Tempus

CENEAST

Реформирование программ
в сфере градостроительства на
пространстве Восточного соседства

А.А. Герасимов, И.С. Александров, П.И. Дорохов

СПРАВОЧНИК МОДУЛЯ: ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Реформирование программ в сфере градостроительства на пространстве Восточного соседства

Справочник модуля:

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Составитель: ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», Россия

Дата: 2014.01.25

Данный проект финансируется при поддержке Европейской комиссии. Настоящее издание отражает точку зрения автора. Европейская комиссия не несет ответственность за любое использование настоящей информации.

Tempus

УДК 697 (03)

Рецензенты:

Филонов Александр Георгиевич, заведующий кафедрой судовых энергетических установок и теплоэнергетикиФГБОУ ВПО "КГТУ", к.т.н., доцент

Сериков Сергей Александрович, технический директор Калининградского института промышленного проектирования (ОАО «Калининградпромпроект»)

А.А. Герасимов, И.С. Александров, П.И. Дорохов

Энергоэффективность в инженерных системах: справочник модуля / под ред. А.А. Герасимова, И.С. Александрова, П.И. Дорохова. – Калининград.: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 266 с.: ил.

Рассмотрены правовые, научные, экологические и социальные основы энергосбережения в зданиях и сооружениях.

Предназначено для бакалавров, обучающихся по направлениям «Строительство». Может быть рекомендовано для студентов, обучающихся и по другим направлениям и специальностям.

Это исследование было проведено при поддержке проекта CENEAST (реформирование учебных программ застроенной среды в Восточном соседстве), финансируемого при поддержке Европейской комиссии. Выводы и мнения, представленные в настоящем документе, отражают только точку зрения авторов, и Комиссия не может нести ответственность за любое использование информации, содержащейся в нем.

УДК 697 (03)

© А.А. Герасимов,
И.С. Александров,
П.И. Дорохов, 2015

Содержание

Содержание 3
Введение 7
Цели и предполагаемые результаты обучения 7
Календарный план семестра и структура модуля 9
Формы обучения 9
Порядок проведения аттестации 10
Обратная связь 11
Преподавательский состав и вспомогательные источники 13
Тема лекции 1: Общие сведения об энергосбережении в зданиях и сооружениях 14
1.1 Потребление энергии в зданиях и сооружениях 14
1.2 Виды и источники энергии, применяемые для жизнеобеспечения зданий и сооружений. Основные термины и определенияй 15
1.3 Проблема и предпосылки энергосбережения в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений 19
1.4 Классификация энергосберегающих мероприятий и методы экономии энергии в зданиях и сооружениях 20
1.5 Технические, экономические, экологические и социальные аспекты энергосбережения 25
1.6 Нормативно-правовая база энергосбережения. Структура и состояние нормативно-правовой базы энергосбережения в России, странах СНГ и Евросоюза 26
Тема лекции 2: Термодинамические, теплофизические и экологические основы энергосбережения 34
2.1 Некоторые основные понятия термодинамики 34
2.2 Уравнение первого и второго законов термодинамики 36
Тема лекции 3: Аппараты утилизации теплоты 40
3.1 Классификация теплоутилизаторов и их термодинамические показатели 41
3.2 Воздухо-воздушные рекуператоры 43
3.3 Установки утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем 47
3.3.1 Общие положения 47
3.3.2 Технологические схемы утилизаторов теплоты с промежуточным теплоносителем 47
3.3.3 Основы расчета тепло- и массопереноса в установках утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем 50
3.4 Установки с теплообменниками из тепловых трубок 53
3.5 Регенераторные воздухо-воздушные теплоутилизаторы 55
3.5.1 Конструкция регенераторных теплообменников 55
3.5.2 Расчет тепло- и массопереноса в регенеративных теплообменниках 57
3.6 Тепловые насосы 60
3.6.1 Парокомпрессионные тепловые насосы 60
3.6.2 Абсорбционные преобразователи теплоты 63

Тема лекции 4: Энергетическая эффективность инженерных систем зданий 68
4.1 Общие сведения об инженерных системах жизнеобеспечения зданий различного назначения 69
4.2. Наружные ограждения зданий и их характеристика 70
4.2.1 Теплозащитные свойства наружных ограждений здания 71
4.2.2 Показатели энергетической эффективности зданий 77
4.3 Нагнетатели в инженерных системах зданий и сооружений 80
4.3.1 Насосы 80
4.3.2 Вентиляторы 83
4.4 Системы водоснабжения зданий 88
4.4.1 Холодное водоснабжение 88
4.4.2 Горячее водоснабжение 93
4.5 Системы отопления 97
4.6 Системы вентиляции 100
4.7 Системы кондиционирования 102
4.8 Системы теплоснабжения (ТС) 108
4.9 Системы газоснабжения 119
Тема лекции 5: Повышение энергетической эффективности инженерных систем зданий, внедрение энергосберегающих мероприятий 130
5.1 Научные основы проектирования энергоэффективных зданий 131
5.1.1 Принципы проектирования энергоэффективных зданий [26] 131
5.1.2. Энергоэффективное здание как критерий оценки мастерства архитектора и инженера 133
5.1.3 Энергетические возможности наружного климата 134
5.1.4. Оптимальный учет воздействия наружного климата в тепловом балансе здания 135
5.2 Общие требования энергоэффективности к зданиям 139
5.3 Снижение тепловых потерь зданий 142
5.3.1 Тепловая изоляция зданий 142
5.3.2. Снижение потерь теплоты через окна 146
5.3.3 Герметизация и организация вентиляции в зданиях с минимизацией потерь теплоты 148
5.3.4 Ограждения с переменным сопротивлением теплопередаче 152
5.4 Повышение энергетической эффективности систем отопления 152
5.4.1 Циркуляционные насосы 156
5.4.2 Регулирование теплоотдачи отопительных приборов 159
5.4.3 Энергосберегающие режимы работы системы отопления 159
5.5 Повышение энергетической эффективности систем вентиляции кондиционирования 164
5.5.1 Методика расчета годовых расходов энергии и на обработку воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха с учетом сменности работы 165

5.5.2 Мероприятия по снижение расхода приточного воздуха 170
5.5.3 Снижение затрат энергии на перемещение воздуха 172
5.5.4 Снижение затрат энергии в результате утилизации теплоты вытяжного воздуха 173
5.6 Повышение энергетической эффективности в системах теплоснабжения 175
5.6.1 Целевые индикаторы повышения энергоэффективности в системах теплоснабжения 176
5.6.2 Основные мероприятия и механизмы реализации энергосбережения 177
5.7 Энергосберегающие мероприятия в системах водоснабжения и водоотведения 179
5.7.1 Беззатратные и малозатратные мероприятия 183
5.7.2 Среднезатратные мероприятия 183
5.7.3. Высокозатратные энергосберегающие мероприятия 187
5.8 Использование тепловых насосов для повышения энергетической эффективности систем жизнеобеспечения 188
5.8.1 Тепловые насосы в системах отопления зданий 188
5.8.2 Тепловые насосы в системах вентиляции и кондиционирования 195
5.9 Использование солнечной энергии в системах жизнеобеспечения зданий 196
5.9.1 Пассивное использование солнечной энергии в зданиях 196
5.9.2 Использование солнечной энергии для систем кондиционирования микроклимата и горячего водоснабжения 197
5.10 Повышение эффективности систем газоснабжения 205
Тема лекции 6: Общий анализ энергетической эффективности и технико-экономической целесообразности проектных решений инженерных систем зданий и сооружений 209
6.1 Основные показатели эффективности систем утилизации и преобразования теплоты 209
6.1.1 Термодинамические показатели 210
6.1.2 Термоэкономические показатели 212
6.2 Технико-экономическое обоснование энергосберегающих мероприятий 213
6.2.1 Методологические основы оценки эффективности энергосберегающих проектов 213
6.2.2 Ситуационный анализ энергосберегающих мероприятий (проектов) 215
6.2.3 Формулы совмещенного расчета прибыли и денежного потока 217
6.2.4 Оценка проектов с учетом инфляции 219
6.2.5 Показатели коммерческой эффективности энергосберегающих мероприятий 219
6.2.6 Формулы расчета показателей эффективности ЭСМ 223
6.2.7 Упрощенные расчеты показателей эффективности ЭСМ 225
Тема лекции 7: Система управления зданием как основной инструмент повышения энергоэффективности систем жизнеобеспечения 227
7.1 Управление инженерными системами зданий 227
7.2 Ителлектуальное здание 228

7.3 Особенности математической модели теплового режима здания для системы управления 231
7.4 Самообучающаяся математическая модель 232
7.5 Рекомендации по разработке системы управления 233
8 Тема лекции 8: Основы энергоаудита зданий 236
8.1 Энергетический менеджмент 236
8.2 Энергетический аудит 237
8.2.1 Содержание и основные задачи энергоаудита 237
8.2.2 Цели и этапы энергоаудита 239
8.2.3 Инструментальное обследование потребителей 240
8.2.4 Разработка основных рекомендаций и мероприятий по энергосбережению 244
8.2.5 Энергетическая сертификация зданий 245
9. Тема лекции 9: Перспективы и тенденции энергосбережения 247
9.1 Основные тенденции в развитии систем жизнеобеспечения зданий 247
9.2 Климатические и экологические изменения в окружающей среде и их влияние на системы жизнеобеспечения 249
9.3 Внедрение новых материалов и технологий 252
9.4 Совершенствование систем управления зданием на основе цифровых и информационных технологий 256
Список использованных источников 262

1 Введение

Дисциплина знакомит с правовыми, научными и экологическими и социальными основами энергосбережения в зданиях и сооружениях. Основными потребителями энергии в зданиях являются системы жизнеобеспечения – водоснабжение, теплоснабжение, электроснабжение, отопление, вентиляция и кондиционирование. Рассматриваются научные основы энергосбережения, базирующиеся на знаниях термодинамики, тепло- и массобмена, теплофизики, экологии и экономики. Рассматривается назначение и устройство систем жизнеобеспечения зданий и сооружений, основное оборудование и технические и энергетические показатели систем. Изучается оборудование, применяемое для энергосберегающих мероприятий. Рассматриваются собственно системы жизнеобеспечения зданий, их технические и энергетические характиеристики. Изучаются способы и методы повышения энергетической эффективности указанных систем. В дисциплине не рассматриваются системы электроснабжения, так как их изучение требует специальных знаний электротехники. Рассматриваются методы оценки энергетической эффективности принимаемых проектных решений, методы технико-экономического анализа. Уделяется внимание системам управления зданием, как важнейшему фактору, влияющему на энергетическую эффективность здания. Рассматриваются основы энергоаудита, которые необходимы для оценки энергетической эффективности здания и разработки плна мероприятий по дальнейшему её повышению.

2 Описание модуля

Название специальности: Строительство

Уровень: Бакалавриат

Название модуля: Энергоэффективность в инженерных системах

Количество кредитных единиц: 5

Номер семестра:8

Примерное количество часов: 180

Преподаватели: проф. Герасимов А.А.

3 Цели и предполагаемые результаты обучения

Цели модуля

● ознакомление с законодательной и нормативно-правовой базой Российской Федерации, Белоруссии, Украины и стран Евросоюза в области энергосбережения;

● получение знаний и компетенций о термодинамических и теплофизических и экологических основах потребления и преобразования энергии в инженерных системах;

● изучение современных методов анализа энергетической эффективности инженерных систем;

● получение сведений об энергетической эффективности основных инженерных систем (газоснабжение, теплоснабжение, водоснабжение, климатизация зданий) и способах её повышения;

●получение сведений о том, в какой степени те или иные алгоритмы управления режимами работы инженерных систем влияют на показатели энергоэффективности;

● получение теоретических знаний и практических навыков расчета, проектирования и эксплуатации энергоэффективных инженерных систем зданий и сооружений;

● формирование представлений об энергетическом аудите зданий и сооружений, его целях, задачах, правовых и инжиниринговых последствиях;

● представить сведения о современных перспективах, тенденциях и проблемах развития энергосбережения.

Результаты обучения

Знания и их применение

После успешного завершения этого модуля студент будет в состоянии:

● оценить энергетическую эффективность инженерной системы по результатам энергетического аудита или экспертизе проектного решения;

● классифицировать систему управления здания с точки зрения степени влияния на показатели энергоэффективности;

● применить теоретические знания и практические навыки в проектировании энергоэффективных систем или внедрении энергосберегающих мероприятий в существующие системы;

● оценить технико-экономическую эффективность и экологическую безопасность энергосберегающего мероприятия;

● составить энергетический паспорт здания и определить наиболее эффективные способы снижения затрат энергетических и материальных ресурсов;

● продолжать углубленное изучение специальных и общих вопросов энергосбережения с целью осуществления функций энергетического и управленческого консалтинга, а также проведения научных исследований в данной области.

Исследовательские навыки

В случае успешного изучения модуля студент будет уметь:

- использовать современные системы поддержки принятия решений для комплексного анализа системы жизнеобеспечения здания с целью проведения исследований и выработки рациональных решений по оптимизации энергозатрат;

- сравнивать, анализировать, оценивать имеющиеся альтернативы и принимать решения в области энергосбережения при помощи методов многокритериального анализа.

Специальные умения

В случае успешного изучения модуля студент будет уметь:

- проводить комплексный анализ систем жизнеобеспечения здания;

- разрабатывать проекты по повышению энергетической эффективности инженерных систем и здания в целом.

Социальные умения

В случае успешного изучения модуля студент будет уметь:

- на основе приобретенных знаний принимать и проверять решения, демонстрировать мотивированное и ответственное отношение к своей профессии.

Личные качества

В случае успешного изучения модуля студент будет уметь:

- самостоятельно и дисциплинированное решать проблемы, оценивать влияние принятых решений на окружающую среду;
- принимать участие в групповых обсуждениях и презентациях по Интернету;
- самостоятельно изучать литературу, выбирать направления развития, повышать квалификацию.

4 Календарный план семестра и структура модуля

Номер недели	Тема лекции
1	Введение в модуль
1	Общие сведения об энергосбережении в зданиях и сооружениях
2	Термодинамические, теплофизические и экологические основы энергосбережения.
2, 3, 4	Аппараты утилизации теплоты
5, 6, 7	Энергетическая эффективность инженерных систем зданий.
8	Повышение энергетической эффективности инженерных систем зданий, внедрение энергосберегающих мероприятий.
8, 9	Общий анализ энергетической эффективности и технико-экономической целесообразности проектных решений инженерных систем зданий и сооружений.
10	Система управления зданием как основной инструмент повышения энергоэффективности систем жизнеобеспечения.
10. 11	Основы энергоаудита зданий.
12	Перспективы и тенденции энергосбережения

5 Формы обучения

Основной материал модуля представляют собой конспекты лекций и задания преподавателей, расположенных на платформе Moodle. Они включают в себя интерактивные задания для промежуточной оценки знаний как преподавателем, так и самим студентом (самооценка). Студентам предлагаются ссылки на дополнительные материалы в сети Интернет, например, базы данных, включая ScienceDirect, Scopus, электронные библиотеки и т.д.

На сайте проекта TEMPUS http://iti.vgtu.lt/ilearning/kursuinfo.aspx представлены видеоматериалы, калькуляторты и программное обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом, дополняющие настоящий модуль. С помощью калькуляторов и программного обеспечения студентам предлагается выполнить расчеты и моделирование различных ситуаций в процессе выполнения домашних, курсовых работ и заключительной работы. Также студенты могут сдавать часть экзамена с использованием понравившегося им видеоматериала. Студенты могут дополнить базу данных видеоматериалов, калькуляторов и программного обеспечения настоящего модуля.

Преподавание происходит посредством модерации обсуждений на форуме с целью подготовки письменных работ. Кроме того, для большей сплоченности группы, нивелирования

«изоляции» обучаемых в процессе дистанционного обучения, реализации возможностей проявления и тренировки навыков аргументирования, а также для поддержания обратной связи студенты будут приглашаться для участия в онлайн-дискуссиях, взаимной оценке и групповой работе (участие в форумных обсуждениях обязательно).

Все студенты будут использовать виртуальную среду Moodle в процессе обучения. Программы используют стратегию электронного обучения для передачи данных. Метод основан на следующих принципах:

1. Высококачественное интегрированное содержание модуля, сочетающее в себе разнообразные виды информации для достижения целей модуля;
2. Коммуникация и предоставление работ для оценки через Интернет;
3. Онлайн поддержка преподавателя в ходе изучения модуля.

Для решений практических занятий студенты будут использовать компьютерные системы обучения, которые представлены на сайте проекта TEMPUS (http://www.ceneast.com/).

6 Порядок проведения аттестации

Экзамен, курсовая работа

Итоговая оценка выставляется по результатам применения знаний студентов на практике и подготовки курсовой работы (6000 слов), применения критического анализа систем жизнеобеспечения здания с помощью компьютерных систем обучения.

График проведения аттестаций в учебном году

Номер недели	Форма контроля знаний
13	Курсовая работа
16	Экзамен (е-тест)

Порядок проведения экзамена

Цель экзамена – проверка усвоения понятий предметной области. Само собой разумеется, что студенты не должны прибегать к какой-либо помощи (или принимать таковую) во время экзамена. Еще более важно, факты использования такой помощи не должны выявляться в процессе экзамена.

Экзамен проводится по Интернету при помощи электронной экзаменационной системы. Тест включает 20 вопросов, ответы даются online. Дополнительно будет использована биометрическая и интеллектуальная система самооценки успеваемости студента.

Методы оценки курсовой работы: проблемные вопросы, вопросы, на которые требуются краткие ответы, online дискуссии, экспертная оценка.

Инструкции по предоставлению работ и крайние сроки

При предоставлении экзаменационных работ (курсовых работ) следует соблюдать следующие инструкции:

- соблюдение крайних сроков необходимо, если только они не были продлены руководителем программы. Сроки сдачи могут быть продлены только в уважительных случаях, как например, состояние здоровья или чрезвычайная ситуация, с предоставлением соответствующих документов;

- электронная версия курсовой работы подается через систему Moodle.

- электронная версия подается через систему Moodle до завершения срока сдачи (неделя №13). Работы подаются в формате .doc (msword) или .pdf. Предоставление работ в иных форматах может послужить поводом к возврату работы.

- каждая курсовая работа будет подвержена тщательной проверке на плагиат посредством специального программного обеспечения.

Взыскания за несвоевременную сдачу работы

За каждый полный или неполный день просрочки (но не более 5 дней) снимается 5% от максимальной возможной оценки за данный вид работы.

Работы не принимаются:

- по истечении 5 рабочих дней после завершения срока сдачи;

- после предоставления результатов оценки работы преподавателем любому из студентов.

Несвоевременная сдача online экзамена не разрешается.

Метод расчета оценки по модулю

$M = 0.7C + 0.3\,(y1 + y2 + \ldots + y20)$,

где C – оценка курсовой, y1, y2,....,y20 – оценка за тест из 20 вопросов, за каждый правильный ответ начисляется 0,5 балла.

7 Обратная связь

Право на получение информации по итогам аттестации

Все студенты получат информацию по итогам аттестации. Такая информация предоставляется каждому студенту индивидуально (относительно отдельных вопросов по его работе) и всей группе в целом (относительно общих вопросов по оценке работы группы студентов в целом).

Обратная связь. Процедура предоставления итогов оценки курсовых работ и экзаменов

• Итоги экзаменов

Итоги экзаменаи предоставляются электронной экзаменационной системой непосредственно после окончания теста. В случае неверных ответов дается ссылка на учебные материалы с целью совершенствования знаний.

• Итоги оценки курсовых работ

Предоставляются в максимально короткие сроки после сдачи работ (в 5-дневный срок после сдачи работы).

Образец предоставления итогов оценки курсовой работы

Модульи инструмент оценки	**Комментарии**
Задача оценки: промежуточная О или итоговая О	

Критерии оценки:	1. 2. 3.
Оценка: (в баллах)	
Комментарий:	
Для последующего изучения:	
Комментарий студента:	
Ответ преподавателя:	

- **Временные рамки по предоставлению итогов аттестации**

В течение 5 дней после окончания экзаменационной сессии.

Контактные данные (помощь и консультации)

Проф. Герасимов Анатолий Алексеевич: aager_kstu@mail.ru

8 Преподавательский состав и вспомогательные источники

Обязанности преподавателей, руководителей программы и вспомогательного (координационного) персонала

Основная обязанность преподавателей модуля: подача материалов модуля согласно программе.

Основные обязанности координаторов модуля:

- планирование и внесение изменений в модуль;
- координация и управление профессорско-преподавательским составом;
- координация проведения экзаменов.

Основные обязанности руководителей программы:

- управление программой на регулярной основе;
- обеспечение получения студентами положительного опыта в процессе обучения;
- мониторинг, пересмотр и расширение содержания программы и методов преподавания.

Вспомогательный персонал осуществляет психологическую, кураторскую поддержку студентов (самостоятельно либо путем рекомендации других источников такой поддержки)

Контактные данные преподавателя модуля:

Проф. Герасимов Анатолий Алексеевич: aager_kstu@mail.ru

Учебная программа и материалы

Тема лекции 1: Общие сведения об энергосбережении в зданиях и сооружениях

Введение в лекцию

Тема знакомит с проблемой энергосбережения в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений.

Цель и основные результаты обучения

Целью обучения по этой теме является изучение следующих вопросов : Потребление энергии в зданиях и сооружениях. Виды и источники энергии, применяемые для жизнеобеспечения зданий и сооружений. Проблема и предпосылки энергосбережения в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений. Классификация энергосберегающих мероприятий и методы экономии энергии в зданиях и сооружениях. Основные термины и определения. Технические, экономические, экологические и социальные аспекты энергосбережения. Нормативно-правовая база энергосбережения. Структура и состояние нормативно-правовой базы энергосбережения в России, Белоруссии, Украине и странах Евросоюза.

Предполагаемые основные результаты обучения соответствуют выше предусмотренным целям.

Конспект лекции и раздаточные материалы

Все материалы, видео, калькуляторы и программное обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом вы можете найти по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency_ KSTU)

1.1 Потребление энергии в зданиях и сооружениях.

В существующих зданиях расходы тепловой энергии составляют 250–600 кВт·ч за отопительный период на м^2 отапливаемой площади [1] в зависимости от объемно-планировочного решения дома: многоэтажный или малоэтажный, многосекционный или одноквартирный. В многоэтажных домах площадь наружных ограждающих конструкций (стен, покрытий, цокольных перекрытий), приходящихся на 1 м^2 полезной площади зданий, в 3-4 раза меньше, чем в одно-двухэтажных, и, соответственно, меньше тепловых потерь.

Следует отметить, что 20 лет назад такие страны, как Дания и Германия, находились примерно на том же уровне энергопотребления, что и бывший Советский Союз. И все же в передовых странах за прошедшие 15-20 лет произошли существенные изменения. Снижение энергопотребления достигается не только в строящихся зданиях, где ограждающие конструкции имеют повышенную теплоизоляцию в соответствии с принятыми в европейских странах в 80-90-х годах нормами, но и в существующих домах.

Программа реконструкции и модернизации зданий массовых серий осуществлялась на протяжении ряда лет во Франции и Германии. Большинство типовых многоэтажных домов в этих странах были утеплены и теплопотери снижены на 25-40 %.

Одна из проблем эксплуатации зданий, построенных в 60-70 годы, низкий уровень тепловой защиты ограждающих конструкций, который в сочетании с суровыми климатическими условиями приводит к большим затратам на отопление существующих зданий. Из-за высокой стоимости тепловой энергии и низких доходов населения ежегодно до 40% расходной части

городского бюджета направляется на дотацию затрат жилищно-коммунальных предприятий на отопление жилых зданий.

Поэтому сегодня представляется важным направлением в сокращении неэффективных затрат на содержание существующего жилищного фонда города и для увеличения срока службы зданий первых массовых серий осуществление на основе технико-экономического обоснования поэтапной реконструкции и модернизации жилых зданий со значительным снижением (на 30-50 %) их теплопотерь.

Расход энергии (тепла, электричества) в зданиях зависит от многих различных факторов:

• климатических;

• технических;

• потребительских привычек.

К климатическим факторам относятся температура холодного периода, количество солнечной радиации, скорость ветра, количество осадков.

К техническим факторам относятся величина тепловой изоляции, тип, размер и направленность окон, объемно-планировочное решение здания, системы отопления и вентиляции, регулирование этих систем.

Термин “потребительские привычки” обозначает такие факторы, как, например, количество расходуемой горячей воды, частота открывания окон, приготовления пищи и использования света. К этим факторам относятся также люди, которые отвечают за эксплуатацию систем отопления, вентиляции и всего здания. Потребительские привычки оказывают большое влияние на расход энергии. И основной принцип воздействия на них – это стимулирование энергосбережения.

1.2 Виды и источники энергии, применяемые для жизнеобеспечения зданий и сооружений. Основные термины и определения.

Энергия является мерой способности объекта совершить работу. Известно много видов энергии, например, тепловая, механическая, электрическая, излучения, химическая, ядерная, массы. В ряде публикаций теплоту не относят к отдельному виду энергии, а считают лишь формой или способом ее передачи.

Одним из критериев оценки качества энергий принимается доля энергии источника, которая может быть превращена в механическую работу. Широко распространенные и перспективные источники энергии имеют следующие ориентировочные значения этого критерия:

• теплота сжигаемого топлива - 30-45 %;

• электроэнергия - 95 % и более;

• источники механической энергии: ветровая - 30 %, водных потоков рек - 60%, волновая и приливная -65%;

• тепловые возобновляемые источники - 35 %;

• фотоэлектрические преобразователи -15 %.

Источники энергии делятся на невозобновляемые (истощаемые) и возобновляемые (неистощаемые) [1]. Невозобновляемые источники энергии - это природные запасы вещества и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. В первую очередь к ним следует отнести ископаемые топлива и продукты их переработки: каменный и бурый уголь, сланцы, торф, нефть, природный и попутный газ. Это также отходы некоторых

производств: металлургической промышленности, процессов химической и термохимической переработки углеводородного сырья и т.д.

Возобновляемые источники энергии - это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии: Солнца, ветра, тепловой энергии Земли, морей и океанов, рек, биомассы (растений и животных). Запасы и перспективы использования различных источников энергии определяются энергетическими ресурсами.

Энергетический ресурс – носитель энергия, который используется в настоящее время или может быть использован в перспективе. В настоящее время основными потребляемыми энергетическими ресурсами являются природные топлива и энергия потоков волы, которые представляют собой не что иное, как преобразованную энергию Солнца. Предварительно переработанный, преобразованный энергетический ресурс, непосредственно используемый на стадии конечного потребления, а также природный энергетический ресурс, потребляемый на этой стадии, называются энергоносителями. Примеры энергоносителя - природный газ, мазут (котельное топливо), горячая вода и пар в системах центрального теплоснабжения и т. д.

Энергетические ресурсы подразделяют на первичные и вторичные. Первичный энергоресурс - энергоресурс, который не был подвергнут какой-либо переработке.

Вторичный энергоресурс (ВЭР) - энергоресурс, получаемый в виде побочного продукта основного производства или являющийся таким продуктом. Фактически ВЭР являются отходами производства. Применение ВЭР позволяет значительно повысить эффективность использования энергии.

Топливно-энергетический комплекс, охватывающий получение, передачу, преобразование и использование различных видов энергии и энергетических ресурсов, называется энергетикой.

Энергетика делится на традиционную и нетрадиционную.

Традиционная энергетика базируется на использовании ископаемого горючего или ядерного топливе и энергии коды крупных рек (рис. 1.1). Она подразделяется на теплоэнергетику, электроэнергетику, ядерную энергетику и гидроэнергетику.

Нетрадиционная энергетика включает возобновляемые источники энергии и ВЭР: энергию Солнце (тепловая энергия, превращенная тепловая энергия, кинетическая энергия, фотосинтез), тепловую энергию Земли, энергию планетарного движения (приливы), ВЭР (тепловые, горючие и перепадов давления).

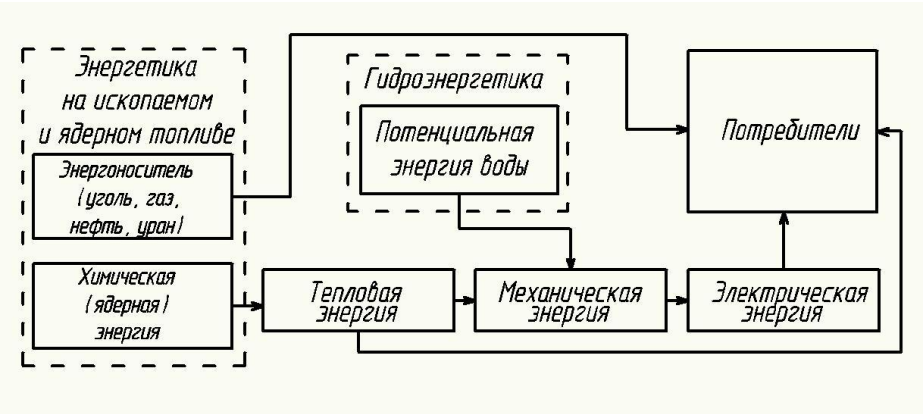


Рис. 1.1. Энергетическая цепочка, основанная на традиционной энергетике [1]

Вместе с тем на каждой стадии производства, передачи и потребления энергии имеются ее потери в виде теплоты, рассеивающейся обратно в окружающую среду.

Решение вопросов уменьшения потерь энергии и ее эффективного использования на всех стадиях составляет сущность энергосбережения.

Энергосбережение - организационная, научная, практическая и информационная деятельность, направленная на эффективное использование энергетических ресурсов и реализуемая с применением технических, экономических и правовых методов. Энергосбережение включает широкий набор взаимосвязанных действий и методов для обеспечения эффективного использования энергии.

Эффективное использование энергии - достижение экономически и социально оправданного уменьшения использования энергетических ресурсов на единицу продукции или услуг при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении требований к охране окружающей природной среды.

Экономия энергии - результаты реализации мер, применяемых в целях снижения непроизводительных потерь топлива, электроэнергии, теплоты, механической энергии. Экономия энергии может достигаться пассивными и активными методами.

К пассивным методам, например, относится использование теплоизоляции для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду путем применения материалов и конструкций с малой теплопроводностью и теплопередачей.

Активная экономия энергии - регулирование отпуска теплоты на отопление и кондиционирование воздуха и регулирование нагрузки потребительских установок. Активная экономия энергии также включает утилизацию вторичных энергоресурсов. Экономии энергии может достигаться и за счет организационных изменений и внедрения новых систем, например, путем использования установок, процессов, продукции или услуг, требующих меньше энергии для работы или изготовления продукции, чем применявшиеся ранее, без ухудшения качественных характеристик производимых изделий или услуг. Кроме того, может проводиться замещение применяющегося энергоносителя другим с достижением экономической выгоды без ущерба для выпуска конечной продукции. Например, в отдельных случаях замещение технологического пара горячей водой приводит к уменьшению непроизводительных потерь теплоты.

Конечный результат экономии энергии может быть прямым и косвенным.

Прямое энергосбережение связано непосредственно с экономией энергетических ресурсов при производстве, преобразовании и транспортировке энергия.

Косвенное энергосбережение связано с экономией материальных неэнергетических ресурсов при их добыче, переработке и эксплуатации и достигается за счет уменьшения материалоемкости выпускаемой продукции, повышения се надежности и качества, продления срока службы изделий. Примером косвенного энергосбережения могут служить широко используемые для подавления или уменьшения скорости коррозии металлоконструкций электрохимические методы.

Во всех случаях экономия энергии имеет смысл, если при использовании любого метода или принципа, направленного на ее экономию, влияние на окружающую среду минимально, человек не испытывает неудобств и за счет эффективного использования энергии получена прибыль.

Физико-технический анализ проблемы должен быть дополнен экологическим и экономическим анализом.

Наконец, в процессе преобразования энергии различные юридические и физические лица, связанные с производством, транспортировкой и потреблением энергии, вступают во взаимные контакты с определенными обязательствами. Их взаимоотношения регламентируются законодательством и относятся к области права.

Таким образом, для решения проблемы эффективного использования энергии необходимо иметь представление и владеть информацией об основах энергетики, экологии, социальной политики, экономики, менеджмента и права, чтобы, обладая соответствующими знаниями и умениями, реализовывать их на практике.

