на внутренней поверхности.
 13. Цель и алгоритм проведения тепловлажностного расчета ограждения.
 14. Условие защиты ограждения от конденсации влаги в толще.
 15. Тепловой баланс здания: составляющие теплопоступлений и теплопотерь. Уравнение теплового баланса для жилых и общественных зданий. Норматив бытовых теплопоступлений для жилых зданий.
 16. Трансмиссионные тепловые потери (формула). Ведомость расчета трансмиссионных тепловых потерь: алгоритм заполнения. Добавочные теплопотери $\Sigma\beta$ (знать β_1 и β_2).
 17. Тепловые потери с воздухообменом. Понятие «инfiltrация». Чем обусловлены теплопотери с воздухообменом Q_1 . От чего зависит расход инfiltrирующегося воздуха ΣG . Чем обусловлены теплопотери с воздухообменом Q_2 . Величина удельного нормативного расхода вытяжного воздуха для жилых зданий. Понятие «коэффициент инfiltrации».
 18. Расчетный расход теплоты на отопление гражданского здания (формула). Средний за отопительный период расход теплоты на отопление гражданского здания (формула). Температурный коэффициент пересчета отопительных нагрузок. Годовой расход теплоты на отопление гражданского здания (формула). Понятие «градусо-сутки отопительного периода». Что учитывает окончательная тепловая мощность системы отопления здания.
 19. Смысл удельной отопительной характеристики здания. Эталонная отопительная характеристика здания. Связь фактической и эталонной отопительных характеристик здания (формула). Понятие «работа обогрева здания». От чего зависит укрупненный показатель для расчета отопления квар-тальной застройки.
 20. Понятие «отопительный период». Особенности воды, пара и воздуха как теплоносителя.

21. Системы водяного отопления. Магистраль, стояки, ветви. Однотрубные и двухтрубные системы водяного отопления. Вертикальные и горизонтальные системы водяного отопления. Системы водяного отопления с нижней и верхней разводкой. Расчетная температура теплоносителя в водяных системах отопления.
22. Отопительные приборы: радиатор, конвектор, гладкотрубный прибор, ребристая труба, калорифер.
23. Стандартные условия испытаний отопительного прибора. Факторы, влияющие на теплоотдачу радиатора.
24. Система вентиляции. Понятия «аэрация», «инfiltrация», «экcфилтрация». Виды механической вентиляции. Вредные выделения. Понятия «явная теплота» и «скрытая теплота».
25. Понятие «кратность воздухообмена». Расчетный расход теплоты на вентиляцию здания (формула). Средний за отопительный период расход теплоты на вентиляцию здания (формула). Годовой расход теплоты на вентиляцию здания (формула). Использование укрупненного показателя для расчета вентиляции.
26. Принципиальные элементы форсуночного кондиционера. Способы охлаждения воздуха при кондиционировании.
27. Горячее водоснабжение. Средненедельный расход теплоты на ГВС (формула). Средний за сутки максимального водопотребления расход теплоты на ГВС (формула). Расчетный (максимально-часовой) расход теплоты на ГВС (формула). Годовой расход теплоты на ГВС (формула). Коэффициент недельной и суточной неравномерности водопотребления. Использование укрупненных показателей для расчета ГВС. Нормативный диапазон температуры горячей воды.
28. Классификация систем искусственного освещения. Понятие «разряд зрительных работ».
29. Основные параметры источников света: коэффициент запаса, светоотдача, цветовая температура, индекс цветопередачи, срок службы. Способы получения оптического излучения.
30. Характеристика основных источников света. ЛН, ГЛН: устройство, маркировка, особенности. Общие недостатки газоразрядных ламп. Понятие «стробоскопический эффект». ЛЛ,