Одной из составляющих энергетического менеджмента является обеспечение энергетической безопасности развития экономики [1]. Сущность и формы реализации энергетической безопасности во многом зависит от уровня энергетической обеспеченности страны. Необходимо решение ряда насущных проблем, связанных с энергетическим обеспечением страны, и первой из них является достижение энергетической безопасности. В равной мере это относится и к странам с относительно высоким уровнем самообеспечения энергетическими ресурсами. Изменение мировой конъюнктуры на ископаемое топливо, истощение активных источников его добычи, и главное, необходимость резкого увеличении темпов экономического развитии может потребовать несоразмерно высоких удельных капиталовложений.

В будущем проблема энергообеспечения экономики приобретет еще большую остроту. Можно выделить следующие обобщенные факторы повышения энергетической безопасности стран с различным уровнем обеспеченности энергетическими ресурсами:

• развитие стратегии, методологии оценки и мониторинг энергетической безопасности;

• модернизация и реструктуризация топливно-энергетического комплекса;

• расширение списка стран-поставщиков и номенклатуры экспортируемых энергетических ресурсов;

• повышение надежности функционировании энергетических установок;

• диверсификация топливно-энергетических ресурсов, использование альтернативных источников энергии;

• повышение эффективности использования энергии за счет разработки и внедрения новых технологий и оборудования в промышленности, сельском хозяйстве, транспорте и социальной сфере;

• реализация существующего потенциала энергосбережения, включая уменьшение потерь энергии, использование вторичных энергетических ресурсов и т. д.;

• частичная переориентация на собственные топливно-энергетические ресурсы, включая:

• использование местных видов органического топлива;

• развитие энергетических источников на ядерном топливе и (или) совместная эксплуатация блоков АЭС пограничных стран;

• развитие водородной энергетики;

• использование вторичных энергетических ресурсов;

• использование биологических отходов (биотоплива) в промышленных масштабах для производства электроэнергии и теплоты;

• развитие нетрадиционных возобновляемых энергетических источников на основе энергии Солнца, водных потоков, ветра и геотермальных вод;

• долевое участие в разработке и эксплуатации и (или) акционирование предприятий энергетического сектора стран-партнеров;

• разработка совместных со странами-партнерами программ повышения коллективной энергетической безопасности.

В качестве дополнительного критерии энергетической безопасности следует рассматривать наличие национальной информационно-аналитической системы, включая подсистемы мониторинга показателей энергетической безопасности, определения текущих пороговых уровней кризисности состояния энергетической безопасности и составления долгосрочных и среднесрочных прогнозов развития энергетической составляющей экономики.

1.3 Проблема и предпосылки энергосбережения в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений.

За последние десятилетия бесконтрольной добычи и расточительного использования невозобновляемых энергоресурсов человечество приблизилось к глобальному кризису мировых запасов топлива, а также к значительному ухудшению экологической обстановки на планете: потепление климата, болезни, загрязнение атмосферы, рек, вырубка лесов.

Специалисты прогнозируют [2], что, двигаясь такими темпами, мы полностью израсходуем запасы природных энергоресурсов (газа, нефти, угля) в ближайшие пятьдесят лет. Серьезный энергетический кризис в 1970-х годах XX в. заставил Европу задуматься над экологическими проблемами и начать разрабатывать природоохранные проекты. В 1997 году был подписан Киотский протокол, согласно которому государства должны ограничить выброс CO_2 в атмосферу.

В большинстве стран мира одним из важнейших объектов государственного регулирования стали требования к повышению тепловой защиты зданий. Помимо экономии государственных энергоресурсов эти требования призваны защитить окружающую среду от вредных выбросов, рационального использования природных ресурсов, уменьшение «парникового эффекта».

На сегодняшний день актуальна проблема снижения энергопотребления жилых домов, что также дало толчок для развития энергосберегающих технологий. На обогрев домов государствами тратится до 40% всех энергоресурсов страны, а в атмосферу в результате выбрасывается огромное количество углекислого газа, что приводит к развитию «парникового эффекта». Энергосберегающие технологии позволяют решить сразу несколько задач:

• экономия энергоресурсов;

• решение многих проблем ЖКХ;

• уменьшение загрязнения окружающей среды;

• увеличение рентабельности предприятий.

Судя по опыту передовых стран, в вопросе по продвижению технологий необходим комплексный подход, совершенствование действующего законодательства, разработка правовых и технических мер стимулирования, применение экономических и правовых механизмов воздействия на собственников жилья и строительные компании:

• информационные меры воздействия не только призывают к экономному использованию энергии, но и дают конкретные советы по ее экономии, а также описание экономических выгод от энергосберегающих технологий;

• применение энергетическими компаниями льготной тарифной сетки для зданий с низким энергопотреблением;

• по опыту развитых стран эффективными мерами считаются право пользования налоговыми льготами, получение субсидий на частичное покрытие затрат по внедрению технологий и ссуд со сниженными процентными ставками;

•внедрение системы контроля энергопотребления и привлечения к ответственности за нарушение установленных норм строительства и эксплуатации зданий.

1.4 Классификация энергосберегающих мероприятий и методы экономии энергии в зданиях и сооружениях.

С точки зрения основной направленности энергосберегающие мероприятия в зданиях можно классифицировать следующим образом [1]:

- оптимизация архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных решений;
- повышение теплозащиты светопрозрачных и несветопрозрачных ограждений;
- снижение организованного и неорганизованного воздухообмена (за счет уплотнения окон и дверей, рациональной схемы организации воздухообмена, использования теплоустойчивости помещения и т.д.);
- снижение затрат тепловой и электрической энергии на системы вентиляции и кондиционирования воздуха при сохранении существующего воздухообмена (например, за счет утилизации теплоты и холода, рециркуляции, ночного проветривания, регулируемого электропривода насосов и вентиляторов и т.д.);
- мероприятия по снижению водо- и теплопотребления в системах ГВС;
- инженерные решения по полезному использованию внутренних и внешних теплопоступлений (в первую очередь автоматизация систем отопления);
- сокращение потребления тепловой и электрической энергии от внешних источников за счет использования альтернативных и нетрадиционных источников и некоторые другие.

Функциональное назначение систем жизнеобеспечения зданий состоит в обеспечении заданных параметров микроклимата в зданиях и сооружениях разного назначения. Здание, как энергетическая система, представляет собой совокупность помещений, каждое из которых характеризуется индивидуальными особенностями. Параметры внутренней среды формируются в условиях воздействия на помещение потоков тепла, влаги и воздуха. Поступление потоков обусловлено воздействием наружной и внутренней (технологической) среды помещения.

В процессе функционирования системы потребляются энергоресурсы. Энергосбережение как комплекс мер, направленных на сокращение расхода энергии от внешних источников, подразумевает в первую очередь использование таких систем, которые заведомо экономичнее других. Объем энергопотребления определяется совокупностью большого числа факторов и переменно во времени суток и года. Для объективной оценки энергетической эффективности следует пользоваться суммарным (во времени) показателем, каковым является годовой расход. Для систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха именно год является полным интервалом времени, на котором реализуется весь набор режимов энергопотребления.

Суммарный расход энергии системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха складывается из двух частей.

Первая составляющая направлена на нейтрализацию возмущающих тепловых воздействий для стабилизации температурных условий (отопление-охлаждение здания). Влияние наружной и внутренней сред на эту долю расходования энергии - косвенное и проявляется посредством теплового и воздушного режима здания.

Вторая составляющая связана с тепловой обработкой и перемещением воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха и представляет собой расход энергии на вентиляцию. Зависимость второй части расхода энергии от параметров наружной среды - прямая. Имея в виду неоднозначную взаимосвязь двух составляющих энергопотребления, для объективной оценки следует оперировать суммарной величиной расхода.

Следует отметить, что сокращение энергопотребления системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха не может осуществляться в ущерб качеству микроклимата. Кроме того, снижение энергопотребления должно быть оправдано экономически, то есть должны использоваться решения, не требующие дополнительных инвестиций. Существующий в настоящее время арсенал средств позволяет существенно понизить потребление энергии. Однако во многих случаях реализация всего комплекса мер сопряжена со значительными капиталовложениями и в конечном итоге может оказаться нерентабельной.

Говоря о приоритетах энергосбережения, следует иметь в виду, что, прежде всего, должны осуществляться меры по снижению тепловой годовой нагрузки на системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Это требует реализации при проектировании комплекса архитектурно-планировочных мер и усиления теплозащиты здания.

При проектировании систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха следует отдавать предпочтение *рациональным видам систем*. Одновременно следует закладывать меры по *снижению энергопотребления в эксплуатационных условиях*. Такие мероприятия связаны с регулированием мощности систем.

Передовой опыт показывает, что с помощью перечисленных средств, которые являются традиционными, удаётся снизить удельное энергопотребление систем на 70%.

Лишь во вторую очередь подлежат реализации *меры по вовлечению в оборот вторичных энергоресурсов*. Наибольшее распространение в данной области техники получили активные способы утилизации ВЭР с помощью теплообменных аппаратов. Наряду с активными, эффективным представляется пассивный способ утилизации - за счет совмещения функций ограждения и системы. Использование возобновляемых источников энергии для обеспечения микроклимата не является первоочередной задачей, однако, это один из способов снижения удельного энергопотребления и может рассматриваться в качестве перспективного.

Ниже на схеме (рис. 1.2, а) представлена классификация мер по энергосбережению в системах отопления, вентиляции и кондиционирования зданий.

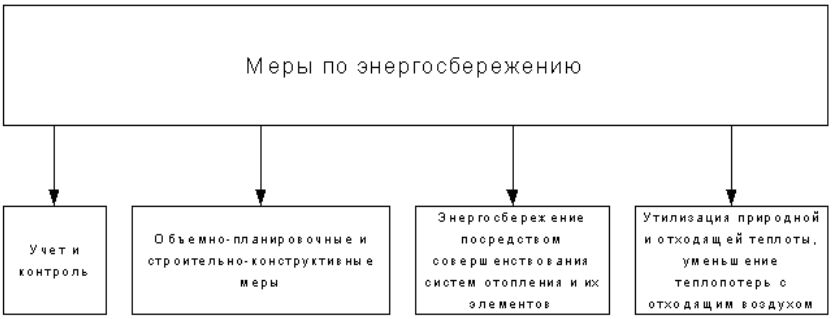


Рис. 1.2, а. Классификация мер по энергосбережению [1]

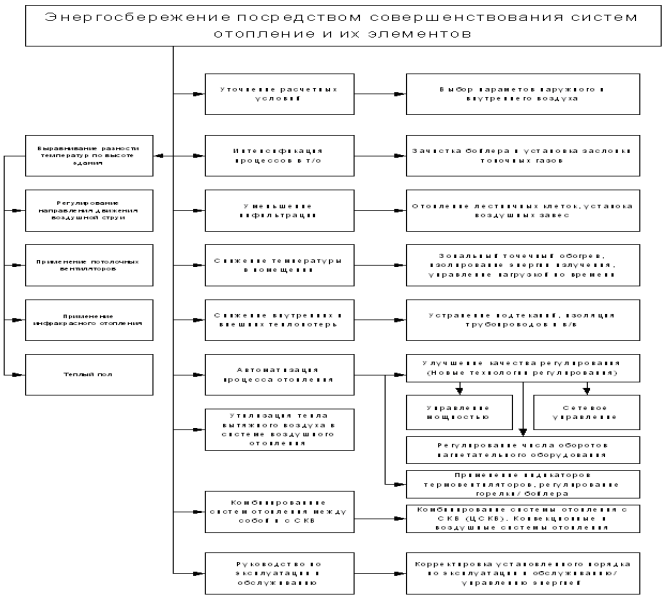


Рис. 1.2, б. Классификация мер по энергосбережению

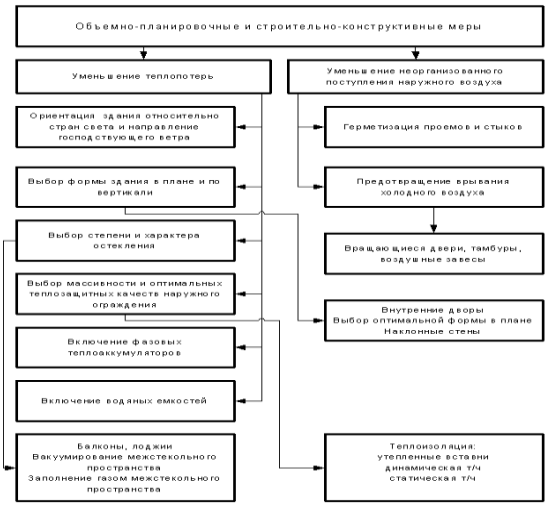


Рис. 1.2, в. Классификация мер по энергосбережению

Объёмно-планировочные и строительно-конструктивные меры. Выбор архитектурно-планировочных и теплозащитных параметров здания ведётся при его проектировании.

Форма здания влияет на величину теплопотерь. Наиболее выгодной является форма, при которой отношение площади наружной поверхности к объёму минимально. Такими являются здания в форме куба.

Важной является высота здания. При сохранении объёма здания увеличение его высоты в 4 раза (например, с 15 до 60 м.) приводит к двукратному увеличению годового расхода тепла на отопление.

На величину энергопотребления здания также влияет его ориентация (для зданий с вытянутыми фасадами). Ориентированные на южную половину горизонта фасады получают достаточно большие поступления солнечной радиации, которые особенно ощутимы в начале и в конце отопительного периода.

Важным фактором энергопотребления здания является уровень теплозащиты здания, который определяется коэффициентами теплопередачи наружных ограждений и степенью остекления фасадов. Теплозащитные свойства окон значительно ниже, чем у стен, поэтому увеличение площади окон приводит к увеличению расхода энергии на отопление. При пофасадном и индивидуальном регулировании увеличение степени остекления позволяет снизить расход тепла за счет увеличенного теплопритока от солнечной радиации, однако такой эффект ощутим лишь в южных регионах. Увеличенная площадь окна снижает расход электроэнергии на искусственное освещение. В то же время, увеличение площади остекления приводит к резкому увеличению тепловой нагрузки на системы вентиляции и кондиционирования воздуха в теплое время года. Технико-экономические расчеты, основанные на комплексном рассмотрении здания, показывают, что экономически целесообразна минимальная степень остекления фасадов, соответствующая минимальной естественной освещённости.

Задача выбора теплозащиты стен и перекрытий - технико-экономическая. Усиление теплозащиты стен достигается увеличением толщины теплоизоляционного слоя в её конструкции (для современных многослойных конструкций) или самой конструкции (для однослойных). При увеличении толщины стены возрастает её стоимость, но сокращается тепловая нагрузка на систему отопления и стоимость потребления тепловой энергии.

Совмещение функций ограждений и систем. Эффективным способом снижения тепловой нагрузки в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в промышленных и общественных зданиях служит удаление вытяжного воздуха через межстекольное пространство окон. Этот способ особенно хорош в помещениях, в которых не допускается рециркуляция внутреннего воздуха. Экономия энергии в холодное время года (на отопление) достигается за счет утилизации тепла выбросного воздуха, которая осуществляется в межстекольном пространстве. Вентилирование окна позволяет значительно повысить температуру поверхности остекления, что улучшает гигиенические условия в помещении в холодное время года.

В тёплое время года при вентилировании межстекольного пространства из него удаляется поглощённое тепло солнечной радиации, проникающей через стёкла. При этом снижается теплопоступление от солнечной радиации и тепловая нагрузка на системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

Снижение тепловой нагрузки на системы вентиляции и кондиционирования воздуха можно достичь использованием ночного проветривания помещений. Такой способ энергосбережения основан на охлаждении помещений наружным воздухом с пониженной температурой и особенно эффективен в местности со значительным суточным ходом температуры наружного воздуха. При ночном проветривании система вентиляции работает ночью, когда в помещении

отсутствуют люди. При этом имеет место дополнительный расход электроэнергии на перемещение воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Ночное проветривание позволяет удалять из помещения тепло, аккумулированное за день ограждениями и оборудованием помещения и аккумулировать в них холод. За счет этого мероприятия удаётся значительно понизить тепловую нагрузку на систему в дневные и особенно в утренние часы, а также сократить воздухообмен или расход искусственного холода в СКВ. Эффективность ночного проветривания помещений возрастает, если использовать пустотные междуэтажные перекрытия в качестве воздуховодов. В этом случае перекрытие играет роль аккумулятора ночного холода и позволяет дополнительно понизить температуру приточного воздуха в СКВ в дневные часы.

Междуэтажные перекрытия или каналы в стенах могут использоваться в холодное время в качестве аккумуляторов тепла системы отопления. В случае, когда тёплый воздух проходит через каналы в ограждениях, а затем попадает в помещение, говорят о панельно-воздушной комбинированной системе отопления. Такая система обеспечивает хороший гигиенический эффект и позволяет экономить тепло. Применять тепловую аккумуляцию ограждений возможно в этом случае при использовании прерывистого отопления, которое возможно во многих помещениях.

Пути уменьшения теплопотерь через остекление:

• применение теплоотражающего остекления (покрытие металлическими или полимерными плёнками). Коэффициент тепло пропускания таких стекол равен 0,2 - 0,6;

• устройство двойных и тройных вентилируемых окон с межрамными жалюзи. Вытяжной воздух из помещения проходит за обращёнными к помещению стёклами и далее через вентилируемые светильники или тепло утилизационные устройства выбрасывается в окружающую среду. В холодный период года вентилируемые окна представляют собой своеобразный утилизатор теплоты удаляемого воздуха.

Энергосбережение посредством совершенствования систем отопления. Оценка экономии тепловой энергии в результате внедрения некоторых из рассматриваемых мероприятий по совершенствованию систем отопления:

1. Перевод системы отопления на дежурный режим в нерабочее время, праздничные и выходные дни позволяет сэкономить 10-15% по отношению к теплоснабжению здания.

2. Понижение температуры в жилых домах в ночное время позволяет сэкономить 2-3% по отношению к теплоснабжению здания.

3. Удаление отложений (накипи) со стенок теплообменников позволяет снизить перерасход топлива на 30% и более.

4. Восстановление теплоизоляции на трубопроводах систем отопления и ГВС позволяет снизить тепловые потери на 7-9% от общего потребления.

5. Применение регуляторов температуры в системах ГВС позволит сэкономить около 50% тепловой энергии, а при установке регуляторов температуры теплоносителя на отопление предполагаемая экономия составит около 15%.

6. Установка теплоотражателя, представляющего собой теплоизоляционную прокладку с отражающим слоем между отопительным прибором и стенкой, позволяет сэкономить 2-3% от общего энергопотребления.

7. Для экономичного использования горячей воды рекомендуется установить более эффективную водозаборную арматуру, которая позволяет экономить до 15-20% горячей воды.

8. Перевод системы отопления с теплоносителя "пар" на теплоноситель "горячая" вода позволяет сэкономить 20-30% тепла.

9. Наличие инфильтрации холодного воздуха в отапливаемых помещениях приводит к необходимости дополнительного расходования 10-15 ккал на каждый кубометр холодного воздуха.

10. Замена трубчатых теплообменников на пластинчатые и использование энергоэффективных радиаторов позволяет экономить 5-10% тепла.

11. Установки радиаторных термостатов. Дает экономию тепла 6-7%.

12. Применение лучистого (инфракрасного) отопления в производственных зданиях (например, инфракрасного газового) дает экономию до 25%.

13. Выбор окраски отопительных приборов:

-окраска отопительного прибора цинковыми белилами увеличивает теплоотдачу на 15%;

-окраска масляной краской снижает теплоотдачу на 8,5% (для чугунного радиатора - уменьшает еще больше, до 13%);

- укрытие отопительного прибора декоративными плитами, шторами - снижает теплоотдачу на 10-12%.

1.5 Технические, экономические, экологические и социальные аспекты энергосбережения.

Все основные достижения человечества напрямую связаны с масштабами потребления энергии. Благодаря использованию энергетических запасов Земли [топливно-энергетических ресурсов (ископаемых топлив) – угля, нефти и газа] человек создал промышленность, в том числе генерирующую основные энергоносители (электрическую и тепловую энергии), транспорт, науку, медицину, культуру и необходимые для своей жизни условия.

Взаимосвязь энергообеспечения и продолжительности жизни очевидна. Качество жизни тем выше, чем выше соответствующие показатели роста внутреннего национального продукта (ВНП), способствующие повышению благосостояния человека.

Потребность в энергии - удельное энергопотребление на душу населения дает также представление о степени экономического развития и динамике изменения численности населения.

Предельная величина энергопотребления определяется мерой экологического воздействия на природную и окружающую человека среду.

Нижний предел удельного энергопотребления, обеспечивающий жизненные потребности человека составляет 1,35 т у.т./ (год. чел.).

Экологические последствия энергопотребления проявляются в изменении состояния природных компонентов экосистем (воздушные бассейны, поверхностные и подземные воды, почва и др.)

Социальные последствия энергопотребления – в ухудшение условий труда и отдыха населения, находящегося в зоне вредных воздействий предприятий.

Для снижения нагрузки на природную среду человеком прикладываются дополнительные экономические усилия, направленные на устранение дисбаланса между силой антропогенных влияний и восстановительной способностью природы [3].

Применяются технологии с экономической и экологической ограничениями, в перспективе вероятно применение только тех технологий, которые обеспечивают выживание человека на Земле.

Потребности человека в энергии и продолжительность его жизни тем выше, чем выше показатели роста внутреннего национального продукта (ВНП), способствующие успехам в медицине, охране здоровья населения и других областях, изучающих условия жизни человека. Одна из основных причин возможного спада показателей качества жизни человека в обозримом будущем в отдельной стране и в масштабах Земли в целом – наличие не менее тесной зависимости между ростом производства энергии и загрязнением окружающей среды.

Практически прямо пропорционально количеству потребленной энергии наблюдается рост выбросов углекислого газа в атмосферу. Особенно заметный рост эмиссии диоксида углерода наблюдается в последние десятилетия. Ряд авторов, особенно активисты Гринпис, утверждают, что накопление диоксида углерода в атмосфере Земли способствует возникновению парникового эффекта и, соответственно, возможному глобальному потеплению с предполагаемыми катастрофическими последствиями. Если принять, чтотак оно и должно быть, то эти последствия в первую очередь должны проявиться в странах с низким уровнем энергоэффективности экономики.

1.6 Нормативно-правовая база энергосбережения. Структура и состояние нормативно-правовой базы энергосбережения в России, странах СНГ и Евросоюза.

Важной, если не решающей, составляющей комплекса антикризисных мер, которые осуществляются сегодня, и будут осуществляться в ближайшее время, является энергосберегающая политика. Работа в этом направлении ведется особенно интенсивно в последние несколько лет, и она будет вестись все возрастающими темпами, так как энерго- и ресурсосбережению альтернативы нет.

Важнейшими государственными программными документами в сфере энергосбережения в России являются Закон РФ от 24 ноября 1995 г. «Об энергосбережении» и Указ Президента РФ от 7 мая 1995 г. № 472 «Об основных направлениях энергетической политики и структурной перестройке топливно-энергетического комплекса Российской Федерации на период до 2010 года». Кроме того, к таким документам относятся одобренная постановлением Правительства Российской Федерации № 1006 от 13 октября 1995 г. Энергетическая стратегия России и федеральные целевые программы «Топливо и энергия», а также «Энергосбережение России», принятые в январе 1998 г. Новая редакция Энергетической стратегии на период до 2020 г. была утверждена Правительством РФ 23 ноября 2000 г. протоколом № 39, в которой, в частности, констатируется, что в стране сложилась крайне высокая энергоемкость экономики, в 3-4 раза превышающая удельную энергоемкость экономики развитых стран Запада. В условиях повышения экономических и экологических факторов в жизни общества это снижает конкурентоспособность отечественных товаров не только на мировом, но и на внутреннем рынке. Следует также иметь в виду, что для экономически развитых стран с 80-х г. XX в. вообще произошел переход к ресурсо- (в том числе энерго-) сберегающему типу развития на новой технологической основе.

Поэтому коренное повышение энергоэффективности экономики является центральной задачей. Для повышения действенности энергосберегающей политики Стратегия предполагает

осуществление целостной системы правовых, административных и экономических мер. В частности, имеются в виду пересмотр существующих норм в направлении ужесточения требований к энергосбережению, совершенствование правил учета и контроля энергопотребления, установление стандартов энергопотребления, проведение регулярного энергетического аудита, предоставление государственных гарантий и прямой финансовой поддержки энергосберегающих проектов.

Для создания законодательной базы, позволяющей решать проблемы по оперативному внедрению новых инженерных решений и технологий, в том числе и в области энергосбережения, а также для устранения законодательных препятствий для бизнеса, реализующего инновационные проекты, 27 декабря 2002 г. Президентом РФ был утвержден Федеральный закон № 184-ФЗ "О техническом регулировании". Основное его содержание заключается в коренном изменении подхода к техническому регулированию и разделению всех нормативных документов на два типа. Первый - обязательные (технические регламенты), содержащие исключительно требования безопасности, защиты жизни и здоровья людей, растений и животных, охраны окружающей среды и предотвращения введения потребителей в заблуждение, и утверждаемые в виде федерального закона или постановления Правительства РФ. Второй - все остальные, в том числе национальные стандарты, принимаемые федеральными ведомствами и носящие добровольный характер. Этот закон допускает также и разработку стандартов организаций добровольного применения.

Одна из главных задач закона – гармонизация российских нормативных документов со всеми международными системами технических нормативов и законодательством наиболее передовых в этом отношении стран [6].

Представители строительного комплекса понимают насколько важно и актуально внедрение современных норм в строительстве, тем более аккумулирующих в себе инженерный опыт передовых стран Европы, в том числе для привлечения иностранных инвестиций.

При этом необходимо понимать, что продвижение европейской системы технических норм – это действенный инструмент продвижения продукции, работ и услуг европейской строительной индустрии. Повышение конкурентоспособности промышленности строительных материалов ЕС, проектных и архитектурных организаций – одна их главных официально продекларированных целей продвижения Еврокодов в третьи страны.

Заложенные в Еврокоды принципы проектирования, классификации материалов и сред, методы расчетов и применяемые при этом коэффициенты – принципиально отличаются от российской системы технического нормирования в строительстве.

Однако необходимо также четко понимать, что система Еврокодов не может обеспечить выполнение всех обязательных требований, как в самом Европейском Союзе, так и в России. Ведь в Регламенте ЕС 305/2011 по строительной продукции установлено 7 базовых требований (см. рисунок), которые только частично (около 20% требований) могут подтверждаться при соблюдении соответствующих Еврокодов. Реализация требований по эксплуатационной безопасности, гигиене, условиям проживания, защите окружающей среды, энергоэффективности и теплозащите осуществляется, прежде всего, в соответствии с национальным законодательством и стандартами стран-членов ЕС.

При принятии решения об альтернативном применении национальных стандартов и сводов правил, разработанных с учетом Еврокодов также необходимо учитывать, что в федеральном законе от 30 декабря 2010 г. № ФЗ-384 «Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений» установлено 8 минимально необходимых требований к зданиям и сооружениям. При этом Еврокоды могут применятся для подтверждения только первого требования по механической безопасности и частично для подтверждения второго требования по пожарной безопасности. Необходимо также учитывать, что технический регламент в отличие от Еврокодов устанавливает требования к входящим в состав зданий и сооружений сетям инженерно-технического обеспечения и системам инженерно-технического обеспечения, к процессам строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации (сноса).

В настоящее время идет активное формирование нормативно-правового поля в рамках интеграционных объединений на постсоветском пространстве (СНГ, ЕврАзЭС, ЕЭП, Таможенный союз). В этих объединениях принят ряд соглашений, рекомендаций, концепций в области технического регулирования. Однако в ряде случаев отдельные положения этих документов либо противоречат, либо просто не корреспондируются друг с другом.

Рис. 1.3 Обеспечение доказательной базы Регламента ЕС CPR и ТР «О безопасности зданий и сооружений» [Л.С. Баринова, С.В. Пугачев "Вопросы технического регулирования в строительстве" Электронныйресурс http://www.nostroy.ru/department/departament_tehniceskogo_regulir/tehniceskoe_regulir/tehnic_reglamenty/]

Рис. 1.4 Система технического регулирования в строительстве государств-участников СНГ, ЕврАзЭС и Таможенного союза

[Л.С. Баринова, С.В. Пугачев "Вопросы технического регулирования в строительстве" Электронный ресурс http://www.nostroy.ru/department/departament_tehniceskogo_regulir/tehniceskoe_regulir/tehnic_reglamenty/]

Снижение энергопотребления в строительном комплексе – одна из основных задач на повестке дня для Европейского Союза. Ее решение способствует созданию конкурентоспособной и энергетически независимой экономики. Эта задача тесно связана с воздействием человека на

окружающую среду и изменением климата. В конце 2006 года Евросоюз взял на себя обязательства по снижению энергопотребления на 20 % к 2020 году.

Энергетическая эффективность – это ключевой пункт европейской стратегии «Европа 2020», направленной на создание условий для устойчивого и всеобъемлющего роста и развития [4]. Это один из наиболее экономически эффективных способов повышения энергетической безопасности и сокращения выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ. В рамках этой стратегии Евросоюз ставит цель сократить на 20 % потребление первичных энергетических ресурсов к 2020 году.

План по энергоэффективности включает в себя следующие задачи:

•увеличение темпов реновации жилищного фонда для достижения принятых показателей энергопотребления;

•ежегодную реконструкцию органами государственной власти как минимум 3 % муниципальных зданий;

•включение показателей энергетической эффективности продукции в процедуры государственных закупок;

•установку требований по снижению энергопотребления бытовой техникой;

•увеличение эффективности производства и транспортировки электрической и тепловой энергии;

•установку требований по снижению энергопотребления промышленным оборудованием;

•создание стандартов отчетности по потреблению энергии для малых и средних предприятий;

•создание системы управления и учета энергопотребления для корпораций;

•поощрение использования счетчиков энергопотребления и создания интеллектуальных энергосистем.

Законодательная база Европейского союза основана на директивах, которые разрабатываются Еврокомиссией и утверждаются Европейским парламентом и Советом Европы.

Директивы обязывают страны – члены ЕС добиваться конкретных результатов в сфере энергопотребления, не ограничивая пути и способы их достижения. Это отличает директивы от остальных законодательных актов, имеющих прямое действие.

Рассмотрим далее основные директивы ЕС, направленные на увеличение энергетической эффективности зданий [5].

1. Директивапоэнергопотреблениюзданий (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD).

Принята в 2002 году, доработана поправками в 2010 году. Директива устанавливает требования к энергетической эффективности зданий.

Основная цель документа – обеспечить создание на национальном уровне базы для улучшения энергетической эффективности жилых и общественных зданий через установление необходимых к соблюдению количественных показателей энергопотребления и энергоэффективности:

• для вновь возводимых зданий;

•для существующих зданий;

•для инженерных систем зданий;

•для строительных материалов и конструкций.

Директива предписывает необходимость получения энергетического паспорта здания (energy performance certificates, EPCs). В случае общественных зданий информация об энергетическом паспорте должна быть общедоступна. Директива по энергопотреблению зданий также содержит требования по строительству зданий с нулевым энергопотреблением к 2020 году.

2. Директива по экологическим требованиям к энергопотребляющей продукции (Directive on Ecodesign of Energy Using Products, EuP).

Введена в действие в 2005 году и переработана в 2009 году. Первая редакция директивы относилась только к продукции и товарам, непосредственно потребляющим энергию. Новый документ под названием Директива по экологическим требованиям к продукции, влияющей на потребление энергии (Ecodesign Requirements for Energy-Related Products Directive, ErP), или сокращенно Экодизайн, включил в себя требования ко всей продукции, которая потребляет энергию или оказывает влияние на потребление энергии.

3. Директива по маркировке продукции классом энергетической эффективности (Energy Labelling Directive, ELD).

В 2010 году законодательная база была дополнена Директивой по маркировке продукции классом энергетической эффективности. Она включает требования к продукции, влияющей на энергопотребление зданий, включая элементы системы отопления, приводы, насосы, вентиляторы, лампы освещения и прочее оборудование инженерных систем.

В отличие от Директивы по энергопотреблению зданий, которая обязывает страны – члены ЕС устанавливать требования энергетической эффективности на системном уровне, но не предписывает конкретный уровень требований (за исключением требования быть экономически эффективными), Директива по экологическим требованиям к продукции, влияющей на потребление энергии, и Директива по маркировке продукции классом энергетической эффективности выделяют конкретные группы продукции и устанавливают минимальные требования по потреблению энергии этой продукцией. Постепенно требования разрабатываются для всей продукции, относящейся к инженерным системам зданий и к ограждающим конструкциям (например, к окнам). Члены Еврокомиссии внимательно следят за практикой исполнения вышеописанных законодательных актов, чтобы избежать коллизий и быть уверенными в том, что документы дополняют друг друга.

4. Директивапоувеличениюдолииспользованиявозобновляемыхисточниковэнергии (Directive for the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources, RES).

Увеличение доли энергии, получаемой из возобновляемых источников (ВИЭ), является важнейшей частью энергетической политики ЕС. Европейский союз поставил перед собой цель получать 20 % первичной энергии из возобновляемых источников к 2020 году. Данная директива содержит соответствующие требования к странам – членам ЕС.

5. Директива по энергетической эффективности (Energy Efficiency Directive, EED).

Разработана в конце 2012 года. Директива имеет более общий характер, но вводит несколько административных процедур, влияющих на энергопотребление зданий для стран – членов ЕС. Документ предписывает проведение аудита энергопотребления и реконструкцию существующих зданий. Отдельно рассматривается вопрос, касающийся увеличения эффективности систем комбинированного производства электрической и тепловой энергии.

Энергетическая политика ЕС включает в себя еще несколько инструментов:

•Программу энергетически разумной Европы (Intelligent Energy Europe) по обучению энергосбережению и распространению знаний об энергетике;

•сайт BUILD UP для информационного обмена в области энергоэффективных технологий;

•программу Skills для профессионалов строительного рынка, желающих улучшить свои навыки в сфере энергетической эффективности.

В дополнение к законодательным и административным действиям ЕС предлагает и программы для финансирования проектов в области повышения энергоэффективности.

6. Директива по энергопотреблению зданий.

Директива была доработана поправками и принята в окончательной редакции в 2010 году. Положения директивы должны быть реализованы всеми странами – членами ЕС к 2020 году. Директива содержит более строгие требования к энергопотреблению, чем первоначальная редакция документа от 2002 года. Более того, под влиянием Европейского парламента в окончательной редакции документа были приняты требования, которые значительно превосходят изначально предложенные Еврокомиссией в 2008 году:

• Страны – члены ЕС должны установить национальные требования к энергетической эффективности с учетом экономической целесообразности мер, внедряемых для снижения энергопотребления. Это позволит учитывать текущую экономическую ситуацию в каждой стране при разработке конкретных требований. В январе 2012 года были опубликованы пособия по определению и расчету показателей экономической эффективности внедряемых решений.

• Целевые значения и показатели национальных требований к энергетической эффективности должны быть основаны на потреблении первичных энергоресурсов, измеренном в кВт•ч/м2 или альтернативных индикаторах потребления энергии.

• При реконструкции существующих зданий обязательно должны быть приняты меры по увеличению энергетической эффективности и по возможности применяться технологии, использующие возобновляемые источники энергии.

• Необходимы разработка и внедрение специальных требований по энергетической эффективности систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (обязательно для существующих зданий и опционально для новых).

• Все новые здания, начиная с 2020 года, должны соответствовать требованию нулевого энергопотребления (общественные здания – с 2022 года). Определение термина «нулевое энергопотребление» остается за каждой страной – членом ЕС.

• Для преодоления рыночных барьеров увеличения энергетической эффективности в каждой из стран – членов ЕС должна быть разработана национальная политика в сфере энергопотребления.

• Каждое здание должно иметь энергетический паспорт. Помимо фактических показателей, энергетический паспорт должен включать в себя и план по увеличению энергетической эффективности здания.

• Требование по регулярному техническому обследованию котельных и ИТП, которое содержалось в директиве 2002 года, с 2010 года относится ко всей системе отопления здания.

• Требование регулярного технического обследования систем кондиционирования воздуха и холодоснабжения зданий, которое появилось в директиве 2002 года, в 2010-м дополнено

рекомендациями по снижению нагрузок на системы и использованию энергоэффективных технологий.

• Каждая страна – член ЕС должна разработать и внедрить независимую систему контроля качества в строительном секторе.

• Директива 2010 года опирается на стандарты CEN, что увеличивает роль общеевропейских стандартов в национальной юридической практике каждой из стран – членов ЕС.

Подводя итоги, можно констатировать, что при активном взаимодействии государства и профессионального сообщества в Российской Федерации создана система технического регулирования в строительстве и активно развивается ее нормативно-техническая база, а в частности и нормативно-правовая база энергосбережения.

Сегодня главная задача, взяв лучшее, что наработано международной и региональной практикой, сохранить и совершенствовать национальную и межгосударственную нормативную техническую базу в строительстве. Европейское сообщество это подтвердило на практике, реализуя идеи о необходимости упрощения еврокодов, обязательность ряда стандартов для строительной продукции и т.д.

Практические вопросы и решения

1. Что понимают под термином «Топливно-энергетический ресурс»?
2. Что такое «Возобновляемые топливно-энергетические ресурсы»? Приведите примеры.
3. Что понимают под терминами «Первичная энергия» и «Полезная энергия»?
4. Что понимают под термином «Вторичный энергетический ресурс»? Приведите примеры.
5. Что понимают под термином «Энергосбережение»?
6. Что понимают под термином «Политика энергосбережения»?
7. В каких законодательных актах и нормативных документах сформулированы задачи энергосбережения в РФ?
8. Какие законодательные акты и нормативные документы определяют политику энергосбережения в Белоруссии, Украине, странах Евросоюза. В чем их совпадение и различие?
9. Какие виды энергии используются для жизнеобеспечения зданий? Назовите источники этих видов энергии.
10. Приведите классификацию энергосберегающих мероприятий в здании.

Студент может также найти вопросы самоконтроля по видео (см.: электронные бизнес видео) и задачи, которые должны быть решены с помощью калькуляторов (см.: электронные бизнес-калькуляторы) по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_Energyefficiency KSTU)

Рекомендуемая литература (интеллектуальная библиотека)

1) Schulz, P.; Nemecek, J. BuildingsandtheEnvironment. In Environmental Science, Engineering and Technology Series.New York : Nova Science Publishers. 2009, 309 p.

2) Sioros, D.; Building for the 21st Century : Energy and the Environment. Fairmont Press. 2000, 477 p.

3) Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.

4) Directive 2002/91/EC of the European Parliament and the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings.

5) European Commission Regulation (EU) No 206/2012 of 6 March 2012 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for air conditioners and comfort fans.

6) European Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating costoptimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements.

7) V. Stankevicius, J. Karbauskaite, E. Monstvilas The development of reference values for energy certification of buildings in Lithuania // Energy and Buildings, Volume 39, Issue 3, March 2007, p. 284–288.

8) Stankevicius V., Karbauskaite J., Bliudzius R. Analysis of Energy Consumption in Buildings. Energetika. ISSN 0235-7208, Vilnius, 2002, Nr 2, p. 57–61(in Lithuanian).

9) Utrick, Joseph B. Energy and Buildings : Efficiency, Air Quality and Conservation. New York : Nova Science Publishers. 2009, 451 p.

10) Acosta, Morena J. Advances in Energy Research. In Volume 4.New York : Nova Science Publishers, Inc. 2011.

11) Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В.М. Фокин. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 256 с.

12) Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Теплоэнергетика" / О. Л. Данилов [и др.] ; под ред. А. В. Клименко. – 2-е изд., стер. – М. : МЭИ, 2011. – 424 с.

Тема лекции 2: Термодинамические, теплофизические и экологические основы энергосбережения.

Введение в лекцию

Тема знакомит с основными положениями термодинамики и теплопередачи, которые необходимы при разработке, выборе, либо экспертной оценке знергосберегающих мероприятий. Предполагается, что студенты имеют необходимые минимальные знания по термодинамике и теплопередаче. Рассматриваются также экологические проблемы, возникающие при реализации энергосберегающих проектов.

Цель и основные результаты обучения

Целью обучения по этой теме является изучение следующих вопросов: Первый и второй законы термодинамики. Термодинамические потенциалы. Термодинамика потока. Термодинамические основы преобразования энергии. Понятие эксергии и эксергетический анализ.

Основные теплофизические свойства веществ и материалов, применяемых в строительстве и системах жизнеобеспечения зданий (плотность, удельная теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и вязкости, влагоемкость материала и др.).

Виды теплопередачи. Описание процессов теплопередачи. Физико-математическое описание задачи тепло- и массопереноса в рабочих средах.

Термодинамика растворов. Особенности применения растворов солей в аппаратах утилизации теплоты. Экологические требования к материалам и рабочим веществам.

Понятие устойчивого развития. Энергосбережение и устойчивое развитие.

Предполагаемые основные результаты обучения соответствуют выше предусмотренным целям.

Конспект лекции и раздаточные материалы

Все материалы, видео, калькуляторы и программное обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом вы можете найти по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST /Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency_ KSTU.

В системах жизнеобеспечения зданий используют различные виды энергии – электрическую, механическую, солнечную и др. В процессе использования энергия претерпевает изменения и преобразования, которые всегда сопровождаются потерями. Анализ процессов преобразования энергии производят термодинамическими методами, поэтому ниже рассмотрим основные положения термодинамики, необходимые для дальнейшего понимания и усвоения материала.

2.1 Некоторые основные понятия термодинамики

1. ***Термодинамические свойства*** вещества подразделяются на два класса – *интенсивные* и *экстенсивные* свойства [7].

Интенсивными называют свойства, не зависящие от количества вещества в системе (давление, температура и некоторые другие).

Экстенсивными называют свойства, зависящие от количества вещества в системе (объем и др.).

Удельные, т. е. отнесенные к единице количества вещества приобретают смысл интенсивных свойств.

Интенсивные свойства, определяющие состояние тела или группы тел – термодинамической системы, называют термодинамическими параметрами состояния тела (системы). Наиболее удобными являются температура *T*, давление *p* и удельный объем *v* (или обратная величина, плотность ρ).

При отсутствии внешних воздействий на систему состояние чистого вещества однозначно определено, если заданы два независимых интенсивных параметра. В случае смеси веществ и тогда, когда имеют место внешние воздействия на систему – внешнее электрическое поле, внешнее магнитное поле и т. п. – число параметров, необходимых для однозначного определения состояния системы, соответственно увеличивается. Любой третий параметр чистого вещества является функцией двух заданных параметров. Таким образом, любые три параметра состояния чистого вещества, например,p, v, T, однозначно связаны между собой. Уравнение, связывающее между собой эти параметры, называется *уравнением состояния* вещества. Для каждого вещества характер функциональной связи между этими параметрами индивидуален и, следовательно, термодинамические свойства описываются своим для каждого вещества уравнением состояния.

Связь между параметрами состояния в системе координат, по осям которой отложены значения этих параметров, может быть представлена в виде *поверхности состояния.* Проекции этой термодинамической поверхности на координатные плоскости (например, на плоскости *p-v*, *p-T*, *v-T*) называются диаграммами состояния вещества.

2. ***Термодинамической системой*** принято называть совокупность тел, взаимодействующих как между собой, так и с окружающей средой. Все другие тела, находящиеся за пределами границ рассматриваемой системы, называются окружающей (или внешней) средой.

Если хотя бы один из параметров состояния системы меняется, то изменяется состояние системы, т. е. происходит *термодинамический процесс*, представляющий собой совокупность изменяющихся состояний рассматриваемой системы.

3. ***Термодинамические функции*** делятся на два класса – *функции процесса* и *функции состояния*.

Термодинамические функции, величина изменения которых при изменении состояния системы в термодинамическом процессе от начального состояния *1* до конечного состояния *2* зависит от того, по какому пути идет процесс *1 – 2*, называются функциями процесса. Как известно из термодинамики, функциями процесса являются теплота и работа.

Термодинамические функции, величина изменения которых при изменении состояния системы в термодинамическом процессе от начального состояния *1* до конечного состояния 2 не зависит от того по какому пути идет процесс 1 – 2, а определяется только разностью значений данной функции в конечном и начальном состояниях, называются функциями состояния. Иными словами, если μ – функция состояния, то

$$\int_{1-2} d\mu = \int_{1}^{2} d\mu = \mu_2 - \mu_1, \qquad (2.1)$$

Примерами функций состояния являются внутренняя энергия, энтальпия, энтропия и т. п.

Термодинамическая система может совершать различные виды ***работы*** – это может быть работа расширения против сил внешнего давления, работа увеличения поверхности против сил поверхностного натяжения, работа перемещения тела в поле тяготения, работа поляризации

диэлектрика в электрическом поле и т. д. Общим для всех видов работы является то, что соотношения для подсчета величины работы L во всех этих случаях будут структурно одинаковыми и имеющими следующий вид:

$$dL = \zeta dY. \tag{2.2}$$

Здесь ζ – внешняя сила, действующая не теле (систему), а Y – параметр состояния (координата) системы, сопряженная с силой ζ. В термодинамике принято называть величину ζ *обобщенной силой*, а величину Y – *обобщенной координатой*.

Если система совершает работу, связанную с увеличением объема системы V, против сил внешнего давления p (так называемая работа расширения), то для этого случая соотношение (2.2) принимает вид

$$dL = pdV. \tag{2.3}$$

Следует подчеркнуть, что для различных видов обобщенных сил будут различными и сопряженные с ними обобщенные координаты. Рассматривая те или иные конкретные системы, мы каждый раз будем устанавливать какой параметр состояния данной системы является обобщенной силой и какой – обобщенной координатой.

Если на систему одновременно воздействуют несколько различных типов сил, то очевидно, что работа системы будет равна сумме работ, производимых системой под действием каждой из сил:

$$dL = \sum_{i=1}^{n} \zeta_i \, dY_i, \tag{2.4}$$

где ζ_i– обобщенная сила; Y_i– обобщенная координата, сопряженная с i-ой силой; n – число обобщенных сил.

Будем называть термодинамическую систему, единственным видом работы которой является работа расширения, *простой системой*, а термодинамическую систему, совершающую помимо работы расширения, другие виды работы, – *сложной системой*. В дальнейшем любой другой вид работы, кроме работы расширения (pdV), будем обозначать символом L^*. Тогда очевидно

$$dL = pdV + L^*. \tag{2.5}$$

Далее, условимся о следующих обозначениях:

$$dL^* = \xi dW, \tag{2.6}$$

где ξ – любая обобщенная сила, за исключением давления; W – любая обобщенная координата, за исключением объема. С учетом этих обозначений уравнение (2.5) примет вид

$$dL = pdV + \xi dW. \tag{2.7}$$

Для удельных (отнесенных к единице массы) значений термодинамических величин это уравнение запишется следующим образом:

$$dl = pdv + \xi dw, \tag{2.8}$$

здесь $v = V/M$, $w = W/M$, где M – масса вещества в системе.

2.2 Уравнение первого и второго законов термодинамики

1. Первый закон термодинамики выражает закон сохранения и превращения энергии и записывается следующим образом [7]:

$$dQ = dU + dL, \tag{2.9}$$

где Q – количество теплоты, подводимой к рассматриваемой термодинамической системе (или отводимого от неё); U - внутренняя энергия системы; L – работа, производимая системой (или производимая над системой).

Согласно уравнению (2.9) изменение энергии U термодинамической системы равно разности между полученной системой количеством теплоты Q и совершенной ею работой L. Величины Q и L не являются функциями состояния, а являются функциями процесса, изменение которых между состояниями *1* и *2* зависит от пути, по которому осуществляется процесс перехода системы из состояния *1* к состоянию *2*; тем самым очевидно, что дифференциалы dQ и dL не обладают свойствами полного дифференциала. Для простых систем уравнение (2.9) записывается в виде

$$dQ = dU + pdV, \tag{2.10}$$

для сложных систем

$$dQ = dU + \sum_{i=1}^{n} \zeta_i dY_i, \tag{2.11}$$

$$dQ = dU + pdV + \xi dW. \tag{2.12}$$

2. Одной из важных термодинамических функций является энтальпия. Для простых систем энтальпия H, как известно, определяется следующим соотношением:

$$H = U + pV, \tag{2.13}$$

Для сложных систем – соотношением

$$H = U + pV + \xi W. \tag{2.14}$$

3. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного потока жидкости или газа, движущегося в канале, записанное для удельных значений термодинамических величин, имеет вид:

$$dq = dh + wdw + gdz + dl_{\text{техн}} + dl_{\text{д}}; \tag{2.15}$$

здесь q – теплота, подводимая у потока (или отводимая от него); h – энтальпия жидкости или газа; w – скорость потока; z – высота; $l_{\text{техн}}$ - техническая работа потока; $l_{\text{д}}$ - работа диссипации (например, работа, затрачиваемая потоком на преодоление сил трения); g – ускорение свободного падения. Следует иметь ввиду, что уравнение (2.15) справедливо для *одномерного* стационарного потока жидкости или газа с *неизменным профилем скорости*.

Количество теплоты q, фигурирующее в уравнении (2.15), складывается из двух частей – теплоты $q_{внеш}$, подводимой к потоку извне (или отводимой от потока в окружающую среду), и теплоты диссипации $q_{\text{д}}$, выделяющейся, например, при наличии трения в потоке:

$$q = q_{\text{внеш}} + q_{\text{д}}. \tag{2.16}$$

Поскольку количество теплоты диссипации $q_{\text{д}}$ эквивалентно работе $l_{\text{д}}$, то с учетом этого обстоятельства уравнение (2.16) может быть представлено в следующем виде:

$$dq_{\text{внеш}} = dh + wdw + gdz + dl_{\text{техн}}; \tag{2.17}$$

Понятно, что это уравнение справедливо как для течения с трением, так и для течения без трения.

4. *Аналитическое выражение второго закона* термодинамики имеет вид [7]:

$$TdS \geq dQ; \tag{2.18}$$

здесь S – энтропия системы. Знак > относится к случаю, когда в системе осуществляются необратимые процессы, а знак равенства – к случаю обратимости процессов в системе.

5. Из соотношений (2.8) и (2.18) следует, что ***объединенное уравнение первого и второго законов*** термодинамики записывается таким образом:

$$TdS \geq dU + dL. \tag{2.19}$$

Для простой системы это соотношение преобразуется к виду

$$TdS \geq dU + pdV. \tag{2.20}$$

Для сложной системы соотношение (1.19+) может быть записано в виде

$$TdS \geq dU + pdV + dL^*, \tag{2.21}$$

Для сложной системы, совершающей, помимо работы расширения, еще только один вид работы, это соотношение можно записать следующим образом:

$$TdS \geq dU + pdV + \xi dW. \tag{2.22}$$

6. *Третий закон термодинамики* определяет точку отсчета энтропии. Планк пришел к выводу, что при температуре абсолютного нуля энтропия всех веществ в состоянии равновесия независимо от давления, плотности и фазы обращается в нуль.

Практические вопросы и решения

1. Сформулируйте первое и второе начало термодинамики. Зачем они нужны в вопросах энергосбережения?
2. Что понимают под термодинамическим потенциалом?
3. Что такое эксергия?
4. Дайте определения основным теплофизическим свойствам вещества – плотность, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент динамической и кинематической вязкости. Назовите единицы измерения этих величин. Как изменяются указанные свойства в зависимости от температуры и давления.
5. Назовите основные виды теплообмена.
6. Запишите уравнение теплопроводности.
7. Что понимают под терминами «Коэффициент теплоотдачи», «Коэффициент теплопередачи», «Термическое сопротивление». Как определяют эти величины. Как они связаны между собой.
8. Какая система уравнений описывает процесс тепло-массообмена между рабочими средами в тепло-массообменных аппаратах? Какими способами и с какой целью решают эту систему уравнений?
9. С какой целью применяют растворы солей в аппаратах утилизации теплоты?
10. В чем заключается значение массового внедрения энерго- и ресурсосберегающих мероприятий при переходе к устойчивому развитию?

Студент может также найти вопросы самоконтроля по видео (см.: электронные бизнес видео) и задачи, которые должны быть решены с помощью калькуляторов (см.: электронные бизнес-

калькуляторы) по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energy efficiency KSTU)

Рекомендуемая литература (интеллектуальная библиотека)

1) Wu, Chih. Thermodynamics and Heat Powered Cycles : A Cognitive Engineering Approach. New York : Nova Science Publishers. 2007, 659 p.

2) Honig, Jurgen M. Thermodynamics : Principles Characterizing Physical and Chemical Processes. Amsterdam : Elsevier/AcademicPress. 2007, 452 p.

3) Ben-Naim, Arieh. Discover Entropy and the Second Law of Thermodynamics : A Playful Way of Discovering a Law of Nature. Singapore : WorldScientific. 2010, 259 p.

4) Bokshteĭn, B. S., Mendelev, Mikhail I., Srolovitz, David J. Thermodynamics and Kinetics in Materials Science : A Short Course. Oxford : Oxford University Press. 2005, 326 p.

5) Serth, R. W. Process Heat Transfer : Principles and Applications. Amsterdam : Elsevier Academic Press. 2007, 755 p.

6) Shao, Y. Advanced Building Materials and Sustainable Architecture : Selected, Peer Reviewed Papers From the 2nd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials (CEABM 2012), May 25-27, 2012, Yantai, China. In Applied Mechanics and Materials.Durnten-Zurich : Trans Tech Publications. 2012.

7) Yuan, Z., Li, Y., Cui, C. Advanced Engineering Materials II : Selected, Peer Reviewed Papers From the 2nd International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology (AEMT 2012), July 6-8, 2012, Zhuhai, China. In Advanced Materials Research.Durnten-Zurich, Switzerland : Trans Tech Publications. 2012.

8) Gaskell, David R. An Introduction to Transport Phenomena in Materials Engineering. [New York, N.Y.] [222 East 46th Street, New York, NY 10017] : Momentum Press. 2012, 665 p.

9) Franco, J., Sosa, M. Engineering Physics and Mechanics : Analyses, Prediction, and Applications. Hauppauge, N.Y. : NovaSciencePublishers. 2010, 599 p.

10) Ren, N. Renewable and Sustainable Energy II : Selected, Peer Reviewed Papers From the 2012 International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2012) June 23-24, Hohhot, China. In Advanced Materials Research.Durnten-Zurich, Switzerland : TransTech Publications. 2012.

11) Фокин В.М. Основыэнергосбереженияиэнергоаудита / В.М. Фокин. – М.: «ИздательствоМашиностроение-1», 2006. – 256 с.

Тема лекции 3: Аппараты утилизации теплоты

Введение в лекцию

Тема знакомит с назначением, конструкцией, режимами работы и техническими характеристиками современный аппаратов утилизации теплоты, которые широко применяются для повышения энергетической эффективности инженерных систем зданий.

Цель и основные результаты обучения

Целью обучения по этой теме является изучение следующих вопросов: Классификация теплоутилизаторов. Термодинамические показатели работы теплоутилизаторов. Показатели энергетической эффективности теплоутилизаторов.

Рекуперативные теплообменники. Конструктивное исполнение. Теплотехнические характеристики и основы расчета.

Контактные аппараты. Общие положения. Форсуночные камеры. Пленочные теплообменники. Орошаемые рекуперативные теплообменники. Практические рекомендации и основы расчета.

Установки утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем. Общие положения. Принципиальные технологические схемы. Расчет тепло- и массопереноса. Особенности работы теплообменников с промежуточным теплоносителем. Практические рекомендации и основы расчета.

Регенеративные воздухо-воздушные утилизаторы теплоты. Конструкции. Теплотехнические и аэродинамические характеристики насадок. Расчет тепло- и массопереноса. Практические рекомендации.

Тепловые трубки. Назначение, принцип действия, классификация, материалы и рабочие вещества. Основы расчета тепловых трубок. Установки утилизации теплоты с применением тепловых трубок.

Тепловые насосы. Термодинамические основы тепловых насосов. Классификация тепловых насосов. Принципиальные схема и оборудование теплонасосных установок. Показатели эффективности теплонасосных установок.

Предполагаемые основные результаты обучения соответствуют выше предусмотренным целям.

Конспект лекции и раздаточные материалы

Все материалы, видео, калькуляторы и программное обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом вы можете найти по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTU.

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с созданием энергосберегающей техники и технологии для систем кондиционирования микроклимата. Реализация этого направления требует разработки оборудования и систем вторичного использования затрачиваемой тепловой энергии (утилизация промышленных ВЭР, теплоты вытяжного воздуха, сточных вод и т. д.), а также нетрадиционных источников энергии, таких как солнечная радиация, теплота земли, морских и речных вод и т. д. Внедрение энергосберегающих схем связано со значительными материальными затратами. В связи с этим исключительное значение приобретает отыскание наиболее рациональных, оптимальных решений.

В системах кондиционирования воздуха (СКВ) процесс утилизации теплоты предшествует всем остальным процессам обработки воздуха, так как в этом случае наблюдаются наибольшие перепады термодинамических потенциалов обменивающихся сред и поэтому наиболее полно и эффективно используется обычно сбросная низкопотенциальная теплота. Далее, при рассмотрении различных схем, предполагается соблюдение этого принципа.

Аппараты утилизации теплоты являются основным элементов энергосберегающих схем в системах кондиционирования микроклимата. Ниже рассмотрены наиболее эффективные и широко применяющиеся устройства, режимы их работы и технические показатели [14].

3.1 Классификация теплоутилизаторов и их термодинамические показатели

Установки утилизации теплоты можно разделить на два вида:

1) теплоутилизаторы – теплообменники непосредственного действия;

2) тепловые насосы, обеспечивающие увеличение потенциала утилизируемой теплоты.

Установки первого типа могут применяться только в том случае, если потенциал источника утилизируемой теплоты выше потенциала теплоприемника.

Теплоутилизаторы – теплообменники подразделяются на три группы:

1) воздухо-воздушные, воздухо-жидкостные или жидкостно-жидкостные рекуператоры;

2) теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем;

3) регенеративные теплоутилизаторы.

При всем многообразии конструктивных решений утилизаторов теплоты, характерным для них является наличие следующих элементов:

- среды – источника тепловой энергии (теплоисточник);
- среды – потребителя тепловой энергии (теплоприемник);
- теплообменника-теплоприемника, воспринимающего тепловую энергию от источника;
- теплообменника теплопередатчика, передающего тепловую энергию потребителю;
- рабочего вещества, транспортирующего тепловую энергию от источника к потребителю.

В регенеративных и рекуперативных утилизаторах рабочим веществом являются сами теплообменивающиеся среды.

Термодинамический анализ работы теплоутилизаторов позволяет установить термодинамическую общность и различие процессов, протекающих в них [14]. Для этой цели проанализируем процессы в $T-s$ – диаграмме (рис. 3.1).

Процесс в утилизаторе с тепловыми трубками, который также соответствует случаю с промежуточным теплоносителем (рис. 3.1, в, г), отличается от рассмотренного выше тем, что он протекает на $T-s$ – диаграмме в области влажного пара с изменением фазового состояния при практически постоянной температуре. Поскольку теплоприемник и теплопередатчик имеют общий объем, в них устанавливается одинаковое давление. При одинаковых тепловых потоках в конденсаторе и испарителе давление испарения и конденсации можно считать соответствующим средней температуре среды на входах в теплоприемник (в зоне испарения) и в теплопередатчик (в зоне конденсации). Изменение состояния рабочего вещества можно изобразить горизонтальными, практически совпадающими с $T \approx const$ линиями. Изменение состояния теплообменивающихся сред (линии *5-6* и *7-8*) аналогично первому случаю.

В утилизаторах теплоты с однофазными рабочими веществами процесс изображается в области жидкой или газовой фазы. Рассмотрим как наиболее общий случай работу

теплоутилизатора с промежуточным теплоносителем (рис. 3.1, а,б). Поскольку состояние рабочего вещества в циркуляционном насосе меняется незначительно, можно полагать, что точки на *T – s* – диаграмме (см. рис. 3.1, б) изображающие состояние рабочего вещества на выходе из теплообменника (1) и на входе в теплопередатчик (2), а также на выходе из теплопередатчика (3) и на входе в теплоприемник (4) почти совпадают. Тогда изменение состояния рабочего вещества на *T – s* – диаграмме изобразится практически совпадающими линиями *1-4* и *2-3*, проходящими по направлению p ≈ const. Изменение параметров состояния среды-источника теплоты (например, вытяжной воздух) соответствует на диаграмме линия *5-6*, а среды, воспринимающей теплоту (например, приточный воздух, - линия *7-8*.

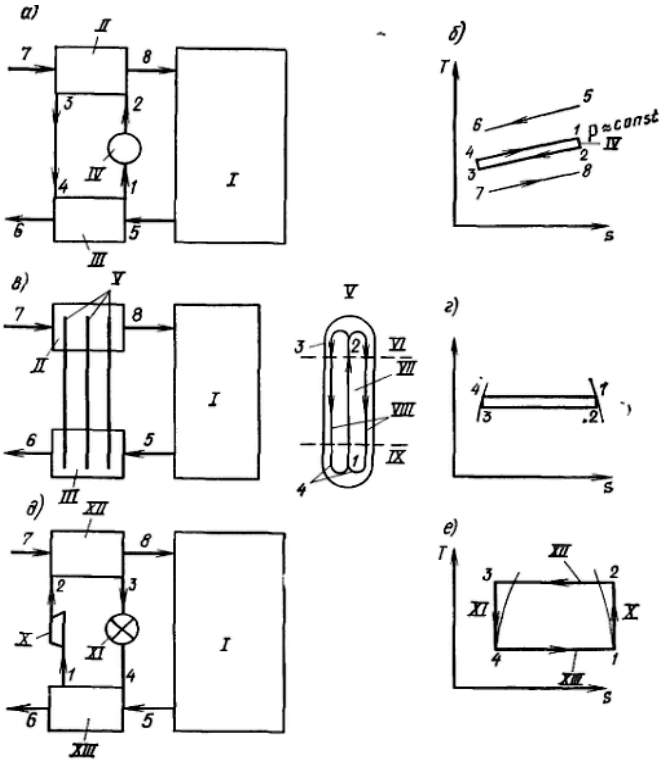


Рис. 3.1 Схема теплоутилизаторов и изображение на T–s–диаграмме протекающих в них термодинамических процессов [14]

а, б – теплообменники с промежуточным однофазным теплоносителем; в, г – теплообменники с тепловыми трубками; д, е – теплообменники с тепловым насосом; I – помещение; II – теплообменник – теплопередатчик; III - теплообменник теплоприемник; IV – циркуляционный насос; V – тепловые трубки; VI - зона конденсации; VII - пар; VIII – конденсат; IX - зона испарения; X – компрессор; XI - регулирующий вентиль; XII – теплопередатчик - конденсатор; XIII - теплоприемник – испаритель

Утилизатор с тепловым насосом (рис. 3.1, д, е) отличается тем, что циркуляция рабочего вещества в нем осуществляется компрессором. В компрессоре в отличие от тепловой трубки происходит адиабатное сжатие рабочего вещества. В результате его температура увеличивается. Чем больше работа, затрачиваемая в компрессоре на адиабатное сжатие рабочего вещества, тем больше на *T – s* – диаграмме расходятся прямые 1-4 и 2-3, определяющие температурный уровень в испарителе и конденсаторе, от приблизительно среднего положения, соответствующего температурному уровню в тепловой трубе. Состояние теплообменивающихся сред (линии 5-5 и 7-8) аналогичны первому случаю. В результате увеличиваются перепады температур рабочего вещества в теплоприемнике и теплопередатчике и сред в источнике (5-6) и потребителе (7-8) тепловой энергии. Это приводит к сокращению теплообменной поверхности,

необходимой для передачи тепловой энергии. Однако одновременно с этим затрачивается мощность на адиабатное сжатие. Одна из возможных форм термодинамической оценки циклов, протекающих в утилизаторах, состоит в определении отношения полезной тепловой мощности к затрачиваемой на совершение цикла. Поскольку в утилизаторах теплоты с насосами затраты мощности на совершение цикла несоизмеримо меньше, чем в компрессорах, для них это отношение выше. Однако окончательное решение о целесообразности применения конкретного утилизатора следует делать на основе экономических расчетов.

3.2 Воздухо-воздушные рекуператоры

В качестве воздухо-воздушных рекуператоров применяют пластинчатые и кожухо-трубные теплообменники. Пластинчатые рекуператоры могут собираться из гладких пластин, образующих плоские каналы (рис. 3.2, а), между гладкими пластинами часто устанавливают пластины треугольного или П-образного профиля (рис. 3.2, б, в, г), что значительно увеличивает площадь поверхности контакта воздуха с пластиной без увеличения объема аппарата.