- ДРЛ, ДРИ, ДНаТ: устройство, маркировка, особенности
Светодиоды: устройство, особенности.
31. Выбор источников света для разных видов зданий и помещений.
 32. КПД светильника. Степень защиты светильников. Условное обозначение светильников.
 33. Методы расчета освещения. Степень защиты светильников. Алгоритм расчета освещения методом коэффициента использования светового потока, расчетные формулы. Понятие «индекс помещения». От чего зависит коэффициент использования светового потока. Алгоритм расчета освещения методом удельной мощности.
 34. Годовой расход электроэнергии на освещение здания: расчетная формула.
 35. Основные направления (мероприятия) по экономии электроэнергии в системах освещения.
 36. Система канализации (водоотведения).
 37. Трассировка и устройство внутренней канализации. Расчет сети внутренней канализации.
 38. Стандарты ЕРВД.
 39. Структура управления и нормативная база энергосбережением в Республике Беларусь.
 40. Система энергетической классификации зданий.
 41. Показатели и основные параметры энергоэффективности зданий.
 42. Действия энергоаудитора по оценке энергопотребления зданий.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Белорусский национальный технический университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
Белорусского национального
технического университета

_____ А.Г. Баханович

18.01.17

Регистрационный № УД-ФТЦГ93-56 /уч.

ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии
и энергетический менеджмент»**

2016г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-43 01 06-2013.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.В. Горбач, начальник инспекционно-энергетического отдела Минского городского управления по надзору за рациональным использованием ТЭР

И.В. Янцевич, ст. преподаватель кафедры ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» Белорусского национального технического университета

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Н.Б. Карницкий, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» Белорусского национального технического университета, доктор технических наук, профессор;

Е.К. Костюкевич, зам. директора Института интегрированных форм обучения и мониторинга образования при Белорусском национальном техническом университете, кандидат технических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» Белорусского национального технического университета (протокол № ____ от _____ 201__ г.)

Заведующий кафедрой _____ В.Г. Баштовой

Методической комиссией факультета технологий управлений и гуманитаризации Белорусского национального технического университета (протокол № ____ от _____ 201__ г.)

Председатель методической _____ Е.Г. Богданович
комиссии

Научно-методическим советом Белорусского национального технического университета (протокол № ____ секции №1 от _____ 201__ г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Энергопотребление в зданиях и сооружениях» разработана для специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент».

Целью изучения дисциплины является систематизация общих знаний студентов о зданиях и сооружениях, как потребителей энергии; освоение расчетно-методологической базы для решения прикладных инженерных задач в области рационального использования топливно-энергетических ресурсов.

Основными задачами преподавания учебной дисциплины является изучение:

- общих сведений о зданиях и сооружениях как потребителях энергии;
- стационарной и нестационарной теплопередачи через наружные ограждения зданий;
- теплового, воздушного и влажностного режимов зданий;
- влияния наружного климата и микроклимата помещений на тепловой режим зданий;
- энергопотребляющих технических систем зданий для обеспечения технологических и комфортных условий (системы отопления, вентиляции, кондиционирования, водоснабжения и канализации, искусственного освещения);
- определения энергетической нагрузки технических систем зданий;
- путей повышения энергоэффективности технических систем зданий;
- показателей энергоэффективности зданий;
- особенностей проведения энергетического аудита и менеджмента в зданиях.

Учебная дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении таких дисциплин как: «Физика», «Химия», «Инженерная графика», «Электротехника и промышленная электроника», «Термодинамика», «Теплопередача». Знания и умения, полученные студентами при изучении данной дисциплины, необходимы для ос-

воения последующих специальных дисциплин и дисциплин специализаций, связанных с проектированием и расчетом энергоэффективности технических систем зданий, таких как «Производство, транспорт и потребление тепловой энергии», «Энергетический аудит и менеджмент», «Энергоэффективность в ЖКХ» и др.

В результате изучения учебной дисциплины «Энергопотребление в зданиях и сооружениях» студент должен:

знать:

- факторы влияющие на тепловой режим зданий с учетом наружного климата и внутреннего микроклимата помещений;
- состав энергопотребляющих технических систем зданий и особенности их работы;
- специфику проведения энергетических аудита и менеджмента в зданиях и сооружениях;

уметь:

- рассчитывать теплоперенос через ограждающих конструкции зданий с учетом воздушного и влажностного режима, климата местности и микроклимата помещений;
- рассчитывать энергетическую нагрузку систем отопления, вентиляции и кондиционирования, искусственного освещения;
- планировать и реализовывать мероприятия по повышению энергоэффективности зданий;

владеть:

- методами проведения энергетического аудита зданий и сооружений;
- методами расчета энергопотребления в зданиях и сооружениях;
- способами повышения энергоэффективности зданий и сооружений.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.

СЛК-6. Уметь работать в коллективе.

ПК-1. Разрабатывать (выявлять) и внедрять энергоэффективные технологии и устройства, в том числе на основе возобновляемых и экологически чистых источников энергии, в различных производственных процессах.

ПК-2. Проводить системный энергоанализ (энергоаудит) предприятий, технологических процессов и устройств, оценивать их функционально-экономическую и энергетическую эффективность на основе энергетических балансов.

ПК-3. Организовывать контроль и учет потребления топливно-энергетических ресурсов и контроль за эффективным их использованием, в том числе с использованием систем автоматизированной обработки технико-экономической и организационной информации.

ПК-6. Анализировать и оценивать тенденции развития энергоэффективных технологий и устройств.

ПК-7. Выбирать эффективные критерии оценки энергоэффективности и осуществлять их оптимизацию.

ПК-8. Разрабатывать технические задания на проектируемые энергоэффективные технологии и устройства с учетом результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

ПК-ПК-9. Разрабатывать пути снижения потерь энергии в производственных процессах.

ПК-10. Работать с необходимыми нормативными документами и современными средствами компьютерного проектирования.

ПК-11. Осуществлять выбор требуемого энергетического оборудования.

Согласно учебному плану:

- для очной формы получения высшего образования на изучение учебной дисциплины отведено всего 120 ч., из них аудиторных – 52 часа;

- для заочной формы получения высшего образования на изучение учебной дисциплины отведено всего 120 ч., из них аудиторных – 12 часа

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Се- местр	Лекции, ч.	Лабора- торные занятия, ч.	Практи- ческие занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	5	34	-	18	экзамен

Таблица 2

Заочная форма получения высшего образования					
Курс	Се- местр	Лекции, ч.	Лабора- торные занятия, ч.	Практи- ческие занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	5	8	-	4	экзамен

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

РАЗДЕЛ I. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ

Тема 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ КАК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Введение. Основные понятия, термины и определения. Классификация зданий и сооружений. Классификация и особенности энергопотребляющих систем инженерного обеспечения зданий и сооружений. Технические нормативные правовые акты Республики Беларусь по их проектированию, устройству и эксплуатации.

РАЗДЕЛ II. ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Тема 2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И НОРМИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Основные понятия и единицы. Естественное, искусственное и совмещенное освещение. Понятие КЕО. Классификация и особенности искусственного освещения. Принципы нормирования освещения. Основные показатели качества освещения. Понятие осветительной установки.

Тема 2.2. ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Параметры и классификация искусственных источников света. Понятия коэффициента запаса, светоотдачи, цветовой температуры, индекса цветопередачи, срока службы. Сравнение, условное обозначение, особенности использования и выбор основных источников света (лампы накаливания общего назначения, галогенные лампы, люминесцентные лампы, дуговые ртутные лампы, дуговые ртутные лампы с излучающими добавками, натриевые лампы, светодиоды).

Тема 2.3. СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ

Классификация световых приборов. Функции светотехнической арматуры. Характеристики и условное обозначение светильников. Понятия класса светораспределения и кривой силы света. Степень защиты светильников.

Тема 2.4. ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Цель и методы светотехнического расчета. Размещение светильников с точечными источниками света. Метод коэффициента использования светового потока. Метод расчета освещенности по удельной мощности. Точечный метод расчета освещенности. Определение расхода электрической энергии на искусственное освещение.