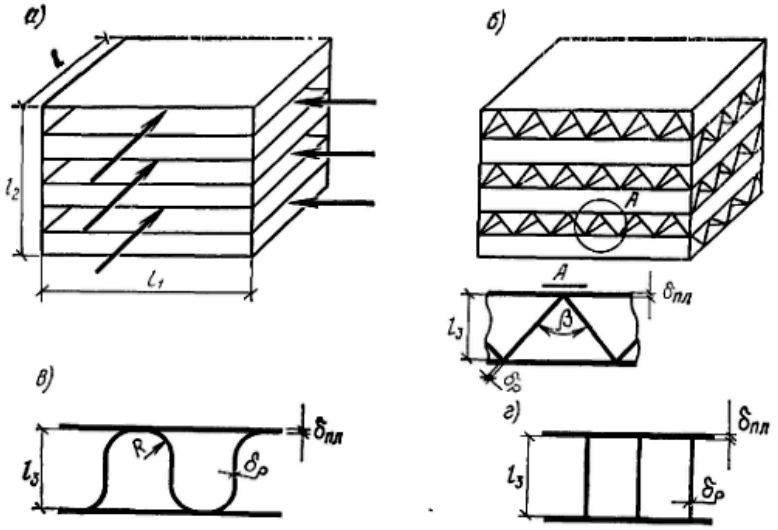


Рис. 3.2 Схема устройства воздухо-воздушного пластинчатого рекуператора
а – с гладкими пластинами; б – с треугольными пластинами; в – с *U*-образными пластинами; г – с П-образными пластинами [14]

Площадь теплообменной поверхности F_v и площадь живого сечения для прохода воздуха $f_{уд}$ в пластинчатых воздухо-воздушных рекуператорах обычно относят к объему теплообменника $V = l_1 l_2$.

При теплотехническом расчете рекуператоров необходимо также знать эквивалентный диаметр каналов

$$D_{экв} = \frac{4 f_{уд} l}{F} \tag{3.1}$$

и коэффициент оребрения ψ, представляющий собой в данном случае отношение площади суммарной теплообменной поверхности, включая площадь профильных пластин F, к площади поверхности гладких пластин $F_{пл}$, который для треугольных каналов равен:

$$\psi = \frac{F}{F_{пл}} = \frac{1}{\cos\beta} + 1.$$

Значения F_v, $f_{уд}$и $D_{экв}$ для каналов различной конфигурации приведены в табл. 3.1 [14], Применение профилированных каналов в рекуператорах позволяет значительно увеличить площадь поверхности теплообмена.

В рекуператорах с изогнутыми по ходу движения воздуха каналами можно увеличить теплообмен в 1,3 раза и более.

Таблица 3.1. Характеристики каналов различной конфигурации [14]

Просвет $l_з$, м	Треугольные каналы ($\beta = 60°$, $\delta_{пл} = \delta = 0{,}15$ мм)			U-образные каналы ($l_з = 2R$)			Плоские каналы		
	F_v, м²/м³	$f_{уд}$, м²/м³	$D_{экв}$, 10^3 м	F_v, м²/м³	$f_{уд}$, м²/м³	$D_{экв}$, 10^3 м	F_v, м²/м³	$f_{уд}$, м²/м³	$D_{экв}$, 10^3 м
0,001	5217	0,608	0,436	4469,5	0,685	0,595	1738	0,869	2
0,002	2790	0,790	1,100	2391,0	0,820	1,373	930	0,930	4
0,003	1905	0,857	1,769	1632,0	0,877	2,150	634	0,952	6
0,005	1165	0,912	3,100	998,0	0,925	3,700	398	0,971	10
0,006	975	0,926	3,770	836,0	0,937	4,460	324	0,976	12
0,010	591	0,955	6,430	506,0	0,962	7,600	196	0,985	20

Наиболее эффективной, с теплотехнической точки зрения, является противоточная схема движения теплообменивающихся сред. Однако конструктивное решение противоточных рекуператоров вызывает сложности, связанные с необходимостью обеспечить герметичность воздушных распределительных камер, количество стыков в которых в этом случае оказывается значительно большим. В связи с этим часто прибегали к перекрестночному конструктивному решению, как это показано на рис. 3.2. В то же время внедрение автоматизированных способов производства пластинчатых теплообменников позволяет современным производителям выпускать эффективные противоточные аппараты.

Для расчета коэффициентов теплообмена α и аэродинамических сопротивлений при движении рабочих сред в плоских, прямоугольных, треугольных и U-образных каналах следует пользоваться критериальными зависимостями для определения критерия Нуссельта вида

$$N_u = AR_e^n \left(\frac{l}{D_{экв}}\right)^{n_1} P_r^{0,33} \tag{3.2}$$

и показателя Фаннинга вида

$$f = A_1 R_e^n \left(\frac{l}{D_{экв}}\right)^{n_1}, \tag{3.3}$$

где $N_u = \alpha D_{экв}/\lambda$; $R_e = vD_{экв}/\upsilon$; $P_r = \mu C_p/\lambda$; λ – коэффициент теплопроводности; C_p – изобарная теплоемкость, μ – коэффициент динамической вязкости; υ – коэффициент кинематической вязкости; v – средняя скорость движения воздуха в канале.

Эмпирические коэффициенты A, A_1 и n, n_1для каналов различной конфигурации представлены в табл. 3.2 [14].

Таблица 3.2 Значения коэффициентов A, A_1 и показателей степени n, n_1 [14]

Форма канала	$l/D_{экв}$	Re	A	n	A_1	n_1
	≥70	≤1200	1,9900	0,09	9,2600	-0,934
		1200-1500	0,0055	0,92	0,0650	-0,257
	20-50	100-1400	1,2600	0,20	8,090	-0,860
		1400-5000	0,0197	0,77	0,3020	-0,41
	≥70	≤2000	0,8730	0,27	5,2900	-0,796
		2000-10000	0,0197	0,77	0,2790	-0,41
	10-35	≤1000	0,8730	0,27	5,2900	-0,796
		1000-10000	0,0390	0,73	0,2790	-0,410
$l_2/l_1 = B$	≥70	≤2000	7,8800	0,00	20,500	-1,00
		2000-8000	0,0767	0,627	0,0417	-0,188

Потери давления в каналах произвольного сечения равны

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{D_{\text{экв}}} \frac{\rho v^2}{2}, \tag{3.4}$$

где λ – здесь коэффициент трения.

Значения коэффициентов теплопередачи, отнесенные к площади теплообменной поверхности F (для потока холодного воздуха индекс «2», для потока теплого воздуха индекс «1»), для пластинчатых теплообменников вычисляют по формуле

$$K = \left[\frac{F_1}{F_2\,\alpha_1 \eta_{\text{ор.1}}} + \frac{1}{\alpha_2 \eta_{\text{ор.2}}}\right]^{-1}, \tag{3.5}$$

Где показатель оребрения одной и другой поверхности равен:

$$\eta_{\text{ор}} = \frac{F_{\text{пл}}}{F} + \frac{F_p \eta_p K_{\text{кт}}}{F}, \tag{3.6}$$

где F, $F_{пл}$, F_p – площади поверхности соответственно общей, гладких пластин и профильных пластин-ребер; η_p - показатель эффективности оребрения, равный отношению мощности теплового потока с поверхности ребра к мощности теплового потока с поверхности того же ребра, имеющего температуру основания ребра. $K_{кт}$ – коэффициент, учитывающий качество контакта ребер с гладкими пластинами, принимаемый равным 0,7 [14].

Воздухо-воздушный рекуператор может работать в режиме «сухого» теплообмена, а также с выпадением конденсата на всей или на части теплообменной поверхности. При температуре холодоносителя ниже 0 °С выпадающий на поверхности теплообменника конденсат может замерзать, образуя слой инея.

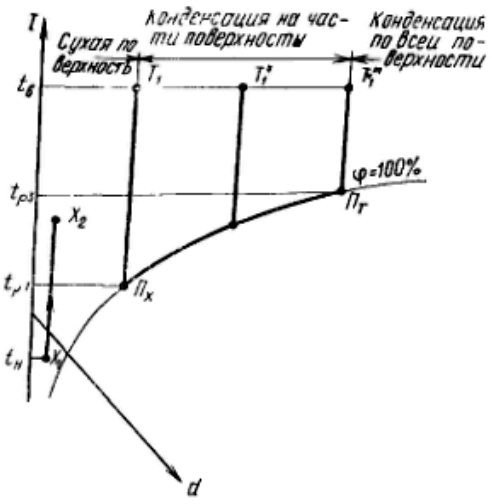


Рис. 3.3 Области на h-d-диаграмме режимов работы воздухо-воздушного теплообменника [14]

Рассмотрим работу воздухо-воздушного теплообменника. Пусть термодинамическое состояние холодного воздуха с температурой $t_н$ на входе в теплообменник характеризуется точкой X_1 на *h-d*-диаграмме (рис. 3.3), а его параметры на выходе из теплообменника после подогрева – точкой X_2. Луч процесса наружного воздуха X_1 – X_2. Считаем, что температура поверхности теплообмена при этом будет изменяться от точки $П_x$ в наиболее холодной части теплообменника до точки $П_т$ в его наиболее нагретой части. Температура внутреннего, удаляемого из помещения воздуха равна tв. Рассмотрим случай, когда термодинамическое состояние внутреннего воздуха на изотерме $t_в$ = const соответствует точке T_1'. Она определяет параметры охлаждаемого воздуха на входе в теплообменник. Для этого случая и при условии, что внутренний воздух будет иметь еще меньшее влагосодержание, теплообменник будет работать в «сухом» режиме, так как на всей поверхности теплообмена температура будет выше температуры точки росы t_{p1} охлаждаемого воздуха.

При увеличении влагосодержания удаляемого воздуха на поверхность теплообменника будет выпадать конденсат. Точка T_1'' соответствует условию, когда на части поверхности теплообменника образуется конденсат. Когда параметры удаляемого воздуха достигнут точки T_1''', на всей поверхности теплообменника будет выпадать конденсат.

Степень нагрева холодного воздуха в теплообменнике характеризуется относительным перепадом температур (коэффициент эффективности):

$$\theta_2 = \frac{t_{x2} - t_{x1}}{t_{т1} - t_{x1}}.$$

При изменении параметров удаляемого воздуха до точки T_1', когда рекуператор работает в «сухом» режиме, величина θ_2 остается постоянной. При изменении параметров удаляемого воздуха от точки T_1' до точки T_1'' температура нагреваемого воздуха на выходе из теплообменника будет возрастать. Это объясняется тем, что в рассматриваемых режимах наряду с потоком явной теплоты существует поток скрытой теплоты. В результате происходит рост θ2 от значения θ_2^{min}, соответствующего режиму «сухого» теплообмена ло точки T_1', до значения θ_2^{max}, от и после точки T_1''', когда вся поверхность рекуператора покрыта конденсатом. Наиболее сложным для расчета является случай с выпадением конденсата на части поверхности.

3.3 Установки утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем

3.3.1 Общие положения.

Утилизаторы теплоты с промежуточным теплоносителем объединяют большую группу установок. Отличительной особенностью этих теплоутилизаторов является наличие циркуляционного контура, в котором перемещается рабочее вещество, обеспечивающее передачу тепловой энергии от теплоприемника к теплопередатчику. Установки с промежуточным теплоносителем являются наиболее распространенным классом теплоутилизаторов. Они могут входить как в системы с непосредственной передачей теплоты, так и с использованием тепловых насосов.

В зависимости от класса используемого теплообменника теплоутилизаторы могут быть рекуперативного или контактного типа. В рекуперативных передача теплоты осуществляется через твердую стенку, а вконтактных теплоноситель вступает в непосредственный контакт с теплообменивающимися средами. Возможны также варианты, когда в одном канале теплоноситель непосредственно взаимодействует с теплообменивающейся средой, а в другом канале используется рекуперативный теплобменник.

Теплообменники с промежуточным теплоносителем могут работать в области однофазной жидкости, а также в двухфазной области.

В однофазной области в качестве рабочих тел применяют воду либо другие жидкости, не замерзающие в рабочем диапазоне температур.

В качестве рабочих тел, обеспечивающих работу теплоутилизаторов в двухфазной области, используют хладоны, водяной пар, аммиак, а также растворы (водоаммиачные, бромисто- и хлористолитиевые).

Большую группу утилизаторов теплоты с промежуточным теплоносителем составляют теплообменники из тепловых трубок, работающие в двухфазной области.

3.3.2 Технологические схемы утилизаторов теплоты с промежуточным теплоносителем

Утилизаторы теплоты рекуперативного типа. Наибольшее распространение получили теплоутилизаторы, использующие тепло удаляемого из помещений воздуха или технологических выбросов. Технологические схемы воздухоприготовительных центров с рекуперативными теплообмениками, использующие тепло удаляемого воздуха для нагрева приточного, представлены на рис. 3.4, а, б.

Как правило, утилизируемой теплоты оказывается недостаточно для нагревания приточного воздуха до требуемой температур в течение всего отопительного периода, поэтому в воздухоприготовительных центрах необходимо иметь дополнительные источники теплоты. При этом возможны два пути решения этой задачи. В соответствии с первым из них (рис. 3.4, а) подогрев воздуха осуществляется в дополнительных воздухоподогревателях. Другой возможный путь решения состоит в догреве промежуточного теплоносителя в периоды похолоданий (рис. 3.4, б).

В большинстве установок с промежуточным теплоносителем, применяемых в системах вентиляции и кондиционирования, на части поверхности теплообменника, расположенного в канале вытяжного воздуха, происходит конденсация влаги. Наличие конденсата вызывает опасность образования наледи, что приводит к необходимости либо предотвращения этого

процесса, либо периодического оттаивания наледи. Способы защиты теплообменников от образования наледи показаны на рис 3.4.

В схеме на рис. 3.4.а при образовании наледи на поверхности теплообменника, по сигналу датчика перепада давления периодически изменяется расход промежуточного теплоносителя или воздуха через теплообменник приточного воздуха и происходит оттаивание замерзшего конденсата.

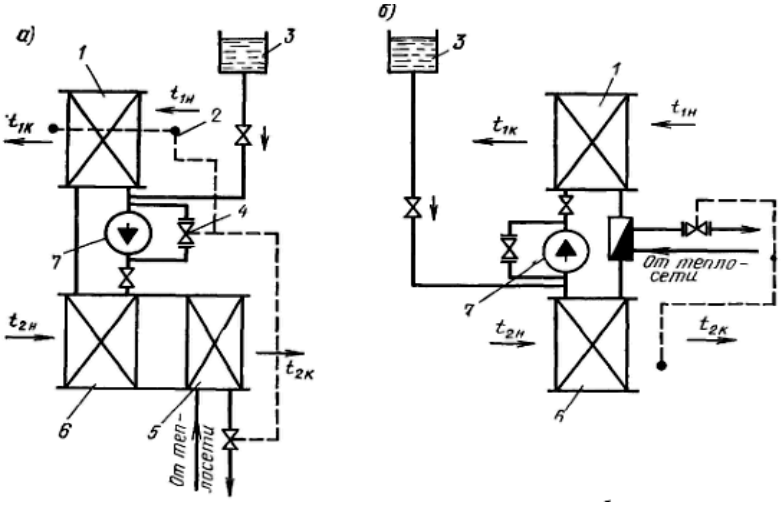


Рис. 3.4 Схемы систем утилизации теплоты в рекуперативных теплообменниках с промежуточным теплоносителем [14]

а – с дополнительным догревом воздуха; б – с дополнительным подогревом теплоносителя;

В схеме на рис. 3.4, б для тех же целей используется подогрев промежуточного теплоносителя от постороннего источника.

Защита от замерзания конденсата может достигаться также путем увеличения расхода промежуточного теплоносителя в период низких температур при включении резервного насоса.

Утилизаторы теплоты контактного типа. Теплоутилизаторы контактного типа могут применятся для подогрева или охлаждения приточного воздуха, а также его осушки и увлажнения. В случае опасности замерзания промежуточного теплоносителя применяют растворы солей: хлористый натрий, хлористый кальций, хлористый литий. Чаще других применяют раствор хлористого лития, обладающего активными сорбирующими свойствами. В результате оказывается возможным увлажнять приточный воздух за счет влаги, сорбируемой из вытяжного воздуха. Раствор хлористого лития при рабочих концентрациях имеет низкую температуру замерзания (до -31 °С) и высокую температуру кипения, т. е. во всем рабочем диапазоне температуры в системе утилизации теплоты теплоноситель находится в жидком состоянии. Кроме того, хлористый литий обладает бактерицидными свойствами. Отрицательным качеством хлористого лития является то, что он вызывает коррозию многих широко применяемых конструкционных металлов, если он недостаточно очищен от примесей. Стойки к растворам хлористого лития легированные стали, латунь, алюминий, олово. Для замедления коррозийных процессов применяют ингибиторы, позволяющие поддерживать коэффициент электрической диссоциации на уровне pH=7 – 8,5. Для растворов хлористого лития в качестве ингибиторов применяют хромовые соли Na_2CrO_4 или $K_2Cr_2O_7$, добавляемые в количестве 1 – 2 % по массе раствора. Для растворов хлористого кальция в качестве ингибиторных добавок применяют хромовую соль $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$.

В качестве контактных аппаратов для обработки воздуха растворами соли могут применяться форсуночные камеры, камеры с орошаемой насадкой, пленочные камеры, барботажные или пенные камеры.

В настоящее время в системах кондиционирования воздуха (СКВ) с использованием раствора хлористого лития применяют следующие способы восстановления концентрации раствора: выпаривание влаги при кипении раствора, подогреваемого высокотемпературной водой или паром; выпаривание влаги под вакуумом; воздушной десорбцией, при которой раствор подогревается до 60 °С и направляется в камеру регенерации, где взаимодействует с потоком воздуха и отдает ему избыточную влагу.

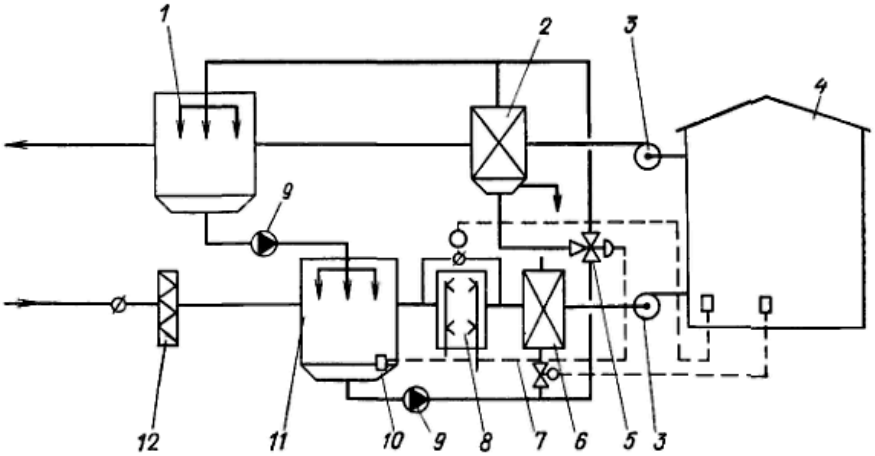


Рис. 3.5 Схема системы утилизации теплоты в контактных теплообменниках с промежуточным теплоносителем [14]

1, 11 – контактные теплообменники; 2 – поверхностный теплообменник; 3 – вентилятор приточный; 4 – помещение; 5 – трехходовой кран; 6 - воздухонагреватель второго подогрева; 7 – импульсная линия; 8 – камера орошения; 9 – циркуляционный насос; 10 – датчик концентрации раствора; 12 - фильтр

В качестве примера рассмотрим схему системы кондиционирования с установкой утилизации теплоты контактного типа [14], которая не требует специального устройства для регенерации раствора (рис. 3.5). В этой схеме удаляемый из помещения воздух поступает в поверхностный теплообменник, где он охлаждается ниже температуры точки росы, и часть влаги из воздуха конденсируется на поверхности теплообменника и выводится из системы. Далее воздух направляется в контактный аппарат, в котором происходит его окончательное охлаждение и осушение в результате контакта с жидким сорбентом.

Расход холодного раствора через теплообменник 2 выбирается таким образом, чтобы из воздушного потока конденсировалась только избыточная для системы влага. Для возможности осуществления такого процесса поверхностный теплообменник снабжен обводным трубопроводом. Холодный раствор после контактного теплообменника 11 поступает к трехходовому крану 5, который по импульсу датчика концентрации раствора 10 устанавливает соотношение количества раствора, направляемого в аппарат 2 и по обводному трубопроводу. Сигнал для срабатывания регулирующего вентиля 5 поступает по импульсной линии 7. Датчик концентрации раствора 10 установлен в поддоне контактного аппарата 11.

Доведение состояния воздуха до требуемых параметров приточного производится с помощью увлажнительного устройства 8 и воздухонагревателя второго подогрева 6. Импульсом для открывания и закрывания клапана воздухонагревателя служит сигнал, поступающий от датчика

температуры, расположенного в помещении. Для поддержания постоянной относительной влажности воздуха в помещении сигнал от датчика влажности поступает на клапан байпасного канала камеры орошения 8. При этом регулируется соотношение количества воздуха, проходящего через камеру и обводной канал.

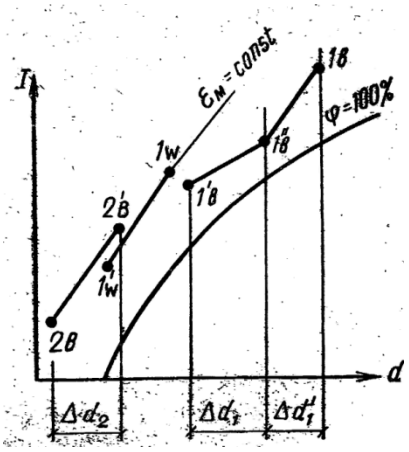


Рис. 3.6 Процессы изменения состояния воздуха и раствора на *h-d*-диаграмме в системе утилизации теплоты с контактными теплообменниками и промежуточным теплоносителем [14]

Процессы изменения состояния воздуха и раствора хлористого лития в аппаратах такой системы на $h - d$ – диаграмме влажного воздуха показаны на рис. 3.6. Поступающий наружный воздух с параметрами, соответствующими точке 2в, нагревается и увлажняется в контактном теплообменнике в процессе *2в – 2в'*. Увеличение влагосодержания равно Δd_2. Теплый раствор, подаваемый в аппарат с параметрами, соответствующими точке 1_w, при контакте с воздухом меняет свои параметры в процессе $1_w - 1_w'$ практически при постоянной концентрации $c_м$ = const. Воздух, удаляемый из помещения, соприкасаясь в поверхностном теплообменнике с поверхностью, имеющей температуру на 3 – 6 °С выше tw изменяет свои параметры в процессе *1в – 1в''*. При этом часть влаги из воздуха конденсируется $\Delta d_1'$.

После поверхностного теплообменника воздух с параметрами, соответствующими точке $1_в''$, поступает в контактный теплообменник, где окончательно охлаждается и осущается при непосредственном контакте с раствором (процесс $1_в'' - 1_в'$). Раствор же меняет свои параметры в процессе $1_w' - 1_w$. Изменение влагосодержания удаляемого воздуха в контактном аппарате составляет Δd_2.

При работе системы достигается равенство изменений влагосодержаний наружного и удаляемого воздуха в контактных аппаратах, т. е. $\Delta d_1 = \Delta d_2$. Раствор получает от удаляемого и отдает приточному воздуху равное количество влаги, поэтому в предлагаемой системе нет необходимости в затратах тепловой энергии на восстановление концентрации раствора.

3.3.3 Основы расчета тепло- и массопереноса в установках утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем.

Основное отличие расчета систем с промежуточным теплоносителем от расчета отдельных теплообменников состоит в том, что помимо параметров приточного и удаляемого воздуха неизвестными являются также температуры теплоносителя на входе в теплообменники.

Воздухоохладитель, входящий в систему с промежуточным теплоносителем, может работать в режиме с выпадением конденсата на всей или на части поверхности, а также и в «сухом» режиме.

При увеличении влагосодержания удаляемого воздуха и фиксированных параметрах приточного воздуха установка с промежуточным теплоносителем последовательно пройдет три режима работы:

1) «сухой» режим;

2) режим с выпадением конденсата на части поверхности воздухоохладителя;

3) режим с выпадением конденсата на всей поверхности воздухоохладителя.

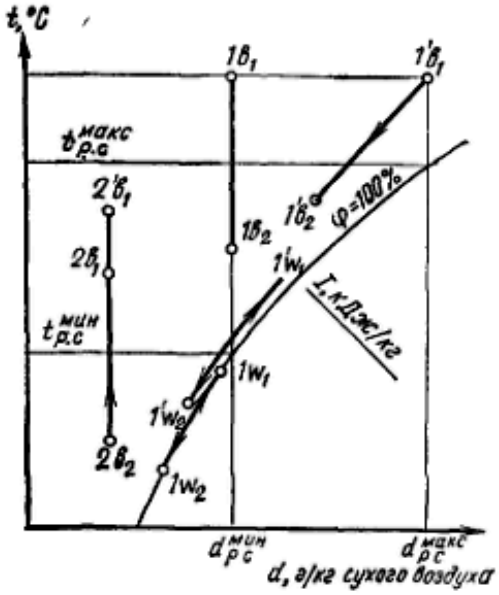


Рис. 3.7 Процессы изменения состояния воздуха на h-d-диаграмме в системе утилизации теплоты с рекуперативными теплообменниками и промежуточным теплоносителем [14]

При работе установки в «сухом» режиме наружный воздух (рис. 3.7) с параметрами, соответствующими точке $2в_2$ нагревается в воздухонагревателе в процессе $2в_2$ – $2в_1$ Теплоноситель меняет свои параметры в воздухонагревателе в процессе $1w_1$ – $1w_2$. Воздух, удаляемый из помещения, охлаждается в воздухоохладителе в процессе $1в_1$ – $1в_2$, а теплоноситель нагревается в процессе $1w_2$ – $1w_1$.

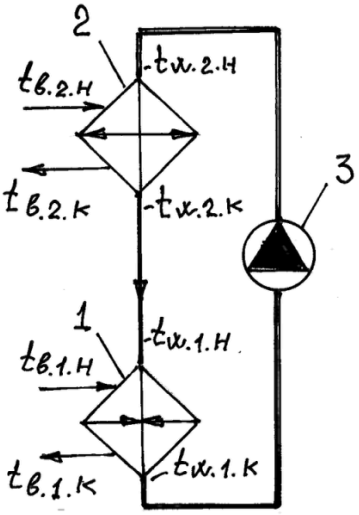


Рис. 3.8 Расчетная схема установки утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем и одиночными рекуперативными теплообменниками

1 – теплообменник-воздухонагреватель в канале приточного воздуха; 2 - теплообменник-воздухоохладитель в канале вытяжного воздуха; 3 – циркуляционный насос

При работе установки в режиме с выпадением конденсата, приточный холодный воздух меняет свои параметры в процессе $2в_2 – 2в_2'$, а вытяжной - в процессе $1в_1' – 1в_2'$. Теплоноситель охлаждается в воздухонагревателе в процессе $1w_1' – 1w_2'$ и нагревается в воздухоохладителе в процессе $1w_2' – 1w_1'$.

Предварительно рассмотрим наиболее простой случай, когда два рекуперативных теплообменника работающих в сухом режиме ($d_{p.c1} < d_{p.c}^{min}$), объединены контуром циркуляции (рис. 3.8).

Запишем систему алгебраических уравнений, включающую:

1) относительный перепад температуры в первом теплообменнике

$$\theta_{t1} = \frac{(t_{в1к} - t_{в1н})}{(t_{w2к} - t_{в2н})}, \tag{3.7}$$

2) относительный перепад температуры во втором теплообменнике

$$\theta_{t2} = \frac{(t_{в2к} - t_{в2н})}{(t_{w2н} - t_{в2н})}, \tag{3.8}$$

3) уравнение теплового баланса между жидкостью и воздухом в первом теплообменнике

$$G_в c_{рв}(t_{в1н} - t_{в1к}) = G_w c_{рw}(t_{w2к} - t_{w2н}), \tag{3.9}$$

4) уравнение теплового баланса между воздухом в первом и втором теплообменниках

$$G_{в1} c_{рв}(t_{в1н} - t_{в1к}) = G_{в2} c_{рв}(t_{в2к} - t_{в2н}). \tag{3.10}$$

Неизвестными в данной системе являются $t_{в1к}, t_{в2к}, t_{w2н}, t_{w2к}$. Решив данную систему уравнений относительно этих неизвестных и представив решение в виде безразмерных комплексов, получим:

$$\theta_{об.1} = \frac{1}{\frac{1}{\theta_{t1}} + \frac{1}{\theta_{t2}}\left(\frac{G_{в1}}{G_{в2}}\right) - W_1}, \tag{3.11}$$

где $W_1 = \frac{G_{в1} c_{рв}}{G_w c_{рw}}$.

Аналогичным образом, используя зависимости для расчета относительных перепадов энтальпий и температур одиночных теплообменников, можно получить формулы для расчета общих относительных перепадов температур и энтальпий для различных установок с промежуточным теплоносителем.

В теплоутилизаторах с контактными теплообменниками приточный и удаляемый воздух (либо один из них) меняет не только свою температуру, но и влагосодержание, поэтому при расчете таких систем недостаточно определять только энтальпию воздуха после теплообменника, также необходимо рассчитать и температуру воздуха после теплообменника.

При работе установок с рекуперативными теплообменниками в «сухом» режиме относительные перепады температур зависят от четырех безразмерных параметров [14]: модифицированного критерия Фурье $Fo_1' = k_1F_1/(G_{в1}c_{рв1})$; $W_1 = G_{в1}c_{рв1}/(G_{w2}c_{рw2})$; $G_{в1} = G_{в1}/G_{в2}$; Fo_1'/Fo_2'.

Если расход воздуха и kF в каналах приточного и удаляемого воздуха одинаковы, то работа установок определяется двумя первыми параметрами. Для теплообменников с промежуточным

теплоносителем существует оптимальная величина параметра $W^{-1} = G_w c_{pw}/(G_в c_{pв})$, лежащая в диапазоне 0,8 – 1,5.

Если расход промежуточного теплоносителя превышает величину, определяемую оптимальным диапазоном, относительные перепады температуры для глубоких теплообменников ($Fo' > 1,6$) снижаются.

При конденсации пара на поверхности воздухоохладителя общий относительный перепад энтальпий зависит от четырех параметров: W_2; Fo_2'; $G_{в2}$; $Fo_2'/Fo_1' = [k_2F_2/(k_{h1}F_1)][G_{в1}c_{рвнас}/G_{в2}c_{рв2}]$. Первые три из них совпадают с аналогичными параметрами для «сухого» режима. Дополнительно при конденсации пара появляется параметр $[G_{в1}c_{рвнас}/G_{в2}c_{рв2}]$. Этот параметр представляет собой отношение полной теплоты к явной теплоте в теплообменнике потока удаляемого воздуха, когда вся поверхность теплообмена покрыта конденсатом. Так же, как и в условиях «сухого» теплообмена, оптимальная величина параметра W^{-1} находится в диапазоне 0,8 – 2,0 [14].

Теплотехническая эффективность установки зависит от площади поверхности, на которой происходит выпадение конденсата, повышаясь с увеличением этой поверхности. Размер площади поверхности, покрытой конденсатом, определяется начальными параметрами воздуха в вытяжном и приточном каналах.

В отличие от установок, работающих в режиме «сухого» теплообмена, относительные перепады энтальпий и температур в рассматриваемом случае меняются в течение отопительного периода.

Отличительная особенность работы систем с промежуточным теплоносителем, в которых используются форсуночные камеры, от систем с рекуперативными теплообменниками состоит в том, что для них характерно монотонное увеличение относительного перепада энтальпий θ_h с ростом расхода теплоносителя во всем диапазоне изменения G_w. Это объясняется тем, что для форсуночных камер увеличение расхода жидкости приводит к существенному росту поверхности тепло- и массопереноса в отличие от рекуперативных теплообменников, где расход теплоносителя незначительно влияет лишь на обменные коэффициенты.

Для систем с пленочными контактными аппаратами существует оптимальная величина $W^{-1} = 0,8 – 1,5$, так же, как и для систем с рекуперативными теплообменниками.

3.4 Установки с теплообменниками из тепловых трубок.

Тепловая трубка представляет собой теплообменный аппарат испарительно-конденсаторного типа, в котором циркуляция промежуточного теплоносителя осуществляется под действием естественной конвекции или под действием сил капиллярного давления.

Конструктивно тепловые трубки выполняются в виде герметичной оболочки, заполненной рабочим веществом. В качестве последнего используются вещества, которые в рабочем диапазоне температуры и давления могут находиться в двухфазном состоянии. Форма герметичной оболочки зависит от условий применения, но чаще всего используется цилиндрическая трубка.