Тема 2.5. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Применение комбинированного освещения. Использование энергоэффективных источников света и световых приборов. Применение ЭПРА для газоразрядных ламп. Автоматическое управление освещением в сочетании с максимальным использованием естественного освещения. Поддержание уровня напряжения в допустимых пределах. Организационные мероприятия.

РАЗДЕЛ III. МИКРОКЛИМАТ ЗДАНИЙ.

Тема 3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Обслуживаемая и рабочая зоны помещений. Понятие микроклимата помещений. Условия комфортности пребывания человека в помещении. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата. Теплый и холодный периоды года. ТНПА, устанавливающие требования к параметрам микроклимата в Республике Беларусь.

Тема 3.2. ТЕПЛОВОЙ, ВОЗДУШНЫЙ И ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ЗДАНИЙ

Понятия теплового, воздушного и влажностного режимов зданий. Влияние наружного климата и микроклимата помещений на тепловой режим зданий. Выбор расчетных условий.

Тема 3.3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

Сопrotивление теплопередаче и тепловая устойчивость ограждающих конструкций. Сопrotивление воздухопроницанию и паропроницанию ограждающих конструкций. Защита ограждений от конденсации влаги. Новые виды ограждающих конструкций и материалов.

Тема 3.4. СТАЦИОНАРНАЯ И НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ

Условия стационарной и нестационарной теплопередачи через наружные ограждения зданий. Теплоусвоение и тепловая инерция. Определение теплоустойчивости помещений.

Тема 3.5. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЗДАНИЯ

Общее выражение теплового баланса. Статьи тепловых потерь и теплопоступлений. Трансмиссионные тепловые потери. Тепловые потери с воздухообменом. Свободные теплопоступления.

Тема 3.6. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Санитарно-гигиенические требования к системам отопления. Назначение, классификация и выбор систем отопления. Основные теплоносители. Конструктивные особенности систем водяного отопления. Современные системы местного отопления.

Тема 3.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТОПИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Тепловая мощность системы отопления. Выбор расчетных условий. Расчетные и текущие расходы теплоты на отопление зданий. Расчет по укрупненным показателям. Понятие удельной тепловой характеристики зданий.

Тема 3.8. ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Требования к отопительным приборам. Типы и характеристики отопительных приборов. Расчет необходимой поверхности нагрева.

Тема 3.9 СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Назначение и классификация систем вентиляции. Конструктивные особенности естественной вентиляции. Понятия инфильтрации, эксфильтрации, аэрации. Конструктивные особенности механической вентиляции. Аспирация. Охрана атмосферного воздуха от загрязнений.

Тема 3.10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ВОЗДУХООБМЕНА

Понятие кратности воздухообмена. Определение расхода приточного воздуха. Особенности расчета для жилых, общественных и производственных зданий.

Тема 3.11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ НАГРУЗОК

Выбор расчетных условий. Расчетные и текущие расходы теплоты на вентиляцию зданий. Расчет по укрупненным показателям.

Тема 3.12. ОБОРУДОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Общие требования к выбору и размещению вентиляционных систем. Конструктивные особенности оборудования вентиляционных систем. Оборудование для очистки воздуха от пыли.

Тема 3.13. СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Назначение, принцип работы и классификация систем кондиционирования воздуха. Конструктивные особенности центральных и местных систем кондиционирования воздуха, автономных кондиционеров. Зарубежные системы климатического контроля.

Тема 3.14. СПОСОБЫ ОХЛАЖДЕНИЯ, НАГРЕВАНИЯ, ОСУШЕНИЯ И УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРАКТИКЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Виды обработки влажного воздуха и их изображение на I-d диаграмме. Снижение температуры приточного воздуха в летний период с использованием адиабатического процесса испарения.

Тема 3.15. ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Подходы к проектированию и строительству энергоэффективных зданий. Энергосбережение при эксплуатации зданий. Сравнение норм строительной теплотехники в Республике Беларусь и за рубежом. Использование тепловых вторичных энергоресурсов в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Контрольно-измерительные приборы и регулирование параметров микроклимата.