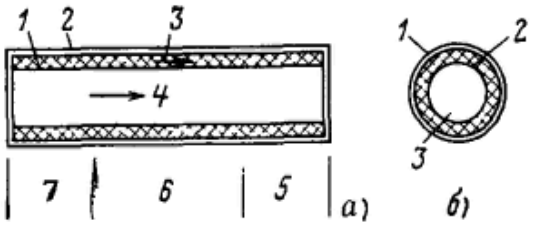


Рис. 3.9 Основные элементы тепловой трубы [16]

а – продольное сечение тепловой трубы: 1 – фитиль; 2 – стенка трубы; 3 – возврат жидкости по фитилю; 4 – пар; 5 – участок конденсата; 6 – адиабатный участок; 7 – испарительный участок; б – поперечное сечение тепловой трубы: 1 – стенка; 2 – фитиль; 3 – паровое пространство

Тепловая труба (рис. 3.9) состоит из участка испарения и участка конденсации. В случае необходимости, обусловленной внешними требованиями, труба может иметь еще одну зону – адиабатный участок, разделяющей испаритель и конденсатор. В поперечном сечении (рис. 3.9, б) видно, что тепловая труба состоит из стенки корпуса, фитиля и парового канала.

В рабочем положении тепловая трубка закрепляется в разделительной перегородке, и каждая её сторона выступает в каналы, по которым движутся потоки, имеющие различную температуру. Одна сторона трубки омывается потоком с высокой температурой и образует зону подвода теплоты, которая передается через стенку оболочки заполняющему её рабочему веществу и обуславливает протекание процесса испарения рабочего вещества. Образовавшиеся пары перемещаются в зону низкого давления. Другая сторона омывается потоком с более низкой температурой и образует зону отвода теплоты, которая передается от конденсирующегося рабочего вещества через разделяющую оболочку внешнему потоку. Сконденсировавшееся рабочее вещество в виде жидкости перемещается из зоны конденсации в зону испарения, где снова превращается в пар. Таким образом, в герметичной оболочке тепловой трубки осуществляется замкнутый цикл циркуляции рабочего вещества.

Эффективность работы тепловой трубы зависит от следующих факторов: условий возвращения жидкой фазы рабочего вещества из зоны конденсации в зону испарения; Интенсивности подвода теплоты через оболочку и условий протекания процесса испарения; условий обеспечения переноса паров рабочего вещества из зоны испарения в зону конденсации.

Обеспечение возвращения жидкой фазы рабочего вещества из зоны конденсации в зону испарения зависит прежде всего от конструктивного исполнения тепловой трубки. Наиболее простой является конструкция бесфитильной тепловой трубки. Возвращение жидкой фазы в зону испарения происходит в ней самотеком под действием гравитационных сил. В связи с этим бесфитильные тепловые трубки должны устанавливаться в рабочем положении с некоторым наклоном в сторону зоны испарения. Необходимый угол наклона оси трубки определяется из уравнения требуемого перепада давления $\Delta p_т$

$$\Delta p_т = \rho g l \sin\varphi, (3.12)$$

где l – длина трубки; φg – угол между осью тепловой трубки и горизонтальной плоскостью.

В тепловых трубках с капиллярным устройством перемещение жидкости осуществляется благодаря силам поверхностного натяжения. Капиллярные устройства могут выполняться в виде канавок на внутренней поверхности трубки, вкладышей из пористых материалов, сеток, фитилей и др.

Основное уравнение, определяющее движение жидкости в тепловой трубе с капиллярным устройством, имеет вид

$$\Delta p_{кап} \pm \Delta p_{грав} = \Delta p_{и} + \Delta p_{к} \quad (3.13)$$

где $\Delta p_{кап}$ - капиллярное давление (разность потенциалов влажности) в фитиле; $\Delta p_{грав}$ - гравитационное давление (разность гравитационного потенциала); $\Delta p_{и}$,$\Delta p_{к}$ - потери давления в зоне испарения и конденсации; $\Delta p_{к.д}$ - потери давления, связанные с изменением количества движения.

Тепловые трубки, используемые, в СКВ, работают в режимах, далеких от максимальных тепловых нагрузок. Коэффициент теплопередачи тепловой трубки может быть определен обычным для теплообменников с кипением или испарением жидкости способом. С ростом удельного теплового потока q при конденсации коэффициенты теплообмена возрастают, а при испарении убывают. Для трубок с внутренним диаметром 12 – 20 мм, для хладонов могут быть использованы следующие оценочные зависимости [14]:

При q = 600 … 6000 Вт/м^2 для испарения

$$\alpha_{и} = 14{,}2q^{0{,}5}; \quad (3.14)$$

при q~ 2·10^6 Вт/м^2 для конденсации

$$\alpha_{к} = 28309q^{-0{,}272}; \quad (3.15)$$

Полученные данные позволяют выполнить расчет относительных перепадов температуры теплообменников из тепловых трубок. Исходной является следующая система балансовых уравнений:

$$K_{и}F_{и}(t_{в.и} - t_{w})\mathrm{dx} = -G_{в.и}c_{в}\mathrm{dt}_{в.и}; \quad (3.16)$$

$$K_{к}F_{к}(t_{в.к} - t_{w})\mathrm{dx} = -G_{в.к}c_{в}\mathrm{dt}_{в.к}; \quad (3.17)$$

$$K_{и}F_{и}(t_{в.и} - t_{w})\mathrm{dx} = \mathrm{K}_{к}F_{к}(t_{в.к} - t_{w}); \quad (3.18)$$

Первые два уравнения определяют баланс и обмен теплом соответственно в зоне испарения и конденсации, а третье – равенство тепловых потоков в зоне конденсации и испарения.

Решение данной системы позволяет установить зависимость для расчета относительных перепадов температур.

Эффективность тепловых труб ε_t составляет от 45 до 65 % и может регулироваться изменением наклона трубы.

3.5 Регенераторные воздухо-воздушные теплоутилизаторы

3.5.1 Конструкция регенераторных теплообменников.

Широкое применение в установках утилизации теплоты удаляемого воздуха приобрели регенеративные вращающиеся и переключающиеся теплообменники, в которых передача тепла осуществляется массой, находящейся последовательно в потоках охлаждаемого и нагреваемого воздуха.

Регенеративные вращающиеся теплообменники бывают несорбирующие и сорбирующие. В сорбирующих регенераторах аккумулирующая масса пропитана сорбентом (хлористым или бромистым литием и др.), который обеспечивает поглощение влаги из удаляемого воздуха и передачу её в процессе десорбции приточному воздуху.

Регенератор (рис. 3.10, а) состоит из аккумулирующей массы – насадки, корпуса, электродвигателя с редуктором, приводящим во вращение насадку, продувочной камеры. Продувочная камера предназначена для очистки поверхности регенератора при переходе его из потока удаляемого воздуха в приточный. Насадка может быть организована пластинами разной конфигурации, сетками, шариками, стружкой и т. д.

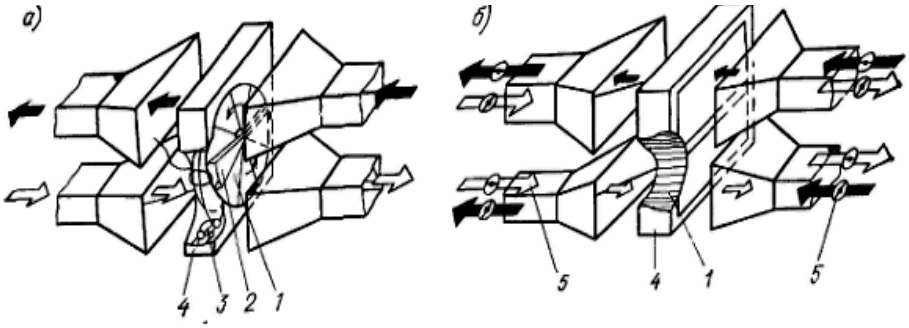


Рис. 3.10 Схемы устройства воздухо-воздушных регенеративных утилизаторов [14]

а – вращающийся регенеративный теплообменник; б – переключающийся регенератор; 1 – насадка; 2 – продувочная камера; 3 – электропривод; 4 - корпус; 5 – переключающиеся клапаны на вытяжном и приточном воздуховоде

Применяют также переключающиеся рекуператоры. В этих рекуператорах насадка неподвижна и омывается последовательно теплым и холодным воздухом (рис. 3.10, б)

Недостаток регенераторов состоит в возможности переноса запахов и вредностей. Перенос вредностей и переток удаляемого воздуха в приточный предотвращается устройством продувочной камеры, а также созданием подпора в канале приточного воздуха по отношению к вытяжному.

Варианты установки регенеративных теплообменников в воздухоприготовительных центрах представлены на рис. 3.11.

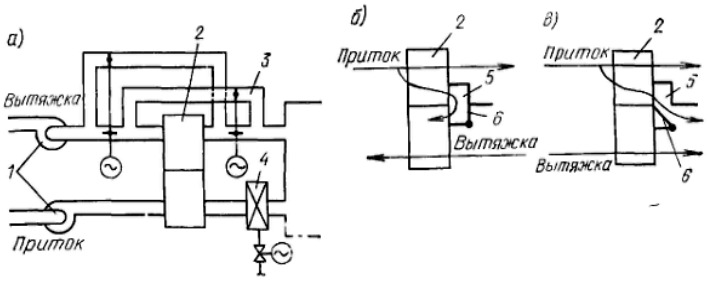


Рис. 3.11 Схемы воздушных потоков в системах с вращающимися регенераторами [14]

а – противоточно-прямоточная; б, в – с продувочной камерой; 1 – вентилятор; 2 – регенеративный теплообменник; 3 – обводной канал; 4 - дополнительный воздухонагреватель; 5 – переключающийся клапан; 6 - заслонка

При отрицательных температурах приточного воздуха на поверхности регенератора может замерзать конденсат, образующийся при прохождении потока удаляемого воздуха.

В системах вентиляции, допускающих кратковременное прекращение подачи вентиляционного воздуха, можно допустить образование инея с последующим его оттаиванием. С этой целью достаточно прекратить подачу холодного воздуха примерно на 5 мин через каждые 3 – 5 часов работы.

В тех случаях, когда система вентиляции не допускает кратковременного отключения, следует предусматривать меры, предотвращающие образование инея – пропуск части

наружного воздуха через обводной канал или уменьшение частоты вращения регенератора. Иногда для предотвращения инееобразования применяют установки с предварительным подогревом приточного воздуха.

Предотвратить инееобразование можно также путем перехода в периоды похолоданий от противоточной к прямоточной схеме движения воздушных потоков в регенераторе (рис. 3.11, а). В таких регенераторах следует предусматривать специальную конструкцию продувочной камеры с переключающимся клапаном (рис. 3.11, б)

Наиболее широко в регенераторах используют пластинчатые и шариковые насадки. Насадка регенератора вращается с небольшой частотой ($n \leq 10$ мин$^{-1}$), которая практически не сказывается на интенсивности теплообмена, поэтому для расчета регенераторов могут использоваться данные по коэффициентам теплообмена, полученные в стационарных условиях. Регенераторы с нерегулярной насадкой обладают повышенным аэродинамическим сопротивлением по сравнению с регенераторами с пластинчатой насадкой. Переток воздуха в них больше. Особенностью сорбирующего регенератора является капиллярно-пористая структура материала насадки, пропитанного раствором хлористого лития. Насадку сорбирующего вещества также осуществляют методом напыления на поверхность пластин.

Если сорбирующая насадка находится в потоке воздуха достаточно длительное время, то между воздухом и материалом насадки устанавливается равновесное состояние, характеризующееся некоторым, равновесным для данных условий влагосодержанием материала насадки. Величина равновесной влажности зависит от потенциала влажности, парциального давления водяных паров и температуры омывающей среды. Кривые, показывающие связь между влагосодержанием материала, относительной влажностью воздуха и температурой, носят название изотерм сорбции-десорбции.

3.5.2 Расчет тепло- и массопереноса в регенеративных теплообменниках

Методика расчета изложена в [14]. При медленном вращении ротора сорбирующего регенератора процесс изменения состояния насадки изобразится в $h - d$ – диаграмме (рис. 3.12, а) и на диаграмме изотерм сорбции (рис. 3.12, б) линиями *1 – 2*, *2 – 1*. Точка *1* соответствует предельному состоянию материала в потоке удаляемого воздуха после достижения им равновесного состояния с воздухом, имеющем температуру t_1 и влагосодержание d_1, а точка *2* – тоже, в потоке приточного воздуха с параметрами t_2, d_2. Линия *1 – 2* изображает процесс изменения состояния элемента в потоке удаляемого воздуха, а линия *2 – 1* – в потоке приточного воздуха. Причем имеется в виду, что продолжительность пребывания насадки в потоках воздуха достаточна для приобретения равновесного состояния.

Если увеличить частоту вращения насадки, то продолжительность её пребывания в потоках удаляемого и приточного воздуха становится недостаточной для достижения равновесных состояний. Изменение состояний насадки в этом случае изобразится линиями *1′ – 2′* и *2′ – 1′*.

По мере увеличения частоты вращения точки *1* и *2* сближаются и при некоторой частоте практически совпадают. Этот режим работы регенератора характеризуется некоторой практически постоянной температурой и влажностью насадки (точка *3*). Механизм переноса теплоты и массы между воздухом и поверхностью в пограничном слое можно принять аналогичным переносу в условиях конденсации. Как и в том, так и в другом случае для определения коэффициента переноса массы можно воспользоваться соотношением Люиса.

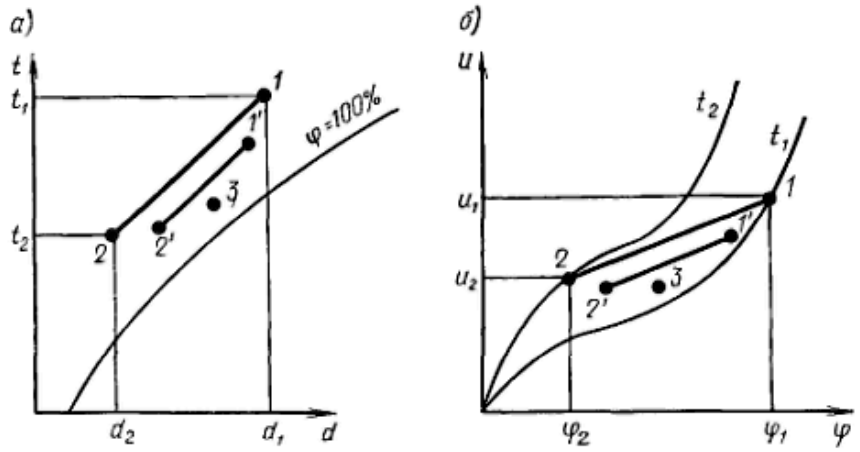


Рис. 3.12 Процесс изменения тепловлажностного состояния насадки регенератора [14]
а – изображение на h-d-диаграмме; б – изображение на диаграмме изотермы сорбции

Различают регенераторы с «толстыми» и «тонкими» пластинами. Под «толстыми» понимают пластины, в которых существенны градиенты температуры или влажности по толщине пластин; в «тонких» пластинах этими градиентами можно пренебречь. Используемые в системах вентиляции и кондиционирования регенераторы, как правило, имеют «тонкие» пластины.

Для регенераторов с «тонкими» пластинами пространственным распределением температур по толщине пластины можно пренебречь, а также несущественным являются теплоемкость и массоемкость воздуха. С учетом указанных упрощений процесс тепло- и массопереноса в сорбирующих регенераторах описывается следующей системой уравнений, которая при использовании безразмерных параметров и обобщенных характеристик имеет вид:

$$\frac{\partial \theta_{\text{hпл}}}{\partial \text{Fo}_{\text{пл}}} = \theta_{\text{hпл}} - \theta_h; \tag{3.19}$$

$$\frac{\partial \theta_h}{\partial \text{Fo}_h} = \theta_{\text{hпл}} W_h - \theta_h. \tag{3.20}$$

Первое уравнение определяет тепломассообмен и баланс по полной теплоте пластины насадки регенератора. Здесь $\theta_{\text{hпл}}$ – относительная избыточная энтальпия всей пластины или её части до сечения *x/l*, равная

$$\theta_{\text{hпл}} = \frac{h_{\text{пл}} - h_{\text{пл.н}}}{h_{\text{пл}\infty} - h_{\text{пл.н}}};$$

$Fo_{пл}$– критерий Фурье для пластины, равный

$$\text{Fo}_{\text{пл}} = \frac{K_h F_{\text{пл}} \tau_{\text{o}}}{M_{\text{пл}} c_{\text{пл.сб}}},$$

где K_h– коэффициент полного теплообмена между воздухом и пластиной, имеющей площадь $F_{пл}$, массу $M_{пл}$ (это может быть часть поверхности, протяженностью x/l или вся поверхность протяженностью l) и удельная теплоемкость с учетом теплоты сорбции $c_{\text{пл.сб}}; \tau_{\text{o}} = 1/n$ – продолжительность одного оборота генератора.

Второе уравнение определяет баланс по полной теплоте и тепло- и массообмен потока воздуха, проходящего через регенератор. Здесь θ_h - относительная энтальпия воздуха в сечении *x/l* или на выходе из генератора, равна:

$$\theta_h = \frac{h - h_\infty}{h_н - h_\infty}.$$

модифицированный критерий Фурье в данном случае равен

$$\mathrm{Fo}_h^{'} = \frac{K_h F_{пл}}{G_в c_{р.нас}};$$

W_h– относительная теплоемкость воздуха по полной теплоте определяется соотношением

$$W_h = \frac{G_в c_{р.нас} \tau_о}{M_{пл} c_{пл.сб}}.$$

При необходимости расчета изменения температуры воздуха t и пластины $t_{пл}$ или их влагосодержаний должны быть дополнительно составлены уравнения, подобные (3.19), (3.20) для каждого из этих параметров.

Система дифференциальных уравнений несорбирующих регенераторов с конденсацией пара на поверхности отличается от системы (3.19), (3.20) тем, что в них теплоемкость пластины $c_{пл}$ принимается без учета теплоты сорбции.

При работе регенератора в «сухом» режиме система дифференциальных уравнений принимает простейший вид:

$$\frac{\partial \theta_{тпл}}{\partial \mathrm{Fo}_{пл}} = \theta_{тпл} - \theta_t; \tag{3.21}$$

$$\frac{\partial \theta_t}{\partial \mathrm{Fo}_t^{'}} = \theta_{тпл} W - \theta_t. \tag{3.22}$$

В первом уравнении относительная избыточная температура пластины

$$\theta_{тпл} = \frac{t_{пл} - t_{пл.н}}{t_{пл\infty} - t_{пл.н}};$$

и критерий Фурье для явного теплообмена

$$\mathrm{Fo}_{пл}^{'} = \frac{\alpha_t F_{пл} \tau_о}{M_{пл} c_{пл}}.$$

Во втором уравнении относительная избыточная температура воздуха

$$\theta_t = \frac{t - t_\infty}{t_н - t_\infty};$$

И модифицированный критерий Фурье для явного теплообмена

$$\mathrm{Fo}_t^{'} = \frac{\alpha_t F_{пл}}{G_в c_{р.в}}.$$

Эти комплексы так же, как и сами уравнения, по структуре совпадают с аналогичными для рекуперативных теплообменников с промежуточным теплоносителем. Подобное совпадение не является случайным, а отражает физическое сходство процессов, протекающих в регенераторах, рекуператорах и теплообменниках с промежуточным теплоносителем.

Особенностью работы регенеративного теплообменника является наличие двух характерных режимов в зависимости от величины относительных перепадов и частоты вращения насадки. При частоте вращения около 7 мин$^{-1}$ относительные перепады температуры, энтальпии, влагосодержания сохраняются практически постоянными. При значениях n< 7 мин$^{-1}$ происходит снижение относительных перепадов.

При n>7 мин$^{-1}$ расчет относительного перепада температуры воздуха при работе регенератора в режиме «сухого» теплообмена производят по формулам:

$$\theta_t = \frac{\{1 - \exp[-\mathrm{Fo}_t'(1-W)]\}}{\{1 - \mathrm{W}\exp[-\mathrm{Fo}_t'(1-W)]\}}, \quad (3.23)$$

или при $W = 1$

$$\theta_t = \frac{\mathrm{Fo}_t'}{1+\mathrm{Fo}_t'}. \quad (3.24)$$

По аналогичным формулам вычисляют относительные перепады температур, энтальпий и влагосодержаний для регенеративного теплообменника, работающего в режиме конденсации пара на всей поверхности теплообменника, а также для сорбирующего регенератора.

Гигиенические особенности работы регенеративных теплообменников. При использовании регенераторов возникает опасность бактериального заражения приточного воздуха. Последнее связано с возможным перетоком воздуха в местах уплотнения насадки, попаданием части удаляемого воздуха, оставшегося в каналах насадки, в приточный и с контактом поверхности насадки попеременно с удаляемым и приточным воздухом. Для устранения перетока в уплотнениях воздухоприготовительные центры проектируют таким образом, чтобы канал удаляемого воздуха находился под разрежением. В этом случае возможен переток только приточного воздуха. Воздух, оставшийся в каналах насадки, удаляется с помощью продувочной камеры (см. рис. 3.9 и 3.10).

Пропитка поверхности насадки хлористым литием способствует гибели бактерий, вследствие бактерицидного действия химического соединения.

3.6 Тепловые насосы

Тепловой насос, так же, как и холодильная машина является преобразователем тепловой энергии, но в отличие от последней в нем обеспечивается повышение её потенциала (температура).

Тепловые насосы подразделяются на компрессионные, сорбционные и термоэлектрические.

3.6.1 Парокомпрессионные тепловые насосы.

Принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса показана на рис. 3.13.

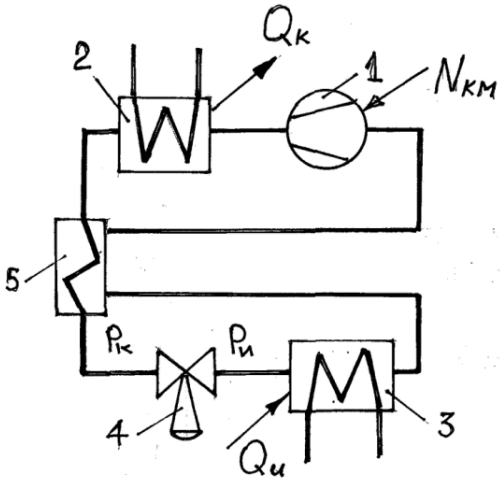


Рис. 3.13 Принципиальная схема парокомпрессионной холодильной машины (теплового насоса)
1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – испаритель; 4 - терморегулирующий вентиль;
5 - перегреватель-переохладитель

Компрессор 1 засасывает пары ХА и сжимает их до величины давления конденсации $p_к$. Сжатые пары ХА поступают в конденсатор 2, где в результате отвода теплоты, охлаждающей (низкопотенциальной) средой происходит конденсация ХА при температуре $t_к$. После конденсатора жидкий ХА поступает в перегреватель-переохладитель 5, в котором, в результате взаимного теплообмена, происходит дополнительное (на 3 ÷ 5 ºС) охлаждение жидкого ХА и дополнительный перегрев паров ХА, поступающих из испарителя. После перегреватель-переохладителя жидкий ХА проходит через терморегулирующий вентиль 4 (ТРВ), в котором в результате адиабатного дросселирования давление ХА понижается от величины давления конденсации $p_к$ до величины давления испарения $p_и$. После ТРВ жидкий ХА при пониженном давлении $p_и$ поступает в испаритель 2, где в результате подвода теплоты от охлаждаемой среды происходит кипение ХА при температуре испарения $t_и$. После испарителя пары ХА поступают в перегреватель-переохладитель, где происходит их осушение, далее они засасываются компрессором и цикл повторяется. В холодильном цикле полезной является теплота, отведенная от охлаждаемой среды $Q_и$, а в цикле ТН, полезной является теплота, подведенная к охлаждающей среде $Q_к$.

Показателем эффективности холодильного цикла является теоретический холодильный коэффициент $\varepsilon_х$, равный отношению количества теплоты, подведенной к испарителю от охлаждаемой среды в единицу времени $Q_и$ к мощности на валу компрессора $N_к$. Показателем эффективности цикла ТН является коэффициент преобразования энергии $\varepsilon_т$, равный отношению количества теплоты, отведенной в конденсаторе к охлаждающей среде в единицу времени $Q_к$ к мощности на валу компрессора $N_{км}$.

$$\varepsilon_х = \frac{Q_и}{N_{км}}; \quad \varepsilon_т = \frac{Q_к}{N_{км}}. \tag{3.25}$$

В качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии может использоваться теплота вытяжного воздуха, отработанной воды ГВС, теплота грунта, подземных и морских вод, наружного воздуха, солнечной радиации (см. рис. 3.14).

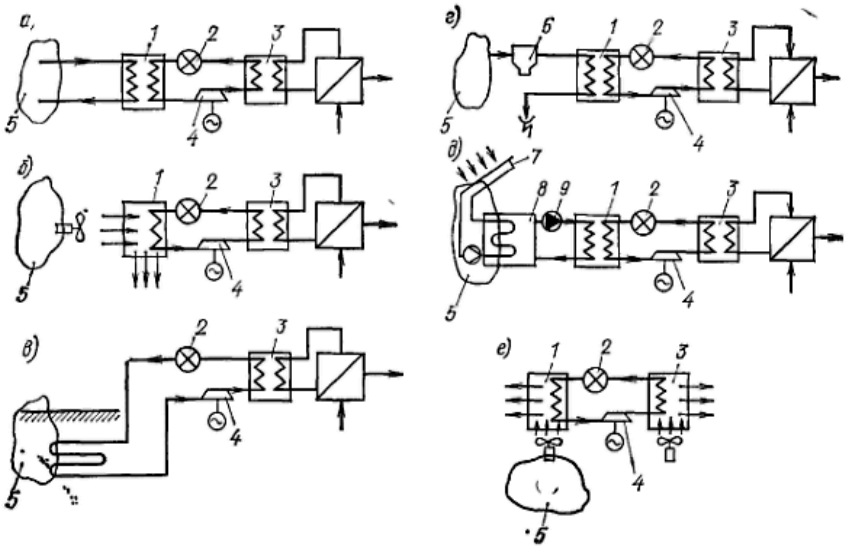


Рис. 3.14 Способы использования теплового насоса для утилизации теплоты различных источников [14]
а – отработанной воды горячего водоснабжения; б – вытяжного воздуха; в – грунта; г –подземных и морских вод; д – солнечной радиации; е – наружного воздуха – 1 – испаритель; 2 – терморегулирующий вентиль; 3 – конденсатор; 4 – компрессор; 5 – источник низкопотенциальной теплоты; 6 – водоочистка; 7 – солнечный коллектор; 8 – аккумулятор теплоты; 9 - насос

Приводами компрессоров в тепловых насосах могут служить электродвигатели и двигатели внутреннего сгорания [14]. Для тепловых насосов большой тепловой мощности используют дизельные и газотурбинные двигатели. Однако, такой привод характерен для промышленных установок ТН. В системах жизнеобеспечения жилых, общественных и административно-бытовых зданий наиболее широкое распространение получили электродвигатели. Применение ТН с компрессорами, работающими от электродвигателей, обычно связано с получением теплоносителя с температурой не выше 50 – 60 °С. Более высокую температуру (до 90 – 95 °С) получают с помощью компрессора, работающего от газового двигателя, утилизируя теплоту уходящих выхлопных газов (~10%), теплоту, охлаждающей двигатель воды (~33%) и теплоту смазочного масла. При этом коэффициент использования топлива можно довести до 80% (доля энергии топлива, передаваемая в двигателе приводу компрессора, составляет ~30%, а утилизируемое в системе ТН теплота, выделяющаяся при работе двигателя, - ~50%) , а коэффициент преобразования энергии возрастает с 1 – 4 до 3,5 – 6,5. Для привода компрессора используется природный газ, который сжигается в газовом двигателе. Мощность двигателя регулируется путем изменения расхода газа.

В конденсаторе вода нагревается до температуры, при которой она может использоваться для целей ГВС, напольного отопления, подогрева воды в бассейнах и др.

В результате прохождения через водоохлаждающую рубашку блока газового двигателя, вода нагревается до 80 – 85 °С. При этом выхлопные газы охлаждаются от температуры 650 °С до 105 °С. Затем вода может направляться в котел-утилизатор, где догревается теплотой продуктов сгорания.

К недостаткам поршневых газовых двигателей относится высокий уровень шума, который может достигать 95 дБ, поэтому на стадии проектирования таких установок следует уделять внимание мероприятиям по защите от шума.

Выбор вида рабочего вещества имеет большое значение при разработке систем утилизации теплоты с ТН, так же, как и систем холодоснабжения. Идеальное рабочее вещество должно характеризоваться химической стабильностью (отсутствием разложения и полимеризации при рабочих температурах), химической инертностью по отношению к конструкционным материалам и смазочным маслам, невоспламеняемостью, нетоксичностью, низкой стоимостью, низкой температурой замерзания, высокой критической температурой при умеренном критическом давлении, высокой эффективностью холодильного цикла. Последнее требование зависит от комплекса теплотехнических показателей. Так же рабочее вещество должно быть экологически чистым, не относящимся к парниковым газам и не оказывающим разрушающего воздействия на озонный слой атмосферы. В настоящее время вопросам экологической безопасности холодильных агентов (ХА) уделяется такое же большое внимание, как и их теплотехническим характеристикам. Рассмотрим основные экологические факторы ХА.

Вклад ХА в разрушение озонового слоя оценивается с помощью потенциала разрушения озонового слоя ODP. По степени озоноразрушающей активности все ХА делятся на три группы:

1) обладающие высоким потенциалом разрушения озонового слоя ($ODP > 0{,}05$) - хлорфторуглероды;

2) обладающие незначительным потенциалом разрушения озонового слоя ($ODP < 0{,}05$) – гидрохлорфторуглероды;

3) не разрушающие озоновый слой (ODP = 0) – гидрофторуглероды, углеводороды, аммиак, CO_2 и др.

Время жизни ХА характеризуется периодом его существования в атмосфере с момента попадания туда до полного выведения. Желательно, чтобы эта величина была по возможности небольшой. В этом случае влияние ХА на рост парникового эффекта и разрушение озонового слоя будет незначительным.

В настоящее время как одну из основных негативных экологических характеристик ХА рассматривают их влияние на рост парникового эффекта. Для оценки теплового воздействия парниковых газов на климат Земли широко используется величина GWP – Global Warming Potential – потенциал глобального потепления. GWP для определенного вещества принимается равным количеству CO_2, наличие которого в атмосфере приводит к тому же парниковому эффекту, что и единица массы данного вещества. GWP вещества показывает, во сколько раз его вклад в парниковый эффект больше вклада диоксида углерода за определенный период времени (так называемый *временной горизонт*). При оценке величины GWP какого-либо вещества используются такие характеристики как время жизни в атмосфере и величина, характеризующая способность вещества поглощать инфракрасное излучение. В литературе приводятся значения GWP за различные периоды времени (20, 100, 500 лет). Используют и другие показатели, характеризующие экологические свойства ХА.

Системы с ТН можно разбить на две группы. К первой группе относятся системы с тремя контурами циркуляции: контур циркуляции рабочего вещества ТН (конденсатор, испаритель, компрессор); контур циркуляции потребителя теплоты (воздухонагреватель или отопительные приборы и конденсатор); контур циркуляции источника теплоты (воздухоохладитель или подземные (речные) воды и испаритель. Ко второй группе относятся системы с одним контуром циркуляции. В этих системах используется воздушные испаритель и конденсатор. В данном случае единственный контур циркуляции образует циркулирующее в конденсаторе и испарителе рабочее вещество.

Контуры конденсатора и испарителя представляют собой обычную систему, состоящую из двух теплообменников, объединенных циркулирующей жидкостью. Воздухоохладитель в контуре испарителя может работать в режиме «сухого» теплообмена (ТП-модель) и в режиме, когда на его поверхности выпадает конденсат и может образоваться наледь (ТМП-модель). Формулы для расчета относительных перепадов температур в контуре конденсатора и испарителя для различных систем приведены в справочной литературе.

Максимально возможная температура конденсации ограничивается предельно допустимым давлением в конденсаторе. Обычно, 50 – 60 °С. Это ограничивает область применения ТН.

3.6.2 Абсорбционные преобразователи теплоты

Одним из эффективных направлений использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) и возобновляемых нетрадиционных источников энергии является производство холода как для технологических процессов при различных температурах охлаждения, так и для нужд кондиционирования воздуха с целью поддержания нормальных условий работы обслуживающего персонала и оборудования.

Производство холода на базе источников ВЭР можно осуществить с помощью теплоиспользующих холодильных машин (ХМ), к которым относятся пароэжекторные и абсорбционные.

Пароэжекторные ХМ потребляют теплоту греющих источников с высокой температурой и характеризуются низкой энергетической эффективностью; их применяют преимущественно в судовых системах кондиционирования и других автономных объектов.

Абсорбционные холодильные машины нашли широкое применение для холодоснабжения предприятий химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, резинотехнической, текстильной и других отраслей промышленности на базе использования низкопотенциальной теплоты ВЭР. Решая вопросы рационального и эффективного использования ВЭР, следует обратить внимание на то, что наряду с получением холода могут быть реализованы процессы преобразования теплоты с низкопотенциального уровня на более высокий. Таким образом, возможна комбинированная выработка холода и теплоты. Преобразование теплоты в АПТ осуществляется с помощью системы совмещенных прямого и обратного циклов, и поэтому для их работы необходимо располагать, как минимум, тремя внешними источниками теплоты. При выработке холода требуется греющий источник, источник низкой температуры (охлаждаемого объекта) и источник окружающей среды; при выработке теплоты в понижающем и повышающем АПТ – греющий источник, источник нагреваемого объекта и источник окружающей среды.

Среди различных типов АПТ наибольшее распространение получили водоаммиачные и бромистолитиевые. Последние применяются в области положительных температур кипения. Водоаммиачные АПТ применяются преимущественно в системах холодоснабжения в области отрицательных температур кипения (до –45 °С) рабочего вещества.

Принципиальная схема АПТ представлена на рис. 3.15. При получении холода АПТ работает следующим образом. В генераторе (кипятильнике) 1 происходит кипение крепкого (по летучему компоненту) раствора за счет подвода от внешнего греющего источника. Процесс кипения протекает при постоянном давлении и непрерывном уменьшении концентрации раствора и повышении температуры его кипения. Образующийся при этом пар летучего компонента поступает в конденсатор 2, где конденсируется вследствие отвода от него теплоты источником, имеющим температуру окружающей среды. В случае, когда пары летучего компонента не содержат паров абсорбента, конденсация протекает при постоянной температуре, а, следовательно, и при постоянном давлении. Жидкость, образовавшаяся в конденсаторе, дросселируется в вентиле 3 от давления конденсации до давления в испарителе 4 и поступает в последний. Давление в испарителе зависит от температуры кипения жидкости и определяется температурой охлаждения источника.

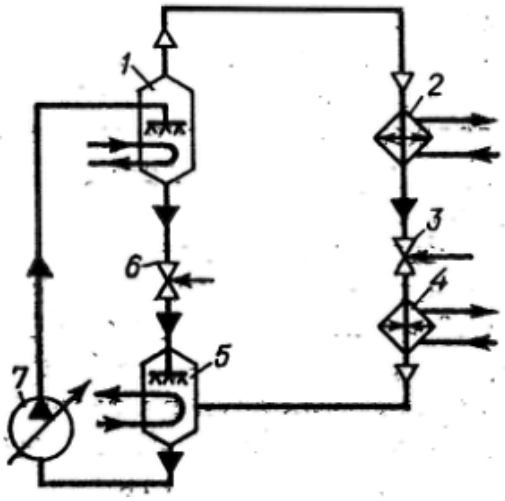


Рис. 3.15 Принципиальная схема абсорбционного преобразователя теплоты
1 – генератор (кипятильник); 2 – конденсатор; 3, 6 – дроссельные вентили; 4 – испаритель; 5 – абсорбер; 6 - насос

В результате подвода теплоты от охлаждаемого источника в испарителе происходит кипение жидкости. Образовавшийся при этом пар поступает в абсорбер. Слабый (по летучему компоненту) раствор из генератора через дроссельный вентиль 6 также подается в абсорбер. В генераторе АПТ поддерживается давление, соответствующее давлению в конденсаторе, а в абсорбере – давлению в испарителе, так как эти аппараты по паровому пространству соединены между собой попарно. В абсорбере происходит поглощение пара слабым раствором, в результате чего его концентрация повышается и достигает концентрации, равной начальной в процессе кипения в генераторе. Процесс абсорбции сопровождается, как правило, выделением теплоты абсорбции, которая отводится источником, имеющим температуру окружающей среды. Крепкий раствор из абсорбера насосом 7 перекачивается в генератор. Таким образом, осуществляется непрерывная работа АПТ.

Выбор рабочих веществ для различного типа АПТ определяется, прежде всего, уровнями температур в основных аппаратах. Во всех странах до сих пор применяются преимущественно две классические рабочие пары (летучий компонент - абсорбент): NH_3 – H_2O и H_2O – LiBr [17]. Поиск новых рабочих веществ объясняется лишь хорошо известными недостатками обеих пар:NH_3 – H_2O – токсичность аммиака, близость температур кипения компонентов, поэтому необходимо предусматривать устройство ректификации, аммиак вызывает коррозию меди образует с воздухом горючие и взрывоопасные смеси.

Аммиачные системы. К этой группе относятся системы, в которых в качестве летучего компонента используется не только аммиак, но и его производные – амины: метиламин CH_3NH_2 и этиламин $C2H_5NH_2$. Для исключения узла ректификации в качестве абсорбента вместо воды предложены различные соли и органические вещества.

Спиртовые системы. В качестве летучих компонентов для АПТ предложены спирты: метиловый CH_3OH и этиловый C_2H_5OH. По теплофизическим свойствам предпочтительнее CH_3OH и системы на его основе: CH_3OH – LiCl CH_3OH – LiBr CH_3OH – $ZnBr_2$ и др.

Достоинства: возможность получения отрицательных температур (до – 20 °С), полное отсутствие в паровой фазе абсорбента, низкое давление в аппаратах, небольшая разница давлений в абсорбере и генераторе.

Недостатки: токсичность CH_3OH, большая вязкость двухкомпонентных растворов, ограниченная растворимость солей в CH_3OH. Наиболее перспективным считается применение спиртовых систем в солнечном АПТ.

Водные системы. Вода – безвредный доступный компонент, имеющий большую теплоту парообразования. В качестве абсорбентов для воды предложено применять соли: LiCl, LiBr, LiJ, $CaCl_2$ и др. Наибольшее применение имеет система H_2O – LiBr. Для расширения рабочей зоны АПТ к LiBr предложено добавлять соли и органические вещества.

Большой интерес представляет использование в АПТ системы H_2O – LiCl, что связано с большой термической стабильностьюLiCl по сравнению с LiBr и LiJ. Из-за меньшей растворимости LiCl АПТ имеют более узкую область применения.

Практические вопросы и решения

1. Приведите классификацию аппаратов утилизации теплоты.
2. Приведите классификацию рекуператоров
3. Какими показателями характеризуется работа рекуператоров?
4. Приведите примеры рекуператоров и опишите их конструкцию и основные технические показатели.
5. В каких режимах могут работать рекуператоры и от чего это зависит.
6. Как изменяются показатели энергетической эффективности от режима работы рекуператора.
7. Какие виды контактных аппаратов Вы знаете?
8. Какими техническими показателями характеризуется работа контактного аппарата?
9. На чем основаны методы расчета контактных аппаратов. Какова цель расчета?
10. Охарактеризуйте установки утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем.
11. Какие схемы установок утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем Вы знаете? От чего зависит выбор схемы.
12. Какие способы борьбы с образованием наледи в рекуператорах Вы знаете?
13. Охарактеризуйте регенеративные воздухо-воздушные теплообменники. Назовите их технические показатели.
14. От чего зависит энергетическая эффективность регенеративных теплообменников?
15. Какие способы блрьбы с образованием наледи в регенеративных теплообменниках Вы знаете?
16. Что такое «Тепловые трубки». Охарактеризуйте назначение и принцип действия.
17. Какую функцию могут выполнять тепловые трубки в установках утилизации теплоты?
18. Какими техническими показателями характеризуются тепловые трубки?
19. Что такое «тепловой насос»?
20. Приведите классификацию тепловых насосов.
21. Какими показателями характеризуется работа теплового насоса?
22. Опишите принципиальную схему парокомпрессионного теплового насоса.
23. Охарактеризуйте рабочий цикл парокомпрессионного теплового насоса.
24. Опишите принципиальную схему и рабочий цикл абсорбционного теплового насоса.
25. Рабочие тела парокомпрессионных тепловых насосов. Требования, предъявляемые к ним?

26. Рабочие тела абсорбционных тепловых насосов. Требования, предъявляемые к ним?

Студент может также найти вопросы самоконтроля по видео (см.: электронные бизнес видео) и задачи, которые должны быть решены с помощью калькуляторов (см.: электронные бизнес-калькуляторы)по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTU)

Рекомендуемая литература (интеллектальная библиотека)

1) Zhang, L. Total Heat Recovery : Heat and Moisture Recovery From Ventilation Air. New York : Nova Science Publishers. 2008, 316 p.

2) Wu, Chih. Thermodynamics and Heat Powered Cycles : A Cognitive Engineering Approach. New York : Nova Science Publishers. 2007, 659 p.

3) Rybach L. Status and prospects of geothermal heat pumps (GHP) in Europe and worldwide; sustainability aspects of GHPs. // International course of geothermal heat pumps, 2002.

4) http://acre.murdoch.edu.au/ago/ – The Australian Renewable Energy Website.

5) Ren, N. Renewable and Sustainable Energy II : Selected, Peer Reviewed Papers From the 2012 International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2012) June 23-24, Hohhot, China. In Advanced Materials Research.Durnten-Zurich, Switzerland : TransTech Publications. 2012.

6) Poullikkas, A. Introduction to Power Generation Technologies. In Energy Science, Engineering and Technology Series.New York : Nova Science. 2009, 186 p.

7) Patrick, D., Patrick, S. Energy Conservation Guidebook. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2007.

8) Sugarman, Samuel C. HVAC Fundamentals. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2007, 326 p.

9) Branson, Spencer T. Heat Exchangers : Types, Design, and Applications. In Energy Science, Engineering and Technology.Hauppauge, N.Y. : Nova Science Publishers. 2011, 233 p.

10) Theodore, Louis. Heat Transfer Applications for the Practicing Engineer. In Wiley Series of Essential Engineering Calculations.Hoboken, N.J. : Wiley. 2011, 644 p.

Тема лекции 4: Энергетическая эффективность инженерных систем зданий.

Введение в лекцию

Тема знакомит с основным энергопотребляющем инженерным оборудованием зданий. Рассматриваются назначение, конструкции, схемы, режимы работы, технические характеристики и энергетьические показатели.

Цель и основные результаты обучения

Целью обучения по этой теме является изучение следующих вопросов: Общие сведения об инженерных системах жизнеобеспечения зданий различного назначения.

Наружные ограждения зданий и их характеристика. Теплозащитные свойства наружных ограждений здания. Показатели энергетической эффективности здания.

Нагнетатели в инженерных системах зданий и сооружений. Технические характеристики нагнетателей. Выбор нагнетателей. Показатели энергетической эффективности нагнетателей.

Системы водоснабжения зданий. Холодное водоснабжение. Основные схемы, оборудование и материалы. Приборы учета. Показатели энергетической эффективности систем водоснабжения.

Горячее водоснабжение (ГВС), назначение, рабочие параметры. Основные схемы, оборудование и материалы. Приборы учета, режимы работы и регулирование . Источники энергии для горячего водоснабжения. Показатели энергетической эффективности систем ГВС.

Системы отопления. Назначение, классификация, основные виды и схемы систем отопления. Источники энергии и рабочие тела для систем отопления. Основное оборудование систем отопления. Технические характеристики систем отопления. Показатели энергетической эффективности систем отопления.

Системы вентиляции. Назначение, классификация, основные виды и схемы систем. Основное оборудование систем вентиляции. Технические характеристики систем вентиляции. Показатели энергетической эффективности систем вентиляции.

Системы кондиционирования. Назначение, классификация, основные виды и схемы систем. Основное оборудование систем кондиционирования. Технические характеристики систем. Режимы работы систем кондиционирования. Технические характеристики систем. Показатели энергетической эффективности систем кондиционирования.

Системы теплоснабжения (ТС). Назначение, классификация, основные виды и схемы систем ТС. Источники энергии и рабочие тела для систем ТС. Основное оборудование, материалы, приборы учета и технические характеристики систем ТС. Режимы работы и показатели энергетической эффективности систем ТС.

Системы газоснабжения. Назначение, классификация, основные виды и схемы систем. Основное оборудование, материалы и приборы учета. Технические характеристики и показатели энергетической эффективности систем газоснабжения.

Воздействие инженерных систем на застроенную окружающую среду.

Предполагаемые основные результаты обучения соответствуют выше предусмотренным целям.

Конспект лекции и раздаточные материалы

Все материалы и обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом вы можете найти по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_Energyefficiency

KSTU.

4.1 Общие сведения об инженерных системах жизнеобеспечения зданий различного назначения.

Системы жизнеобеспечения зданий создают в закрытых помещениях зданий и сооружений микроклимат, обеспечивающий благоприятные условия для труда и отдыха людей, а также для ведения технологического производственного процесса [21]. Основными параметрами, определяющими состояние воздуха, являются его температура, влажность, чистота, скорость движения.

Системы отопления и горячего водоснабжения по виду источников тепловой энергии могут быть с собственной котельной или с питанием тепловой энергии от тепловых пунктов.

Тепловые пункты могут быть индивидуальными (ИТП), обслуживающими одно здание, и центральными (ЦТП), обслуживающими группу зданий и сооружений. На тепловых пунктах обычно устанавливаются теплообменники, насосы (подкачивающие, подмешивающие), системы управления, регулирования, учета и измерения параметров. Эффективность систем отопления и горячего водоснабжения определяется схемой присоединения абонентов к тепловой сети. Схемы присоединения бывают зависимые, когда теплоноситель непосредственно поступает в систему горячего водоснабжения из тепловой сети, а также независимые, когда теплоноситель из тепловой сети поступает в подогреватель, в котором его теплота передается вторичному теплоносителю, который и поступает в приборы горячего водоснабжения. Независимые схемы также применяются для подключения абонентов к тепловой сети в высотных зданиях. При наличии ЦТП в зданиях для систем отопления должны предусматриваться узлы смешения, в которых устанавливаются элеваторы или насосы смешения.

Центральные системы отопления подразделяются: по виду теплоносителя – на водяные, паровые, воздушные и комбинированные; по способу перемещения теплоносителя – на системы с естественной циркуляцией (гравитационные) и насосные; по начальным параметрам теплоносителя – на низкотемпературные водяные (при температуре воды меньше 105 °С), высокотемпературные водяные (при температуре воды больше 105 °С), паровые низкого давления (для пара при избыточном давлении $p_{изб}$ = 5…70 кПа) и паровые высокого давления (для пара избыточного давления $p_{изб} \geq 70$ кПа). Паровые системы отопления бывают открытые (сообщающиеся с атмосферой) и закрытые, одно- и двухтрубные, с верхней, нижней и средней разводкой. Системы отопления, где конденсат возвращается самотеком в котел, называются замкнутыми. В разомкнутых системах конденсат сначала поступает в конденсатный бак и оттуда насосом перекачивается в котел. В закрытых системах парового отопления, в отличие от открытых, конденсатный бак находится под избыточным давлением ($p_{изб}$= 5…15 кПа). Возврат конденсата может осуществляться за счет избыточного давления или с помощью насоса.

Системы панельно-лучистого отопления осуществляют обогрев помещений за счет излучения теплоты поверхностями гладких греющих панелей, установленных в полу, потолке или стенах. Для обогрева панелей используются пар, горячая вода и воздух. Температура на поверхности панели принимается с учетом места установки панелей и направления теплового потока излучения.

Системы воздушного отопления (обычно децентрализованные) следует применять для больших помещений, в которых допустима рециркуляция воздуха. Подогретый в местных воздушно-отопительных агрегатах воздух с большой скоростью (до 20 м/с) распространяется по помещению. Вентиляционные установки делятся на: вытяжные и приточные (с естественной или принудительной циркуляцией); отопительно-циркуляционные и тепловые завесы (для производственных или общественных зданий и сооружений).

Вытяжные вентиляционные установки с естественной циркуляцией оборудованы дефлекторами, а с принудительной циркуляцией – вентилятором с электродвигателем.

Приточные вентиляционные установки должны компенсировать количество воздуха, удаляемого вытяжной вентиляцией, или разность количества воздуха, удаляемого местными отсосами, и количества воздуха, подаваемого местной приточной вентиляцией.

Воздушные завесы с подогревом воздуха устраивают у ворот дверей и технологических проемов отапливаемых зданий, когда исключена возможность устройства шлюзов и тамбуров. Отопительно-циркуляционные вентиляционные установки и тепловые воздушные завесы, кроме электродвигателя вентилятора, имеется теплообменник, который потребляет тепловую или электрическую энергию.

Системы кондиционирования воздуха предназначены для создания комфортных условий в жилых и общественных помещениях. Системы кондиционирования состоят из следующих элементов: вентилятор подачи воз

духа, теплообменники для нагрева (охлаждения) воздуха, фильтры очистки

воздуха, увлажнители, приборы контроля и регулирования и системы распределения воздуха. Однако системы кондиционирования требуют больших капитальных и энергетических затрат. Для определения фактических режимов работы и соответствия выбранной системы кондиционирования воздуха производят замеры: размеров помещений, температуры и относительной влажности воздуха, скорости воздуха, температуры подаваемого летом и зимой воздуха, температуры наружного воздуха, воздухообмена, инфильтрации воздуха.

Нагревательными приборами в системах отопления и вентиляции служат: радиаторы чугунные или штампованные из листовой стали; регистры из гладких труб (гнутые или сварные); трубы чугунные ребристые; конвекторы с нагревательными элементами из оребренных стальных труб. Имеют распространение греющие бетонные панели с вмонтированными в них змеевиками из стальных труб, по которым циркулирует горячая вода или нагретый воздух.

4.2 Наружные ограждения зданий и их характеристика

Ограждения не только защищают помещение от наружной среды, но и обмениваются с ним теплотой и влагой, пропускают воздух сквозь себя как внутрь, так и наружу. Задача поддержания заданного теплового режима помещений здания (поддержания на необходимом уровне температуры и влажности воздуха, его подвижности, радиационной температуры помещения) возлагается на инженерные системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Однако определение тепловой мощности и режима работы этих систем невозможно без учета влияния тепловлагозащитных и теплоинерционных свойств ограждений. Поэтому система кондиционирования микроклимата помещений включает в себя все инженерные средства, обеспечивающие заданный микроклимат обслуживаемых помещений: ограждающие

конструкции здания и инженерные системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Таким образом, современное здание - сложная взаимосвязанная система тепломассообмена – единая энергетическая система.

4.2.1 Теплозащитные свойства наружных ограждений здания

В соответствии с теплотехническими требованиями ограждающие конструкции зданий должны обладать следующими свойствами [19]:

- не допускать потерь тепла в холодное время года и перегрева помещений летом в условиях жаркого климата;

- температура внутренней поверхности ограждения не должна опускаться ниже определенного уровня, чтобы исключить конденсацию пара на ней и одностороннее охлаждение тела человека от излучения тепла на эту поверхность;

- обладать достаточным сопротивлением воздухо- и паропроницанию, влияющими на теплозащитные качества и долговечность зданий.

Рассмотрим некоторое ограждение, постоянно подвергающееся различным климатическим воздействиям. С одной стороны, действует температура наружного воздуха, с другой стороны – температура внутреннего воздуха. Из-за отсутствия теплового равновесия внутри конструкции происходит перемещение тепла из более нагретой среды через ограждение в менее нагретую среду, в результате чего изменяется температура в толще конструкции (рис. 4.1). Этот процесс называется теплопередача или теплообмен.

Для твердых строительных материалов, имеющих капиллярно - пористую структуру, основным видом теплопередачи является *теплопроводность*, т.е. теплообмен между частицами тела, находящимися в непосредственном соприкосновении друг с другом.

Интенсивность теплопередачи посредством теплопроводности называется *тепловым потоком* Q.

При рассмотрении процесса перехода тепла через однородное ограждение от внутреннего воздуха к наружному следует различать три этапа:

тепловосприятие – теплопроницание через ограждение – теплоотдача.

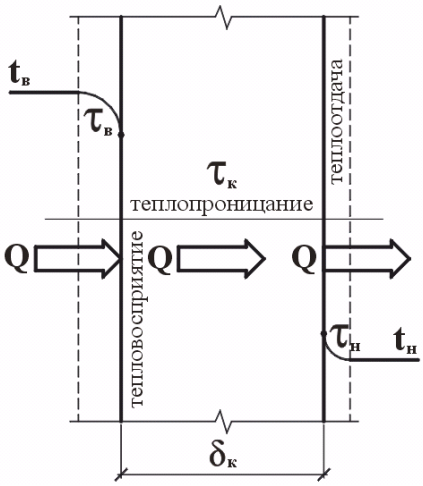


Рисунок 4.1 Процесс теплопередачи

[Гордица Д. Д., канд. техн. наук, доц. Черныш Н. Д., доц. Борисов Э.И., ассистент, СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА Конспект лекций для студентов специальностей 290300 – Промышленное и гражданское строительство, 290500 – Городское строительство и хозяйство, 291400 – Проектирование зданий; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2003]

Количество тепла, проходящее через конструкцию, может быть определено на основании закона Фурье:

$$Q = (\tau_в - \tau_н)\frac{\lambda}{\delta}Fz, \quad (4.1)$$

где $\tau_в$ и $\tau_н$ – температура внутренней и наружной поверхности ограждения, °С;

λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м°С);

δ – толщина ограждения, м;

F – площадь ограждения, м^2;

z – время передачи тепла, час.

Если толщину ограждения, площадь, время теплопередачи и разность температур принять равными единице, то λ = Q. Таким образом, *коэффициент теплопроводности* λ– это количество тепла, которое проходит в единицу времени 1 ч через единицу поверхности 1 м^2 однородного ограждения толщиной 1 м при разности температур на его поверхностях в 1°С.

Коэффициент теплопроводности – одна из основных характеристик строительных материалов. В табл. 4.1 для сравнения приведены коэффициенты теплопроводности различных материалов.

Таблица 4.1 Сравнение коэффициентов теплопроводности материалов

Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Материал				
	Пенопласт	Гранит	Сталь	Алюминий	Медь
λ	0,04	3,5	58	220	383

Коэффициент теплопроводности материалов зависит от пористости (плотности), структуры, влажности, вида взаимосвязи влаги с материалом, температуры, химико-минералогического состава материала.

Чем меньше пористость материала, образуемая относительно мелкими порами, т.е. чем больше плотность материала, тем больше его коэффициент теплопроводности (табл. 4.2).

Таблица 4.2 Теплопроводность кирпича различной плотности

Плотность, кг/м^3	1200	1800
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м°С)	0,4	0,6

Вода обладает высоким коэффициентом теплопроводности λ = 0,5 Вт/(м·°С), поэтому увлажнение материалов и тем более образование в них льда (λ = 2 Вт/(м·°С)) увеличивает теплопроводность.

Коэффициенты теплопроводности зависят от природы материала, его химического состава и особенностей кристаллической структуры. В металлах значительная часть тепла переносится потоком электронов. Чем выше электропроводность металла, тем больше его теплопроводность (медь, алюминий). Теплопроводность камневидных материалов вызвана волнами тепловых упругих колебаний структуры. Чем тяжелее атомы или атомные группы, образующие кристаллы в структуре материала, и чем слабее они между собой связаны, тем меньше теплопроводность материала.

Основная задача теплофизического расчета ограждающих конструкций – придание им необходимых теплозащитных качеств, показателем которых является термическое сопротивление R.

Термическое сопротивление однородного слоя:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} [С \times м^2 Вт] \quad (4.2)$$

Численно термическое сопротивление равно разности температур на противоположных поверхностях ограждения, при которой через каждый 1 $м^2$ ограждения в течение 1 ч проходит тепловой поток, равный 1 ккал.

При проходе теплового потока через ограждение падение температуры происходит не только в материале, но и у поверхностей ограждения (рис. 4.3). При этом общий температурный перепад $t_в – t_н$ складывается из трех частных перепадов:

$t_в – \tau_в$ – у внутренней поверхности ограждения;

$\tau_в – \tau_н$ – в толще ограждения;

$\tau_н – t_н$ – у наружной поверхности ограждения.

Такое падение температуры свидетельствует о наличии дополнительных термических сопротивлений переходу тепла от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения, и от наружной поверхности ограждения к наружному воздуху. Это *сопротивление теплоотдаче* обозначают $R_в$ и $R_н$, $м^2°С/Вт$.

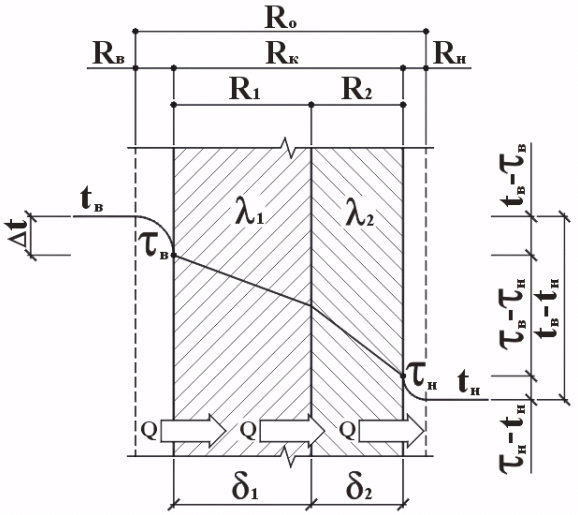


Рисунок 4.2 Теплопередача при установившемся режиме

[Гордица Д. Д., канд. техн. наук, доц. Черныш Н. Д., доц. Борисов Э.И., ассистент, СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА Конспект лекций для студентов специальностей 290300 – Промышленное и гражданское строительство, 290500 – Городское строительство и хозяйство, 291400 – Проектирование зданий; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2003]

В расчетах чаще используют обратные величины:

$\alpha_в$ – коэффициент тепловосприятия, $Вт/м^2°С$;

$\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи, $Вт/м^2°С$;

$$R_в = \frac{1}{\alpha_в}; \; R_н = \frac{1}{\alpha_н} \quad (4.3)$$

Общие величины сопротивления теплопередаче:

- для однослойного ограждения

$$R_{в} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{н}} \quad (4.4)$$

- для многослойного ограждения

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{н}} \quad (4.5)$$

Колебания температуры наружного воздуха вызывают колебания внутренней температуры. Изменения температуры постоянно действуют на ограждения. Вследствие периодических колебаний внутренней и наружной температуры необходимы дополнительные требования к ограждению: обеспечение минимального колебания температуры на внутренней поверхности ограждения в целях обеспечения комфортных условий в помещении, а также во избежание образования конденсата на поверхности конструкции.

Свойство ограждающей конструкции сохранять относительное постоянство температуры на внутренней поверхности при периодических колебаниях температуры наружной поверхности называется *теплоустойчивостью* ограждения.

На теплоустойчивость ограждения влияет теплоусвоение его поверхности, т.е. свойство этой поверхности воспринимать тепло при периодических колебаниях теплового потока или температуры воздуха, которое характеризуется коэффициентом теплоусвоения материала S, м^{2}·°С/Вт.

*Коэффициент теплоусвоения*S материала – это отношение амплитуды колебаний потока тепла к амплитуде колебаний температуры на поверхности ограждения.

Значение коэффициента теплоусвоения S внутренней поверхности ограждения из однородного материала значительной толщины зависит от коэффициента теплопроводности λ, удельной теплоемкости с, плотности материала γ, а также от периода колебания теплового потока z.

$$S = \sqrt{\frac{2\pi \times \lambda \times c \times \gamma}{z}} \quad (4.6)$$

В таблице 4.3 приведены коэффициенты теплоусвоения некоторых материалов.

Таблица 4.3 Коэффициенты теплоусвоения

	Материалы			
	Сталь	Гранит	Минеральная вата	Пенопласт
S, Вт/(м^{2}·°С)	125,7	24,9	0,64	0,26

С изменением температуры на поверхности ограждения связаны ее колебания внутри ограждения. Амплитуда колебаний температуры в толще ограждения отстает во времени от колебаний на поверхности и затухает по мере удаления от нее. Каждому моменту времени соответствует своя волнообразная кривая распределения температуры в слоях ограждения, смещенная по отношению к предыдущей кривой. При этом в ограждении есть слой резких колебаний температур δ_t, где происходит изменение температуры примерно в 2 раза.

$$\delta_t = \frac{\lambda}{S} \tag{4.7}$$

Например. Слои резких колебаний для кирпича:

для периода 24 часа – 0,084 м;

для периода 12 часов – 0,06 м.

Расстояние между двумя максимумами или минимумами волны называется *длиной волны*.

Количество температурных волн l, размещающихся в толще ограждения, пропорционально показателю тепловой инерции D, который служит критерием оценки степени затухания температурных колебаний и называется условной толщиной ограждения (рис. 4.3).

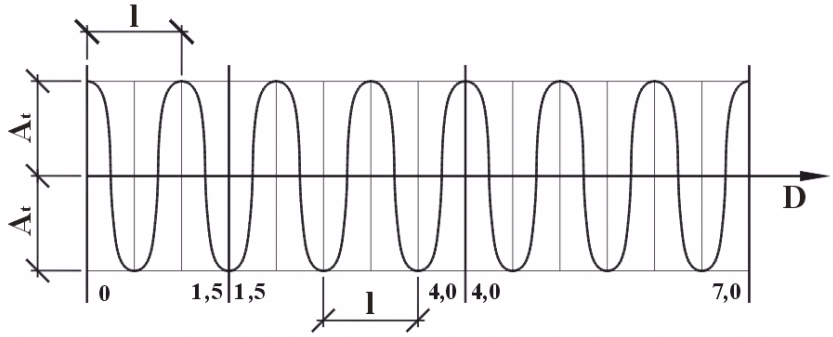


Рисунок 4.3 К определению показателя тепловой инерции D

[Гордица Д. Д., канд. техн. наук, доц. Черныш Н. Д., доц. Борисов Э.И., ассистент, СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА Конспект лекций для студентов специальностей 290300 – Промышленное и гражданское строительство, 290500 – Городское строительство и хозяйство, 291400 – Проектирование зданий; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2003]

Свойство ограждения сохранять или медленно изменять распределение температуры внутри конструкции называется *тепловой инерцией*.

Чем больше инерция, тем труднее изменить первоначальное состояние ограждения. Например, кирпичные массивные стены долго сохраняют свою «летнюю» температуру и не чувствительны к резким и кратковременным перепадам температур наружного воздуха в осенний период. Чтобы получить нормальные условия после отключения системы отопления в весенний период, промерзшие кирпичные стены надо очень долго прогревать. Поэтому летом в кирпичных домах бывает прохладно.

Воздухопроницаемость ограждений. Под *воздухопроницаемостью* наружных ограждающих конструкций понимают фильтрацию сквозь них внутрь помещения холодного воздуха, возникающую при разности давлений на противоположных поверхностях конструкции.

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхности ограждающих конструкций Δp определяется по формуле

$$\Delta p = 0{,}55H(\gamma_H - \gamma_B) + 0{,}03\gamma_H \upsilon^2, \tag{4.8}$$

где H – высота здания от поверхности земли до верха карниза, м; $\gamma_н$, $\gamma_в$ – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м^3; υ – расчетная скорость ветра, м/с.

Удельный вес воздуха определяется по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t'}, \tag{4.9}$$

где t' – температура воздуха: внутреннего для определения $\gamma_в$; наружного для определения $\gamma_н$.

Фильтрация холодного воздуха в помещение через ограждения происходит постоянно через открытые поры в материалах, через неплотности швов и стыков конструкций, через неплотности оконных и дверных проемов. В помещении образуется воздухообмен за счет разности давлений наружного и внутреннего воздуха (рис. 4.4).

При этом *тепловым напором* называют разность давлений воздуха, возникающую из-за разности температур наружного и внутреннего воздуха, *ветровым напором* – под действием ветра.