РАЗДЕЛ IV. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И КАНАЛИЗАЦИЯ

Тема 4.1. СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

Системы внутреннего холодного и горячего водоснабжения: назначение и конструктивные элементы. Определение расчетных расходов воды в системах внутреннего водоснабжения и тепла на нужды горячего водоснабжения.

Тема 4.2. СИСТЕМА КАНАЛИЗАЦИИ

Назначение и устройство системы канализации зданий.

РАЗДЕЛ V. ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Тема 5.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА И МЕНЕДЖМЕНТА В ЗДАНИЯХ

Методологическая и инструментальная база проведения энергетического обследования зданий в Республике Беларусь. Энергетический паспорт здания. Показатели энергоэффективности зданий. Рекомендуемые направления и мероприятия по энергосбережению.

РАЗДЕЛ VI. ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

Основные законодательные акты и нормативные документы по охране труда. Оздоровление воздушной среды и нормализация параметров микроклимата. Производственное освещение. Безопасность эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды. Безопасность эксплуатации теплоэнергетических установок и оборудования. Требования охраны труда при проектировании промышленных и энергетических предприятий и объектов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
очная форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6
	5 семестр				
1.	Введение в дисциплину				
1.1	Общие сведения о зданиях и сооружениях как потребителей энергии	2		4	
2.	Искусственное освещение				
2.1	Классификация и нормирование освещения	1		2	
2.2	Искусственные источники света	2		4	
2.3	Световые приборы	2		4	
2.4	Основы светотехнического расчета	1	4	2	**
2.5	Экономия электроэнергии в системах искусственного освещения	1		2	
3.	Микроклимат зданий				
3.1	Основные понятия и определения	2		4	
3.2	Тепловой, воздушный и влажностный режим зданий	3		6	
3.3	Обеспечение тепловой защиты зданий	2	6	4	**
3.4	Стационарная и нестационарная теплопередача через на-	2		4	

	ружные ограждения зданий				
3.5	Тепловой баланс здания	2	2	4	**
3.6	Системы отопления. Общие сведения	1		4	
3.7	Определение отопительных нагрузок	1	2	4	*
3.8	Отопительные приборы	1		2	*
3.9	Системы вентиляции. Общие сведения	1		2	
3.10	Определение необходимого воздухообмена	1	2	2	*
3.11	Определение вентиляционных нагрузок	1	2	2	*
3.12	Оборудование вентиляционных систем	1		2	
3.13	Системы кондиционирования воздуха. Общие сведения	1		2	
3.14	Способы охлаждения, нагревания, осушения и увлажнения воздуха, используемые в практике кондиционирования	1		2	
3.15	Вопросы энергосбережения при проектировании и эксплуатации систем отопления, вентиляции и кондиционирования	1		2	
4.	Водоснабжение и канализация				
4.1, 4.2	Системы внутреннего водоснабжения. Система канализации зданий	1		2	
5.	Особенности энергетического обследования зданий				
5.1	Особенности проведения энергетического аудита и менеджмента в зданиях	1		2	
6	Вопросы охраны труда в зданиях и сооружениях	2			
Итого за семестр		34	18		экзамен
Всего аудиторных часов		52			

Условные обозначения в таблице:

* – устный и письменный опрос во время практических занятий;

** – защита выполненных на практических занятиях индивидуальных заданий.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ заочная форма получения высшего образования¹

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6
	5 семестр				
2.	Искусственное освещение				
2.4	Основы светотехнического расчета	1		4	
3.	Микроклимат зданий				
3.2	Тепловой, воздушный и влажностный режим зданий	1		10	
3.3	Обеспечение тепловой защиты зданий	2	1	8	
3.5	Тепловой баланс здания	2	1	8	
3.7	Определение отопительных нагрузок	1	1	6	
3.11	Определение вентиляционных нагрузок	1	1	4	
	Итого за семестр	8	4		
	Всего аудиторных часов	12			экзамен