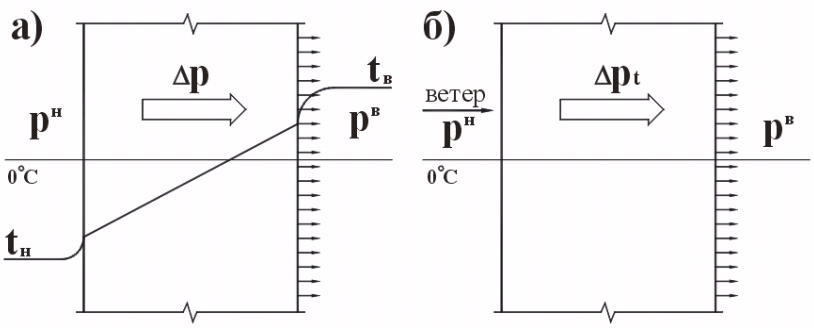


Рисунок 4.4 Схема воздухопроницания через ограждение

[Гордица Д. Д., канд. техн. наук, доц. Черныш Н. Д., доц. Борисов Э.И., ассистент, СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА Конспект лекций для студентов специальностей 290300 – Промышленное и гражданское строительство, 290500 – Городское строительство и хозяйство, 291400 – Проектирование зданий; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2003]

При этом в нижней части помещения (или нижних этажах здания) происходит приток наружного холодного воздуха внутрь помещения – *инфильтрация,* а в верхней части (или верхних этажах) – вытяжка теплого воздуха из помещений наружу – *эксфильтрация.*

Зимой инфильтрация сильна при больших перепадах внутренней и наружной температур, летом инфильтрация возрастает при большом ветре. В помещении создается неорганизованный воздухообмен, который ощущается в виде потоков холодного воздуха. При незначительных объемах он удаляет излишнюю влагу из ограждения и уменьшает влажность внутреннего воздуха. Повышенная инфильтрация вызывает дискомфортные ощущения у людей и сильно охлаждает помещение.

Сопротивление воздухопроницаемости R_u – это разность давлений воздуха, при которой через ограждающие конструкции площадью 1 м^2 за 1 час проникает 1 кг воздуха.

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции R_u определяется по формуле

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \cdots + R_{un}, \tag{4.10}$$

где R_{u1}, R_{u2},…, R_{un}, – сопротивление воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, м^{2}чПа/кг.

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций за исключением окон, балконных дверей и фонарей R_u, определяемого по формуле

$$R_u^{тр} = \frac{\Delta p}{G^н}, \tag{4.11}$$

где Δp – разность давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения, Па; $G^н$ – нормативная воздухопроницаемость ограждения.

Воздухопроницаемость ограждения зависит от наличия в материале крупных пор, сообщающихся между собой, а также влагосодержания. При наличии жидкой влаги в капиллярах воздухопроницаемость при умеренной разности давлений уменьшается. В многокомпонентных материалах, например, шлакобетоне, из-за наличия микроскопических трещин в местах контакта компонентов воздухопроницаемость выше.

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций существенно зависит от качества работ (например, заполнения швов кладки раствором), от плотности поверхностных слоев.

Для уменьшения воздухопроницаемости слоистых стен применяют прокладки (картон, строительная бумага) под наружным слоем ограждения, производят наружную штукатурку или облицовку, выполняют расшивку швов кладки.

4.2.2 Показатели энергетической эффективности зданий

Европейский Парламент и Совет Европейского Союза разработал для стран, входящих в ЕС, ряд законов (директив), предназначенных для стандартизации строительных нормативов по повышению энергоэффективности зданий.

Основная мотивация разработки этих законов – повышение эффективности использования естественных энергетических ресурсов. Ресурсы – нефтепродукты, природный газ и твердые горючие ископаемые – являются не только важнейшими источниками энергии, но также и наиболее существенными источниками выделений двуокиси углерода.

Управление энергоэффективностью зданий признается в качестве важнейшего инструмента, влияющего на глобальный энергетический рынок и безопасность обеспечения энергией в ближайшей и долгосрочной перспективе. Государства – члены ЕС должны принимать необходимые законы и стандарты (нормы) с целью воплощения в жизнь этих общеевропейских законов.

Политика повышения энергоэффективности получила наибольший импульс в 1989 году после запуска программы «Thermie», цель которой заключалась в продвижении новых энергосберегающих технологий. В 1991 году была сформирована программа «Save», направленная на повышение энергоэффективности. В 1998 году Инструкция по энергоэффективности (Communication on Energy Efficiency) установила широкие перспективы для действия Европейской энергетической стратегии. В 2000 году был разработан План действий (Action Plan), согласно которому при снижении энергопотребления на 1 % ежегодно можно будет достичь две трети доступного экономического потенциала к 2010 году (соответствует 40 % от обязательств, возложенных на ЕС в рамках Киотского протокола). Принятая в том же 2000 году Европейская программа по климатическим изменениям (European Climate Change Program) определила наиболее эффективные экономические и экологические действия, которые позволят ЕС выполнить принятые обязательства по Киотскому протоколу, где особо важное место отводилось энергетическим вопросам. В 2003 году была одобрена Программа энергетически интеллектуальной Европы (Energy Intelligent Europe – EIE), в которую как подпрограмма вошла программа «Save». Помимо перечисленного, ЕС участвует в технологических разработках уже седьмой по счету Рамочной программы (Framework Program), в которую входят любые исследования, финансируемые ЕС. За последние два года энергетический стратегический план получил дальнейшее развитие: был выпущен новый «Зеленый» документ по энергетической эффективности (Green Paper on Energy Efficiency), а

также два других актуальных документа: Стратегический план по энергетическим технологиям (Strategic Energy Technology Plan) и Европейская энергетическая политика (Energy Policy for Europe). Из сказанного можно сделать вывод, что на страны-члены ЕС постепенно накладывается все больше обязательств, связанных с повышением энергоэффективности зданий, и эти обязательства закрепляются соответствующими законодательными актами.

Действующая Директива по энергетическим характеристикам зданий (Directive on the Energy Performance of Buildings – EPBD), принятая в 2002 году, является наиболее важным элементом Европейской энергетической политики в жилищном секторе. Остановимся немного подробнее на Директиве EPBD, которая охватывает все вопросы определения энергетических характеристик здания и подробно описывает следующие аспекты:

- единая методология;
- установка минимальных требований для энергетических характеристик;
- сертификат энергетической эффективности зданий;
- проверка (контроль) котлов и систем кондиционирования воздуха;
- требования, предъявляемые к контролирующему персоналу (эксперты и инспектора).

Рассмотрим каждый аспект в отдельности.

Единая методология

Основы принятия единой методологии содержатся в ст. 3 EPBD и устанавливают общие рамки для расчета любой из основных инженерных систем здания. На национальном или региональном уровне страны-члены ЕС должны применять общепринятую методологию расчета энергетических характеристик зданий, которая может включать в себя показатель выбросов CO_2. Для облегчения применения единой методологии Европейскому комитету по разработке нормативной документации (CEN) был выдан мандат на разработку подходящих методов расчета в поддержку стран-членов ЕС при национальном принятии методики расчета энергетических характеристик.

Установка минимальных требований для энергетических характеристик

Данный раздел описывает общую для стран ЕС процедуру разработки требований для энергетических характеристик (ст. 4–6). Поскольку страны могут устанавливать разные требования для новых и существующих зданий, а также для разных категорий зданий, вопросы в этой области охватывают широкий диапазон элементов. Например, какая действует стратегия минимальных требований к европейским энергетическим характеристикам (European Performance – EP), какие категории зданий устанавливаются в разных странах-членах ЕС, как эти требования учитывают качество внутреннего климата, на какие типы зданий не распространяются требования, применяются ли какие-либо ограничения по площади *, какие требования должны применяться при реконструкции зданий, как оцениваются энергетические характеристики на измеренных или расчетных данных, как должно контролироваться выполнение установленных требований, какие юридические санкции предусмотрены при их невыполнении и т. д.

Сертификат энергетической эффективности зданий

Критерии действия сертификата сформулированы в ст. 7 EPBD. Данный сертификат обязателен при строительстве нового здания, продаже или сдаче здания в аренду. Срок действия сертификата не должен превышать 10 лет.

Сертификат энергетической эффективности для отдельных помещений здания (квартиры или отдельных жилых секций) может быть основан:

на общем сертификате, выданном для всего здания, при условии наличия общей системы отопления;

на результатах оценки другой квартиры из того же блока.

Энергетический сертификат зданий должен обязательно включать в себя действующие нормативные значения энергетических характеристик, чтобы потребители могли сравнивать и оценивать энергетическую эффективность эксплуатируемого здания. Помимо этого, сертификат должен содержать рекомендации по улучшению показателей энергоэффективности, включая экономическое обоснование этих мероприятий.

Энергетический сертификат для общественных зданий (правительственных и иных учреждений, предоставляющих услуги большому числу людей) с общей полезной площадью более 1 000 м^2, должен размещаться в доступном для всех желающих месте. Приветствуется информирование посетителей о рекомендуемых и фактических значениях температуры внутреннего воздуха в помещении и, если возможно, других климатических характеристиках внутреннего климата.

Проверка котлов и систем кондиционирования воздуха

Данный раздел (ст. 8, 9 EPBD) содержит подробное описание действий при проверке:

котлов горячей воды, используемых для отопления зданий;

систем кондиционирования воздуха, используемых для контроля температуры во внутренних помещениях здания, а также влажности воздуха и его чистоты.

Отмечено, что регулярное обслуживание котлов и систем кондиционирования воздуха квалифицированным персоналом способствует поддержанию их правильной настройки в соответствии со спецификациями продукта и, таким образом, обеспечивает оптимальную работоспособность с точки зрения экологии, безопасности и энергопотребления.

Требования для экспертов и инспекторов

Данный раздел (ст. 10 EPBD) обобщает такие вопросы, как спецификация и требования к обучению экспертов и инспекторов, включая указание на требуемые ресурсы на национальном уровне (количество экспертов и инспекторов и уровень их экспертизы), гарантию качества для экспертов, инспекторов и сертификатов, критерии аккредитации, строительные нормы и правила, страхование и ответственность.

Из вышесказанного становится понятно, что Европа активно стремится и делает все возможное для снижения общего энергопотребления зданий, повышения энергетической эффективности жилищного сектора, расширения использования возобновляемой энергии и существенного снижения выбросов парниковых газов. С учетом разнообразия климатических условий, типов зданий, культуры и традиций Европа может сыграть ключевую роль и показать остальному миру, что сильная политика вместе с национальными инициативами может привести к реальному повышению энергетической эффективности, с одной стороны, а также к созданию по-настоящему устойчивого сообщества – с другой.

4.3 Нагнетатели в инженерных системах зданий и сооружений

4.3.1 Насосы

Насосами называются машины для создания напорного потока жидкой среды [18]. Этот поток создается в результате силового воздействия на жидкость в рабочей камере насоса.

По характеру силового воздействия, а следовательно, и по виду рабочей камеры различают насосы динамические и объемные. В динамическом насосе силовое воздействие на жидкость осуществляется в проточной камере, постоянно сообщающейся со входом и выходом насоса. В объемном насосе силовое воздействие на жидкость происходит в рабочей камере, периодически изменяющей свой объем и попеременно сообщающейся со входом и выходом насоса.

К динамическим насосам относятся: 1) лопастные: а) центробежные; б) осевые; 2) электромагнитные; 3) насосы трения: а) вихревые; б) шнековые; в) дисковые; г) струйные и др.

К объемным насосам относятся: 1) возвратно-поступательные: а) поршневые и плунжерные; б) диафрагменные; 2) крыльчатые; 3) роторные: а) роторно-вращательные; б) роторно-поступательные.

По некоторым общим конструктивным признакам динамические и объемные насосы делят на следующие виды: 1) по направлению оси расположения, вращения или движения рабочих органов: а) горизонтальный; б) вертикальный; 2) по расположению рабочих органов и конструкций опор: а) консольный; б) моноблочный; в) с выносными опорами; г) с внутренними опорами; 3) по расположению входа в насос: а) с боковым входом; б) с осевым входом; в) двустороннего входа;4) по числу ступеней и потоков: а) одноступенчатый; б) двухступенчатый; в) многоступенчатый; г) однопоточный; д) двухпоточный; е) многопоточный; 5) по требованиям эксплуатации: а) обратимый; б) реверсивный; в) регулируемый; г) дозировочный.

Агрегат, состоящий из насоса (или нескольких насосов) и приводящего двигателя, соединенных друг с другом, называется насосным агрегатом.

В зависимости от рода двигателя различают следующие насосные агрегаты: 1) электронасосный; 2) турбонасосный; 3) дизель-насосный; 4) мотонасосный; 5) гидроприводной; 6) паровой; 7) пневматический.

Насосный агрегат с трубопроводом и комплектующим оборудованием, смонтированным по определенной схеме, обеспечивающей работу насоса, называется насосной установкой.

Параметрами, характеризующими работу насоса, являются:

1)напор, $H_{нас}$, м или давление, p, Па;

2)подача, Q, $м^3/с$, кг/с, Н/с;

3)мощность, N, л.с., кВт;

4)частота вращения (число оборотов), n, 1/с, об/мин;

5)коэффициент полезного действия (КПД), η;

6)высота всасывания, $H_{вс}$, м.

Напор насоса, $H_{нас}$ – это разность удельных энергий между выходом и входом в насос, т.е.

$$H_{нас} = \left(\frac{p_2}{pg} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g}\right) - \left(\frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g}\right),$$

м или $p = \rho g H = \gamma H$, Па

Подача насоса, Q – количество жидкости, протекающей через насос вединицу времени.

Различают подачу:

Объёмную, $Q = V/t$, м^3/с, л/с;

Весовую, $G = \gamma Q$, Н/с;

Массовую, $M = \rho Q$, кг/с.

Мощность насоса, N – это энергия, которую сообщает насос всему потоку жидкости ежесекундно, $N = pQ = \gamma HQ$, Вт.

Частота вращения насоса, n, 1/с – это количество оборотов в единицувремени.

Коэффициент полезного действия (КПД) - это отношение полезной

мощности насоса к затраченной (потребляемой), $\eta = N_n/N_o$,

где:

$$N_n = \eta_Г \eta_0 N_T, N_T = N_0 - N_{мех} = p_T Q_T$$

$P_т$, $Q_т$ – теоретически создаваемое давление и теоретическая подача.

Полный КПД насоса ŋ учитывает 3 вида потерь энергии насоса:

- гидропотери – это потери напора на трение и вихреобразование, оцениваются гидравлическим КПД

$$\eta_Г = \frac{H_T - h_{нас}}{H_T}, \tag{4.12}$$

где: $h_{нас}$ – потери напора в насосе, а $H_т$ - теоретический напор насоса.

- объёмные потери – потери, обусловленные циркуляцией жидкости через зазоры в насосе, оцениваются объёмным КПД

$$\eta_0 = \frac{Q_T - q_{нас}}{Q_T}, \tag{4.13}$$

где: $q_{ут}$ – утечки жидкости в насосе.

- механические потери – потери на трение в подшипниках, уплотнениях и т.д., оцениваются механическим КПД

$$\eta_M = \frac{N_0 - N_{мех}}{N_0}, \tag{4.14}$$

где: $N_{мех}$. – потери мощности на трение и т.д;

N_o – затраченная (потребляемая насосом) мощность.

В связи с этим КПД $\eta = \eta_0 \eta_M \eta_Г$.

Обычно $\eta_Г = 0{,}85\text{-}0{,}9$; $\eta_М = 0{,}9\text{-}0{,}95$; $\eta_0 = 0{,}9\text{-}0{,}95$ и $\eta = 0{,}6\text{-}0{,}8$.

Высота всасывания, $h_{вс}$ – расстояние от свободной поверхности перекачиваемой жидкости до оси насоса, т.е.

$$H_{вс} = \frac{p_0 - p_1}{\rho g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - h_{W0-1} = h_{вак} - h_{W0-1} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g}, \text{ м} \tag{4.15}$$

При понижении давления p_1 до давления парообразования начинается образование паров, и нормальная работа нарушается, создаётся кавитация. Поэтому необходимо создавать поддавливание в баках, т.е. $p_0 = p_a + \Delta p$ при условии, что $p_1 > p_{н.п}$ (давление насыщенного пара).

Другие меры борьбы с образованием кавитации – это расположение баков выше насоса, уменьшение потерь в трубопроводах, применение подкачивающих насосов.

Насосы для отопительных систем подразделяются на два основных вида – с «мокрым» и «сухим» ротором. Устройства первого типа широко распространены во многих странах мира еще с начала 50-х годов прошлого века. Отличительная особенность моделей с «мокрым» ротором заключается в том, что в процессе эксплуатации их двигатель полностью погружен в рабочую жидкость, которая смазывает и охлаждает подвижные элементы агрегата. Детали «мокрого» насоса, обычно производят из таких высокопрочных материалов, как керамика, графит, нержавеющая сталь. Корпус изготавливают из чугуна, бронзы или латуни. Основное преимущество подобных модификаций – износостойкость, бесшумность, несложный монтаж в трубопровод, а также хорошая ремонтопригодность. Насосы с «мокрым» ротором способны много лет проработать без технического обслуживания, не доставляя никаких хлопот своему владельцу.

Устройства с «сухим» ротором также получили свое название по причине конструктивных особенностей. Корпус и подвижные части такого насоса изолированы от перекачиваемой жидкости специальными торцевыми уплотнителями, которые изготавливаются из керамики, графита или карбида вольфрама. При работе с обычной водой устройство обеспечивает стабильную работу в течение трех-четырех лет без какого-либо технического вмешательства. Этот агрегат считается весьма надежным и обладает рядом достоинств: мощный электродвигатель способен перекачивать большие объемы жидкости, а его коэффициент полезного действия (КПД) в некоторых случаях достигает 70%. Впрочем, имеются и недостатки: работа агрегата сопровождается характерным шумом, а мотор требует немалого потребления электроэнергии.

Класс энергоэффективности

Многим потребителям знакома маркировка энергоэффективности, применяемая для бытовой техники. Согласно ей, количество измеренных киловатт-часов, которые насос тратит за год, оцениваются по шкале от A до G. Подобная градация когда-то была внедрена и для циркуляционных насосов, однако сейчас ей на смену пришел индекс энергоэффективности(*)(EEI). И все же, стоит отметить, что энергоэффективность большинства насосов, представленных сегодня на российском рынке, если оценивать ее по общепринятой классификации, соответствует классу D. В то время как на западе уже действует директива Евросоюза 2005/32/ЕС, согласно которой с 2013 года все автономные насосы обязаны иметь EEI не выше 0,27 (то есть, если оперировать буквенной градацией – класс энергетической эффективности не ниже A). А с 2015 года – не выше 0,23 (см. табл. 4.4).

Таблица 4.4 Классификация энергоэффективности циркуляционных насосов

Класс энергоэффективности	Индекс энергоэффективности (EEI)
A	EEI < 0,40
B	0,4
Устаревшие классы энергоэффективности	
C	0,6
D	0,8
E	1,0
F	1,2
G	1,4

4.3.2 Вентиляторы

В отличии от напора, создаваемого насосами, который измеряется в метрах столба перекачиваемой жидкости и представляет собой удельную энергию, приходящуюся на единицу веса жидкости, давление вентилятора представляет собой удельную энергию, получаемую каждым кубическим метром воздуха (газа).

Вентиляторная установка обычно состоит из вентилятора с присоединёнными к нему всасывающей и нагнетательной трубами. Поэтому давление, создаваемое вентилятором, затрачивается на преодоление сопротивления всасывающей и нагнетательной труб и создания динамического давления на выходе нагнетательного трубопровода

$$P = \Delta P_{всас.} + \Delta P_{нагн.} + \frac{\rho U_{вых.}^2}{2} + (P_{вых.} - P_{вх.}), \tag{4.16}$$

где $\Delta P_{всас.}, \Delta P_{нагн.}$ – потери давления на трение и в местных сопротивлениях всасывания и нагнетания;

$(P_{вых.} - P_{вх.})$ – разность давлений перед выходом и перед входом в вентиляторную сеть, или гидростатическая составляющая;

$\frac{\rho U_{вых.}^2}{2}$ –динамическое давление на выходе из нагнетательной трубы.

Для вентиляторных установок [20] гидростатическую составляющую учитывают при естественной тяге и при создании подпора (например, при расчёте дымососа), но в большинстве случаев ею пренебрегают из-за малости.

Давление, создаваемое вентилятором, определяется уравнением Л. Эйлера, которое в современном виде выглядит таким образом

$$P = \psi \rho U^2, \tag{4.17}$$

где ψ – коэффициент давления,

ρ –массовая плотность,

U –окружная скорость на концах лопастей.

Из уравнения Эйлера видно, что давление вентилятора зависит от плотности воздуха, т.е. от атмосферного давления и абсолютной температуры воздуха. Плотность ρ рассчитывается по формуле

$$\rho = \rho_0 \frac{P_{ат} T_0}{P_{ат}^0 T}, \tag{4.18}$$

где ρ_0, $P_{ат}^0$, T_0- параметры атмосферы при стандартных условиях.

Объёмная производительность или подача L вентилятора не зависит от плотности газа. Поэтому при всяком изменении плотности будет соответственно изменяться массовое количество перекачиваемого газа (массовая подача)

$$M = \rho L \tag{4.19}$$

При изменении режимах, характеризующихся подобием треугольников скоростей, подача вентилятора изменяется прямо пропорционально изменению частоты вращения *n(ω)*

$$\frac{L}{L_0} = \frac{n}{n_0} = \frac{\omega}{\omega_0}, \tag{4.20}$$

где ω –угловая скорость вращения,

n- число оборотов в минуту.

При этом давление, создаваемое вентилятором, пропорционально квадрату частоты вращения

$$\frac{P}{P_0} = \frac{n^2}{n_0^2} = \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \tag{4.21}$$

Мощность и коэффициент полезного действия.

Из энергетического определения давления следует, что полезная мощность вентилятора равна

$$N_{\text{полез.}} = \text{PL, Вт,} \tag{4.22}$$

где P –полное давление в Па,

L –подача в м^{3}с

Мощность, потребляемая вентилятором, с учётом всех видов потерь в нём равна

$$N_{\text{е}} = \frac{N_{\text{пол.}}}{\eta} = \frac{P \times L}{\eta}, \text{Вт,} \tag{4.23}$$

где η –коэффициент полезного действия вентилятора.

При изменении частоты вращения вентилятора потребляемая мощность при работе на подобных режимах изменяется пропорционально кубу отношения чисел оборотов

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 = \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^3 \tag{4.24}$$

Если задан постоянный массовый расход газа, то при повышении температуры потребляемая мощность вентилятора будет возрастать вследствие увеличения объёмной подачи L.

Поэтому, при работе вентилятора в газоходе с переменной температурой, его (вентилятор) следует устанавливать в наиболее холодной части газохода, где потребление энергии будет наименьшим.

Характеристика вентиляторов

Подача вентилятора зависит от величины преодолеваемого им сопротивления. С увеличением сопротивления сети производительность падает, а с уменьшением сопротивления сети растёт. При этом изменяются мощность вентилятора и его коэффициент полезного действия.

Полное представление о работе вентилятора можно получить по его характеристике: графических зависимостях давление *P*, мощность *N* и кпд η от подачи *L*. Полная характеристика вентилятора рассчитывается и строится исключительно на основе лабораторных испытаний при постоянной частоте вращения (n об.мин.) и стандартной плотности воздуха ρ.

Имея характеристику вентилятора при какой-нибудь частоте вращения n_1 (рис. 4.4) можно расчётным путём построить характеристику этого вентилятора при другой частоте вращения n_2, определив точки новой характеристики исходя из законов пропорциональности. Из этого соотношения следует, что

$$\frac{L_1^2}{P_1} = \frac{L_2^2}{P_2} = \text{const} \tag{4.25}$$

Полученные уравнения (4.25) являются уравнениями парабол, проходящих через начало координат. Эти кривые представляют собой геометрическое место точек, соответствующих подобным режимам работы вентилятора.

Семейство характеристик $P = f(L)$, построенных для ряда (n), даёт так называемую универсальную характеристику вентилятора (рис. 4.5).

По универсальной характеристике можно определять область экономической работы вентилятора (зону максимальных кпд) для любой частоты вращения.

Для геометрически подобных вентиляторов может быть построена безразмерная характеристика. В этом случае координатами являются следующие безразмерные параметры:

коэффициент подачи $\phi = \frac{L}{\frac{\pi D^2}{4} \times U}$;

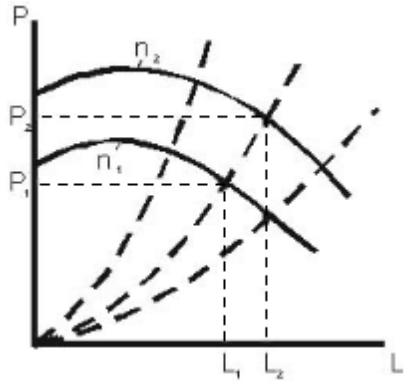


Рис. 4.4 Рабочая характеристика вентилятора

[Плавич А. Ю. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению контрольной работы по дисциплине «Насосы, вентиляторы, компрессоры» Часть 2. Вентиляторы, для студентов всех форм обучения специальности 270109.65 – «Теплогазоснабжение и вентиляция», КГТУ, 2011]

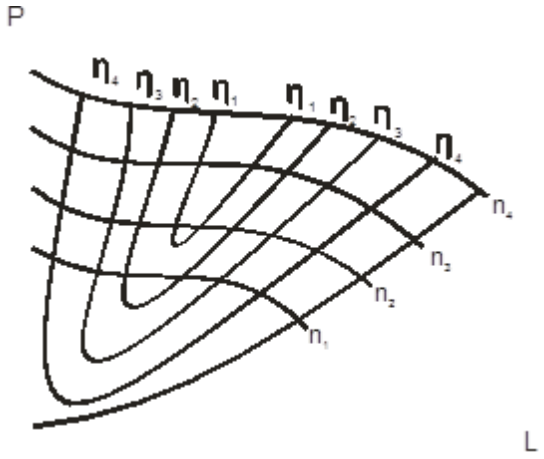


Рис. 4.5 Универсальная характеристика

[Плавич А. Ю. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению контрольной работы по дисциплине «Насосы, вентиляторы, компрессоры» Часть 2. Вентиляторы, для студентов всех форм обучения специальности 270109.65 – «Теплогазоснабжение и вентиляция», КГТУ, 2011]

коэффициент давления $\psi = \frac{P}{\frac{\rho}{2} \times U^2}$;

коэффициент мощности $\lambda = \frac{N}{\frac{\rho}{2} \times \frac{\pi D^2}{4} \times U^3}$;

где $U = \omega \frac{D}{2}$- окружная скорость колеса, мс;

L - подача вентилятора, $м^3$ с;

P - давление вентилятора, Па;

N - мощность вентилятора, Вт.

Умножив эти безразмерные параметры на соответствующие множители, можно получить индивидуальные характеристики вентилятора для заданных диаметра *D* и окружной скорости *U*.

Работа вентилятора на сеть

Давление и подача вентилятора при работе на сеть зависит от характеристики сети.

Характеристикой сети называется кривая зависимости потери давления в данной сети от расхода через неё.

Для квадратичного закона сопротивления уравнение характеристики сети

$P = P_0 + kL^2$,

где P – потери давления в сети;

P_0 – гидростатическая составляющая давления;

k – коэффициент, характеризующий сеть;

L – расход через сеть.

Если на характеристику давления вентилятора (*P-L*) наложить характеристику сети в том же масштабе, то пересечение этих двух кривых называется рабочей точкой и определяет давление и подачу вентилятора.

Определив подачу *L* из полной характеристики вентилятора легко найти мощность *N* и кпд η при работе на данную сеть (рис. 4.6).

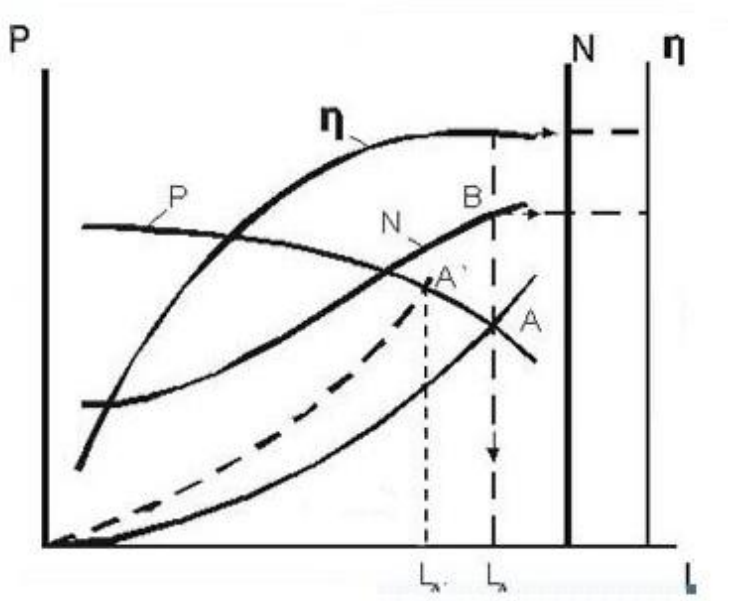


Рис. 4.6 Работа вентилятора на сеть

[Плавич А. Ю. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению контрольной работы по дисциплине «Насосы, вентиляторы, компрессоры» Часть 2. Вентиляторы, для студентов всех форм обучения специальности 270109.65 – «Теплогазоснабжение и вентиляция», КГТУ, 2011]

При подборе вентилятора следует стремиться к тому, чтобы при рабочем режиме вентилятор имел достаточно высокий коэффициент полезного действия.

Особое внимание в последнее время уделяется потреблению электрической энергии электродвигателями вентиляторов, перемещающих воздух и создающих определенное давление (и разрежение, требуемое для забора наружного воздуха) для перемещения потока в вентиляционной сети и ввода воздуха в помещение с заданными скоростями. Энергия,

потребляемая двигателем вентилятора, зависит от воздухопроизводительности агрегата и сопротивления сети. Это сопротивление включает в себя величину сопротивления воздуховодов, заборных и распределительных устройств, что задается и рассчитывается проектировщиком. Полученная величина представляется производителю вентиляционного агрегата, который, подобрав соответствующие необходимые функциональные машины (нагреватели, охладители, фильтры, блоки энергоутилизации, камеру смешивания и т.д.), должен рассчитать аэродинамическое сопротивление машины для обработки и перемещения воздуха.

Известно, что важнейшим показателем оценки работы системы вентиляции является показатель SFP (от англ. «Specific Fan Power»), отражающий потребляемую электрическим двигателем мощность P (кВт, Вт) для создания единичного расхода воздуха (м3/с, м3/ч) в конкретной системе механической вентиляции.

При правильном проектировании системы, поддерживающей нормируемый уровень температуры и относительной влажности в помещениях в течение года и обеспечивающей нормальный химический состав воздуха (кислород, примеси и т.д.), трудно изыскивать пути экономии энергии на подготовку воздуха. А вот электрическая мощность, расходуемая на работу блока двигатель-вентилятор, может и должна быть контролируемой и минимально возможной. Очевидно, что для создания определенного потока воздуха требуемый расход энергии зависит от типа применяемого вентилятора, КПД элементов группы, способа передачи крутящего момента от вала двигателя на вал вентилятора (напомним, что клиноременная передача снижает КПД вентгруппы на 4-6 %), наличия преобразователя частоты электрического тока, все чаще и чаще применяемого для повышения эффективности работы системы вентиляции и кондиционирования.

Итак, показатель SFP рассчитывается как отношение потребляемой электродвигателем вентилятора мощности к расходу воздуха, перемещаемого в данной системе вентиляции.

При этом если агрегат приточно-вытяжной, то учитывается потребляемая мощность двух блоков, приточного $P_{прит}$ и вытяжного $P_{выт}$; полученная сумма делится на воздухопроизводительность $V_{макс}$:

$$SFP = (P_{прит} + P_{выт})/V_{макс}, \text{Вт/м}^3\text{/ч}.$$

При заданном расходе воздуха и сопротивлении сети рассчитанной проектировщиком системы вентиляции для данного здания или сооружения номинальная мощность электродвигателя зависит только от внутреннего аэродинамического сопротивления самого вениляционно-климатизационного агрегата (центрального кондиционера). Опять-таки, при фиксированных элементах, необходимых для доведения параметров наружного воздуха до требуемых кондиций, номинальная мощность устанавливаемого электродвигателя и потребляемая им мощность (эти величины в большинстве случаев не равны) зависят от скоростей движения воздуха внутри машины.

Снижение скорости воздуха, в квадрате влияющей на величину аэродинамического сопротивления, может произойти при увеличении поперечного сечения машины, что влечет за собой увеличение габаритов, повышение расхода металла и изменение теплообменных процессов на всех теплообменниках (нагревателях, охладителях и т. д.).