¹ Темы учебного материала, не указанные в Учебно-методической карте, отводятся на самостоятельное изучение студента.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – 2-е изд. – Минск: Техноперспектива, 2008. – 271 с.: ил.
2. Богословский В.Н., Сканава А.Н. и др. Отопление. Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с., ил.
3. Андреевский А.К. Отопление. Изд.2, перераб. и доп. – Мн.: Вышш. школа, 1982. – 364 с., ил.
4. Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч.2. Вентиляция. Под ред. В.Н. Богословского. М., Стройиздат, 1976. 439 с.
5. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В.. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985.
6. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат, 1982.
7. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.: ил.
8. ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение». – Мн: Минстройархитектуры, 2010.
9. СНБ 4.02.01-03 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». – Мн: Минстройархитектуры, 2004.
10. ТКП 45-4.01-52-2007 «Системы внутреннего водоснабжения зданий. Строительные нормы проектирования». – Мн: Минстройархитектуры, 2008.
11. ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника». – Мн: Минстройархитектуры, 2007.
12. ТКП 45-2.04-196-2010 «Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики» - Мн.: Минстройархитектуры, 2010.

Дополнительная литература

13. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
14. Справочник по теплоснабжению и вентиляции (издание 4-е, перераб. и доп.). Книга 1-я. Р.В. Щекин, С.М. Корневский и др. – К.: Будівельник, 1976.
15. Справочник по теплоснабжению и вентиляции (издание 4-е, перераб. и доп.). Книга 2-я. Р.В. Щекин, С.М. Корневский и др. – К.: Будівельник, 1976.
16. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование./ Под ред. Проф. Б.М. Хрусталева – Мн.: Дизайн-ПРО, 1997. – 384 с.; ил.
17. Богословский В.Н., Ливчак В.И. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1990.
18. Лазаренков, А.М. Охрана труда в энергетической отрасли: [учебник для вузов по энергетическим специальностям]/Лазаренков А.М., Филянович Л.П., Бубнов В.П. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск: ИВЦ Минфина, 2011. – 672 с.: ил.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время практических занятий;
- проведение текущих контрольных работ (заданий) по отдельным темам;
- защита выполненных на практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках самостоятельной работы индивидуальных заданий;

- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- сдача экзамена.

Перечень тем практических занятий

Искусственное освещение

- Размещение светильников с точечными источниками света.
- Метод коэффициента использования светового потока.
- Метод расчета освещенности по удельной мощности.
- Точечный метод расчета освещенности.
- Определение годового расхода электрической энергии на освещение.

Микроклимат зданий

- Расчетное сопротивление теплопередаче.
- Приведенное сопротивление теплопередаче
- Тепловая инерция ограждения.
- Требуемое сопротивление теплопередаче.
- Проверка ограждения на конденсацию влаги.
- Трансмиссионные тепловые потери.
- Тепловые потери инфильтрацией.
- Воздухопроницаемость ограждений.
- Тепловой баланс здания.
- Тепловые нагрузки отопления зданий.
- Расчет отопительных нагрузок по укрупненным показателям.
- Удельная тепловая характеристика здания.
- Расчет необходимой поверхности нагрева отопительного прибора.
- Расчет необходимого воздухообмена помещений.
- Тепловые нагрузки вентиляции зданий.
- Расчет вентиляционных нагрузок по укрупненным показателям.

Водоснабжение и канализация

- Суточная и недельная неравномерность горячего водоснабжения.
- Тепловые нагрузки горячего водоснабжения зданий.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- управляемая самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных расчетных заданий с консультациями преподавателя;
- подготовка рефератов и компьютерных презентаций по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов.

Методы (технологии) обучения

Основными методами (технологиями) обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, творческого подхода, реализуемые на практических занятиях и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии (дискуссия, учебные дебаты, мозговой штурм и другие формы и методы), реализуемые на практических занятиях и конференциях.