Понятно, что с усложнением процессов обработки воздуха и с увеличением функциональных элементов агрегата сопротивление потоку воздуха возрастает, расход электроэнергии на работу вентгруппы возрастает, а значит повышается показатель SFP. Однако сечение агрегата может быть подобрано так, что снижение скорости также приведет к уменьшению этого параметра.

4.4 Системы водоснабжения зданий

4.4.1 Холодное водоснабжение

Под системой водоснабжения [22] населенного места понимают комплекс инженерных сооружений, расположенных в определенном технологическом порядке по ходу подачи (течению) воды и предназначенных для обеспечения потребителей необходимым количеством воды требуемого качества.

В общем случае система водоснабжения населенного места включает:

-сооружения для забора воды из источника (водозаборы, водоприемники);

-насосную станцию первого подъема для подачи воды в водопроводную сеть;

-сооружения обработки воды (водоочистные сооружения);

-резервуары для хранения запасов воды;

-насосную станцию второго подъема для подачи воды в водопроводную сеть;

-сооружения для регулирования и поддержания требуемых расходов и напоров в водопроводной сети (водонапорная башня насосно-пневматическая установка, нагорный резервуар);

-водоводы, наружную и внутреннюю водопроводные сети для транспортировки и распределения воды потребителям.

Системы водоснабжения населенных пунктов базируются, как правило, на оборудованных водозаборных сооружениях (скважинах, каптированных родниках, кяризах, а иногда и колодцах) и могут быть классифицированы по ряду признаков.

По виду обслуживаемого объекта системы водоснабжения населенных пунктов бывают *коммунального*, *промышленного*, *сельскохозяйственного*, *железнодорожного*, *аэродромного* водоснабжения и *полевого* водообеспечения.

По целевому назначению различают:

– *хозяйственно-питьевые* (хозяйственные) системы водоснабжения, подающие воду для хозяйственных, санитарно-гигиенических и питьевых нужд;

– *производственные* (технические) системы водоснабжения для обеспечения технологических процессов производств, работы агрегатов и оборудования;

– *противопожарные* системы водоснабжения для обеспечения тушения возникающих пожаров.

В зависимости от размеров населенных мест, а также количества потребляемой ими воды, системы водоснабжения могут быть *объединенными* или *раздельными*.

В населенных пунктах, где расходы воды невелики, по экономическим соображениям, как правило, устраиваются объединенные системы хозяйственного, технического и противопожарного водоснабжения.

Взаимное расположение и увязка водопроводных сооружений образуют схему системы водоснабжения или водопровода. Существенное влияние на выбор схемы системы водоснабжения оказывает вид источника воды.

По этому признаку системы водоснабжения населенных пунктов подразделяются на системы с *поверхностным* и *подземным* источником.

Система водоснабжения зданий и сооружений (внутренний водопровод) зависит от системы водоснабжения объекта. Она присоединяется к наружному водопроводу или питается от местного водоисточника. По назначению внутренние водопроводы бывают *хозяйственно-питьевыми, объединенными, противопожарными и техническими*. Хозяйственно-питьевые водопроводы подают воду на нужды питьевые, гигиенические и хозяйственно-бытовые. Объединенные внутренние водопроводы подают воду на хозяйственно-питьевые и противопожарные, иногда и технические нужды, при этом вода должна быть питьевого качества. Технические водопроводы подают воду на технологические нужды и применяются при должном обосновании.

Внутренние водопроводы различаются также по способу подачи воды к водозаборным точкам. Если в наружной сети имеется гарантированный свободный постоянный напор, обеспечивающий подачу воды в здании к наиболее высоко расположенной точке хозяйственного водоразбора, а также струю расчетной высоты и наиболее высоко расположенном пожарном кране, внутренний водопровод присоединяется непосредственно к наружному.

Водопроводная сеть состоит из магистральных линий стояков и ответвлений к водоразборным точкам (подводок) и присоединяется к наружной сети вводами. Она оборудуется водоразборной, регулировочной, запорной, пожарной, контрольной и другой арматурой. Магистральные линии служат для подведения воды в здании по кратчайшему расстоянию до стояков. Водопроводные стояки предназначены для разветвления воды от магистрали по всем этажам здания и прокладываются в местах наибольшего разбора воды, которыми в жилых зданиях являются санитарные узлы; стояки устанавливаются по стенкам или в стеновых каналах. На каждом этаже, где имеются водозаборные точки к ним от стояков прокладываются ответвления (рис. 4.7).

Расход воды в зданиях и сооружениях определяется по принятой для данного объекта норме водопотребления на хозяйственно-питьевые и другие нужды. В жилых домах он зависит от того, оборудованы ли они ваннами, обеспечиваются ли горячей водой, есть ли мусоропроводы, как организована стирка белья, предусмотрено питание домашнее или в столовой и т. д. Обеспечение индивидуальных потребностей в воде переносится на водопроводы столовых, бань, прачечных, общественных зданий и т. п. Таким образом расчетный расход воды в зданиях (сооружениях) различен и определяется от дельно для групп зданий одного типа и назначений.

Постоянный свободный напор у внутренних пожарных кранов должен обеспечивать получение компактной струи высотой 6 м. Необходимый напор у пожарного крана применяется в зависимости от диаметра пожарного ствола (от 13 до 22 мм), диаметра крана (50 или 66 мм), длины рукава (применяется обычно 10 или 20 м) и определяется по таблице СНиП. Для пожарного крана диаметром 50 мм необходимый напор составляет от 9,2 до 20,2 м при длине не прорезиненного рукава 10 м и от 8,6 до 20,2 м при длине 20 м. В специальных объектах он применяется по специальным инструкциям, в зависимости от характера объекта. Гидростатическое давление в хозяйственно-питьевых водопроводах у санитарных приборов, а также водозаборных кранов не должно превышать 60 м.

Диаметры труб хозяйственно-питьевого водопровода определяются по наибольшему секундному расходу. Расчетные расходы находятся по числу водозаборных кранов и санитарных приборов в здании и по расходу воды приборами. Поскольку расходы воды зависят от типа приборов, они приводятся к эквиваленту. За эквивалент принят расход водозаборного крана раковины составляющий 0,2 л/сек. Величина эквивалентов санитарных приборов применяется равной для: крана раковины - 1, умывальника - 0,33, смывного бачка - 0,5 , для душа в квартирах - 0,67, душа в казармах - 1, смесителя у ванны - 1-1,5, писсуара - 0,17, смывного крана унитаза - 6-7. Зная сумму эквивалентов, расчетные расходы в стояках и магистралях жилых зданий можно определить по формуле:

$$q=0,2\sqrt[a]{N+kN}, \text{л/сек}, \quad (4.26)$$

где: *a*- величина, зависящая от нормы водопотребления и равная 2,2 при норме до 100 л/чел.; 2,14 при норме 200 л/чел.;

N - число санитарных приборов и водоразборных кранов, приведенное к эквиваленту в здании или на расчетном участке;

k - коэффициент, зависящий от *N* и равный 0,002 - для *N* до 300.

Расчетные расходы на хозяйственно-питьевые потребности в штабах, детских яслях, поликлиниках, госпиталях, учебных корпусах определяются по формуле:

$$q=0,2a\sqrt{N}, \text{л/сек}, \quad (4.27)$$

где: *a*- коэффициент, применяемый в зависимости от назначения зданий от 1,2 до 2,5;

N - сумма эквивалентов.

Диаметры труб выбираются из расчета наибольшего использования напора в наружной сети у здания. Это позволяет применять трубы с минимальными, для данных конкретных условий, диаметрами и ведет к снижению стоимости водопровода здания.

Объединенные хозяйственно-питьевые-противопожарные водопроводы должны рассчитываться на пожарный расход воды при наибольшем хозяйственно-питьевом секундном расходе. Потери напора в трубах определяются по таблицам, как и для наружной сети. Потери напора на местные сопротивления принимаются равными 30% величины потерь по длине трубопровода в сети хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода. При этом расчетная скорость движения воды может приниматься до 2,5 м/сек в подводных трубопроводах к водоразборным точкам и до 1,5 - в магистралях и стояках. По таблицам же находятся и расчетные диаметры труб. Практически диаметры труб, подводящих воду к единичным санитарным приборам или водозаборным кранам, принимаются без расчета равными: для смывного бачка и писсуара 10-15 мм, умывальника, раковины, душа и ванны (подводка к смесителю) - 15 мм, диаметр подводящей трубы к двум душам должен быть не менее 20 мм, мойки - 15-20 мм, для банного крана - 20 мм, для крана смывного унитаза - 25-32 мм. Расчет ведется в следующей последовательности: вначале принимаются диаметры труб, подводящих воду к единичным санитарным приборам, затем определяются диаметры труб, подводящих воду от стояка к санитарным приборам на каждом этаже, диаметры участков стояков для каждого этажа и, наконец, магистрали.

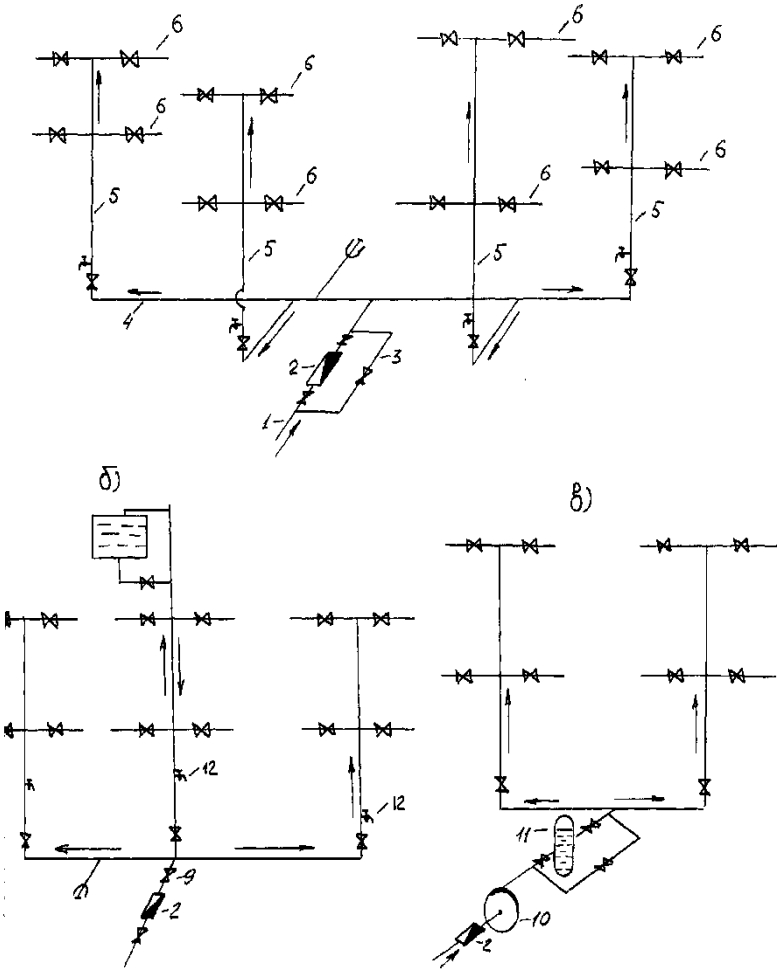


Рис. 4.7. Системы внутренних водопроводов:

а - с обеспеченным напором в наружной сети; б - с водонапорным баком; в -с пневматической установкой; 1 - ввод; 2 - водомерный узел; 3 - обводная линия; 4 - магистральный трубопровод; 5 - водопроводные стоянки; 6 - ответвления (подводки); 7 - поливочный кран; 8 - водонапорный бак; 9 -обратный клапан; 10 - насос; 11 - пневматический котел;12 - спускной кран.

[Сайфуллин О.Р. Конспект лекций. «ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ» для студентов 4 курса специальности 270112 «ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ» (ВК), Москва, МИИТ, 2011]

В объединенных системах водопровода вводы, магистрали и стояки устраиваются общими, а ответвления к водоразборным точкам раздельными. В объединенных хозяйственно-питьевых противопожарных системах пожарные стояки устраиваются самостоятельными. В раздельных системах вводы, магистрали, стояки и ответвления применяются самостоятельными. В системах с водонапорными баками при нескольких вводах, с насосами подкачки или с пневматическими установками на вводах ставятся обратные клапаны. Подсоединение вводов к наружной водопроводной сети осуществляется в колодцах с установкой задвижек, а при диаметрах до 40 мм - вентилей. При устройстве одного ввода его необходимо располагать в центре здания, если водоразборные точки расположены равномерно по длине здания, или вблизи наибольшего потребления воды. Диаметр ввода определяется расчетом на пропуск максимального расхода воды; при расходе более 1 л/сек он должен быть не менее 50 мм, при расходе до 1 л/сек - 25-40 мм. Ввод располагается с уклоном в сторону наружной сети. В зданиях с подвалом вводы пропускаются через стену подвала или фундамент; в зданиях без подвалов ввод размещается в одной из центрально расположенных лестничных клеток. При пропуске вводов через стену подвала устраивается защита от проникновения грунтовых вод.

При необходимости учета потребления воды применяются водомеры. Рассчитываются они на пропуск расчетного максимального суточного расхода воды. При этом водомеры проверяются на наименьший расход, который принимается равным - 6...8 процентов среднечасового расхода. Водомеры в жилых зданиях должны отвечать условию:

$$Q_{сут} \leq 2Q_x \quad (4.28)$$

где: $Q_{сут}$ - суточный расход воды в здании, куб. м.

Q_x- характерный расход водомера, куб. м.

Потери напора в водомерах определяются по формуле:

$$h = Sq^2 \quad (4.29)$$

где: q- расчетный расход, л/сек;

S - коэффициент сопротивления водомера, принимаемый по специальной таблице, в пределах 14,4 - 0,00207, в зависимости от калибра водомера (соответственно 15-80 мм).

Водомеры выбираются в таблицах по калибру (в мм) и максимальному суточному расходу. Конструктивно они бывают крыльчатые, применяемые при номинальном расходе до 10 м^3/час и максимальном суточном 60 м^3, и турбинные, применяемые для больших расходов. По способу присоединения к трубопроводам они разделяются на муфтовые и фланцевые. Устанавливаются они на вводах внутри здания. На случай снятия водомера на вводе, до водомера и после него, устанавливаются вентили, а также устраивается обводная линия. Магистральные трубопроводы прокладываются по стенам или под потолком подвала, в техническом подполье или в подвальных каналах с уклоном 0,002-0,005 для обеспечения спуска воды в них. Они прокладываются по кратчайшим расстояниям до стояков и параллельно осям зданий.

Ответвления от стояков (подводки) устраиваются в каждом этаже и подводят воду к одному или нескольким водоразборным точкам. Они укладываются с уклоном к стоякам для опорожнения. На ответвлениях устанавливаются вентили из расчета один вентиль на ответвления, питающие 5 и более водоразборных точек, на ответвлениях в каждую квартиру, на подводке к смывному бачку, смывному крану и водонагревательной колонке, а также на пожарных стояках с числом пожарных кранов пять и более.

Ответвления в жилых и общественных зданиях прокладываются вдоль стен, а в санитарных узлах у пола или по стене; применяется также скрытая прокладка в каналах или в бороздах.

Водопроводная сеть оборудуется арматурой различного назначения. К запорной арматуре относятся вентили, задвижки, запорные (проходные) краны. Водоразборная арматура представляет собой краны различных типов. Они допускают постепенное их открытие без гидравлического удара. К ним относятся: краны для раковин и моек, туалетные краны умывальников, смесители для умывальников, ванн и душей, смывные краны для унитазов.

Насосные установки автоматизируются с помощью реле давления. Забор воды насосами осуществляется непосредственно из наружной водопроводной сети, при этом устраивается обводная линия в обход насосов с задвижками и обратным клапаном. Напор в наружной сети должен быть более 5 м. Насосные установки располагаются в котельной или в специальном помещении. Их нельзя устанавливать непосредственно под жилыми помещениями, учебными классами, больничными помещениями, рабочими комнатами штабов и другими подобными помещениями. Насосы устанавливают на фундаментах и оборудуются звукоизолирующими

(например, эластичными патрубками длиной не менее 1м на всасывающем и напорном трубопроводах) и виброизолирующими устройствами.

Пневматические установки выбираются в зависимости от назначения. Если пневматическая установка предназначается и для тушения пожара, предусматривается неприкосновенный противопожарный запас, рассчитанный на 10-минутную продолжительность тушения, пожара кранами при ручном включении пожарных насосов и одновременном наибольшем расходе на другие нужды. Пневматические установки должны работать автоматически. Они располагаются в подвалах зданий или в первых этажах.

Водонапорные баки применяются для создания запаса воды на период снижения давления в наружной сети и устанавливаются на чердаках зданий или на технических этажах. Емкость бака определяется, как и для бака водонапорной башни.

К противопожарным водопроводам предъявляется основное требование постоянной их готовности к действию. Магистральные водопроводы и стояки могут устраиваться из стальных не оцинкованных труб. Магистральные водопроводы прокладываются так же, как и магистрали хозяйственно-питьевых или объединенных водопроводов. Пожарные стояки в жилых зданиях и казармах устанавливаются в отапливаемых лестничных клетках. На стояках размещаются пожарные краны на каждой лестничной площадке, в казармах они выводятся в коридоры. Во всех случаях пожарные краны размещаются в стенных нишах или шкафчиках. У каждого пожарного крана предусматривается пожарный рукав равного с ним диаметра и длиной 10 или 20 м. Пожарные краны располагаются на высоте 1,35 м над полом. При количестве пожарных кранов 5 и более пожарные стояки оборудуются у основания задвижкой или вентилем и спускным краном для опорожнения. Противопожарный водопровод может быть оборудован пожарными насосами, пневматической установкой или питаться из водонапорного бака. Пожарные насосы могут быть с автоматическим, дистанционным или ручным управлением. При дистанционном управлении пусковые кнопки устанавливаются у пожарных кранов.

В производственных помещениях с повышенной пожарной опасностью, в некоторых складских помещениях могут применяться спринклерные и дренчерные установки автоматического действия. Спринклерная установка состоит из водопитателя, контрольно-сигнальных клапанов, сети труб и спринклерных головок. Водопитателем служит водопровод военного объекта, подкачивающие насосы, пневматические установки и водонапорные бачки; чаще всего применимы подкачивающие насосы и пневматические установки.

Расчетный расход воды через спринклер может определяться по формуле:

$$Q = \sqrt{Ви \cdot H}, л/с, \qquad (4.30)$$

где: *Ви*- характеристика истечения спринклера в л/сек .м, принимаемая для спринклера с диаметром 10 мм - 0,059 и с диаметром 16 мм - 0,391 л /с;*H* - свободный напор у спринклера (не менее 5 м вод. ст.)

4.4.2 Горячее водоснабжение

С развитием строительства жилых и общественных зданий и непрерывным улучшением культурно-бытовых условий жизни все больше увеличивается потребность в горячей воде. Горячую воду расходуют на бытовые и производственные нужды. В зависимости от назначения ее потребляют в смеси с холодной водой или самостоятельно. Поступающая в систему горячего

водоснабжения вода не должна быть жесткой и агрессивной по отношению к материалу труб. Содержание кислорода, растворенного в воде, не должно превышать 5 мг/л, свободной углекислоты 20 мг/л.

Существует несколько способов получения горячей воды [22]:

1) в местных установках малой производительности (водогрейные колонки, газо- и электронагреватели, кипятильники, небольшие водогрейные котлы,

гелиоустановки и др.);

2) централизованно: а) в водоводяных или пароводяных подогревателях, располагаемых в тепловых пунктах на одно или несколько зданий; б) в районных котельных с раздачей горячей воды потребителям по наружным сетям,

обслуживающим большие группы зданий, квартал, район, поселок; в) из теплосети при непосредственном разборе горячей воды потребителями.

Системы с местными установками для приготовления горячей воды. Местные установки для приготовления горячей воды могут обслуживать одно или несколько водоразборных устройств (например, в пределах одной квартиры жилого здания). Такие системы горячего водоснабжения называют *децентрализованными*. Основными элементами их оборудования являются: генератор тепла, где сгорает топливо и нагревается теплоноситель; водонагреватель, где приготовляется горячая вода; трубопроводы теплоносителя; разводящие трубопроводы, подающие воду к водоразборным устройствам; дополнительные устройства (расширительный бачок, аккумулирующий бак-резервуар).

Системы централизованного горячего водоснабжения. Эти системы подразделяют:

-по способу получения горячей воды с непосредственным нагревом воды в котлах, с нагревом ее в подогревателях с применением теплоносителя (пар, перегретая вода);

-по способу подачи горячей воды система без баков-аккумуляторов, обеспечивающая подачу горячей воды потребителям без разрыва струи (под давлением городского водопровода), и система с баками -аккумуляторами, обеспечивающая подачу горячей воды потребителям через напорные баки, высота расположения которых создает нужный напор в системе;

-по способу использования перегретой воды от теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) закрытая система, использующая воду от ТЭЦ в качестве теплоносителя для нагрева воды в подогревателях, и открытая система с непосредственным водоразбором при условии сохранения качества воды, отвечающего требованиям;

-по способу движения воды в системе с естественной циркуляцией под действием гравитационного напора, когда движение горячей воды обусловлено изменением ее плотности вследствие изменения температуры, и с искусственной циркуляцией побудительной, с помощью циркуляционного насоса.

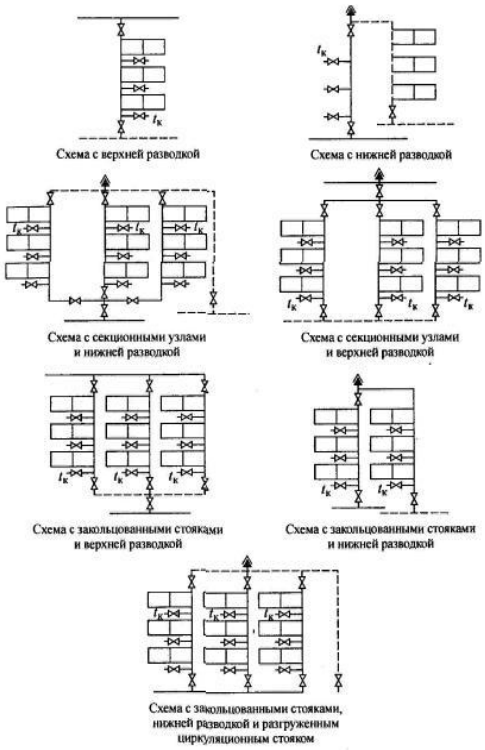


Рис. 4.8 Схемы присоединения стояков в системах ГВС. [22]

В систему централизованного горячего водоснабжения входят следующие элементы: генератор тепла; водоподогреватель; трубопроводы теплоносителя, соединяющие генератор тепла с водоподогревателем; трубопроводы, разводящие горячую воду потребителям; сетевые устройства (компенсаторы линейных удлинений, воздухоотводчики); арматура (водоразборная, предохранительная, запорная); аккумуляторы (баки); насосные установки; контрольно-регулирующие устройства (регуляторы расхода, температуры).

Сети трубопроводов систем централизованного горячего водоснабжения состоят из подающих и естественной или искусственной циркуляции воды в сети через водоподогреватель, чтобы при отсутствии или недостаточном водоразборе вода не остывала.

Широкое применение получили сети с подающими стояками, объединенными перемычкой, расположенной в верхней части здания и соединяющей их с циркуляционным трубопроводом. Объединение подающих стояков перемычками осуществляют в каждой секции здания и соединяющей их с циркуляционным трубопроводом.

Открытая система с непосредственным разбором горячей воды из тепловой сети также находит применение, несмотря на высокие требования, предъявляемые к ее эксплуатации и к качеству горячей воды, подаваемой от ТЭЦ. Однако, наибольшее распространение получили системы закрытые со скоростными водоподогревателями, использующие перегретую воду от ТЭЦ в качестве теплоносителя.

Несмотря на то, что при эксплуатации централизованных систем холодного и горячего водоснабжения от ЦТП нередко возникают жалобы населения на периодическое прекращение подачи воды на верхние этажи зданий или на низкую температуру горячей воды (вследствие нарушения гидравлического режима), в этих же системах наблюдается значительный перерасход воды, теплоты и электроэнергии. Основной причиной перебоев водоснабжения является недостаточный напор подкачивающей установки, а в системах горячего

водоснабжения, кроме того, увеличенное сопротивление водонагревателей и перегрузка начальных (общих) участков сети из-за гидравлического разрегулирования системы.

Вследствие низкого сопротивления колец, состоящих из водоразборного и циркуляционного стояков, выполненных друг за другом, интенсивная циркуляция осуществляется через ближайшие к ЦТП стояки, а в удаленных стояках она значительно ниже или отсутствует совсем, в результате чего в водоразборные краны вода поступает охлажденной. С целью доведения циркуляции до дальних стояков на практике часто циркуляционные насосы заменяют более мощными, при этом циркуляционный расход приближается к расчетному секундному расходу на водоразбор.

Однако, помимо того, что это мероприятие приводит к перерасходу электроэнергии, оно ухудшает работу системы. Вследствие еще большей перегрузки подающего трубопровода и водонагревателя второй ступени резко увеличиваются потери давления и возникают перебои в подаче воды на верхние этажи.

Для устранения гидравлической разрегулировки централизованной системы горячего водоснабжения необходимо сокращать число циркуляционных колец и повышать их сопротивление, как это принято сейчас при проектировании секционных узлов.

Установка полотенцесушителей на водоразборные стояки и объединение последних кольцующей перемычкой позволили снизить диаметр стояков за счет возможности питания водоразборного крана с двух сторон (при загрузке стояка, где установлен кран, питание будет осуществляться снизу и через перемычку из соседних менее загруженных стояков). Переход на меньший диаметр стояка, помимо снижения металлоемкости, снизить теплопотери трубопровода (500 ГДж на 1000 квартир) и сократит расход циркуляционной воды.

При реконструкции существующих систем с полотенцесушителями на циркуляционном стояке для наладки теплового и гидравлического режимов следует отрезать циркуляционные стояки от магистрали, объединив их по подвалу в пределах одной секции дома кольцующей перемычкой, которую в одном месте трубопроводом повышенного сопротивления надо подключить к магистральной циркуляционной линии (рис.в). Это значительно повысит гидравлическую устойчивость системы и, как минимум, в 4 раза уменьшит число циркуляционных колец.

Существенным резервом экономии является также возможность периодического отключения полотенцесушителей от стояков горячего водоснабжения. В южных районах страны в жаркие летние месяцы сокращение теплопоступлений необходимо для улучшения микроклимата квартир. Экономически нелепой является установка полотенцесушителя в квартире, в которой имеется кондиционер для понижения температуры воздуха в летние месяцы, так как последний должен расходовать энергию на понижение температуры воздуха в квартире и на выброс теплоты, поставляемой в квартиру полотенцесушителем.

Для снижения расхода воды [2] используются такие простейшие устройства как аэраторы (рис. 4.9), которые создают вместо струи воды из кранов поток водо-воздушной смеси с преимущественной долей воздуха. Они позволяют существенно экономить ресурсы. Установка регулируемых аэраторов может производиться путем замены крана или присоединения таких устройств к изливу существующих санитарных приборов.

Рисунок 4.9. Вид и схема установки аэратора на смеситель [19]
1 – стандартное устройство 2 – уплотнительное кольцо
3 – аэратор с регулятором расхода
4 – металлический корпус

Снижение непроизводительных расходов воды может обеспечиваться гидравлической оптимизацией во внутреннем водопроводе зданий, которая осуществляется установкой редукционных клапанов на отводящих трубопроводах от стояков к приборам. Они поддерживают в трубопроводах давление на уровне оптимальных значений. Поскольку расход воды из приборов пропорционален давлению в подводящих трубопроводах, то снижение избыточного давления в трубопроводах на нижних этажах здания уменьшает расход воды.

Эффективность изоляции стояков системы горячего водоснабжения.

Еще один резерв экономии в системах горячего водоснабжения – это изоляция стояков, проходящих в шахтах санитарно-технических кабин либо открыто в ванной комнате. При изоляции стояков сокращаются не только потери теплоты, но и расход электроэнергии на перекачку циркуляционной воды, так как из-за меньших теплопотерь снижается требуемый циркуляционный расход.

Теплота, выделяемая стояками системы горячего водоснабжения, используется для отопления квартир. Однако летом теплопоступления от стояков горячего водоснабжения являются бесполезными потерями теплоты. Так, каждый год летом с 1000 квартир такие потери теплоты составляют 1100 ГДж.

В целом годовой экономический эффект от изоляции стояков систем горячего водоснабжения очень велик. Эффективность применения изоляции стояков настолько велика, что целесообразно выполнить изоляцию стояков действующих систем. Для производства изоляционных работ не требуются исполнители высокой квалификации; это вполне может быть осуществлено в короткие сроки силами службы эксплуатации.

4.5 Системы отопления

Конструктивно системы водяного отопления могут выполняться по разнообразным схемам. Так, подающие магистральные трубопроводы для распределения нагретой воды могут трассироваться в верхней или в нижней части здания, выполняться с попутным движением воды либо тупиковыми. От магистральных трубопроводов вода может подаваться к нагревательным приборам по одной или двум трубам (так называемые однотрубные и двухтрубные системы). Подводящие трубопроводы к нагревательным приборам могут трассироваться горизонтально или вертикально. Исходя из приведенной классификации, устройство водяного отопления возможно по весьма разнообразным схемам, которые приводятся в специальной литературе.

Наибольший интерес для нас представляет такое исполнение схемы отопления, которое позволяет регулировать поступление тепла к каждому отопительному прибору. Эти отопительные системы являются более гибкими и создают условия для энергосбережения. В рамках данного издания невозможно привести описание всех схем отопления, поэтому для иллюстрации возможностей регулирования подачи теплоносителя к нагревательным приборам приведем только две [19].

Если рассмотреть приведенную на рисунке 4.10 схему однотрубной системы отопления с замыкающими участками, то станет очевидно, что попытка регулирования подачи теплоносителя (горячей воды) на любом из радиаторов неизбежно приведет к нарушению баланса в системе. Произойдет также уменьшение подачи тепла в другие нагревательные приборы, смонтированные на том же стояке, и увеличение подачи теплоты в нагревательные приборы, присоединенные к другим стоякам. По этим причинам регулирование подачи теплоты самими потребителями невозможно.

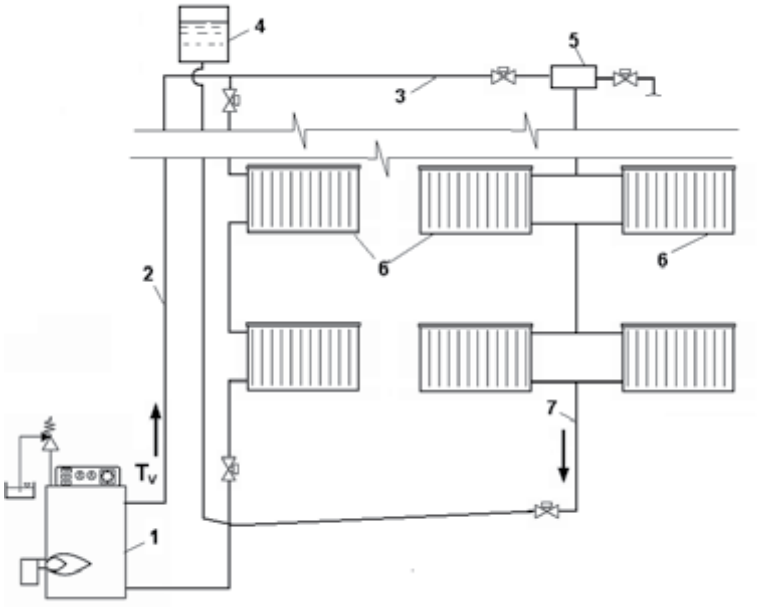


Рис. 4.10 Однотрубная система водяного отопления с замыкающими участками [19]:
1 – отопительный котел; 2 – главный стояк; 3 – разводящий магистральный трубопровод; 4 – «расширительный бак» 5 – воздухоотводчик; 6 – нагревательные приборы (радиаторы); 7 – обратная линия.

На рис. 4.11 приведена схема системы отопления, где регулирование подачи к отдельным нагревательным приборам не вызывает каких-либо затруднений с эксплуатацией всей системы в целом. В данном случае нагретая вода подается по отдельным стоякам, отводимая от радиаторов вода идет по другим трубопроводам. Такое исполнение называется двухтрубной системой. Простейший способ регулирования в данной системе – это установка вентилей на отводах от подающего трубопровода к радиаторам. За счет изменения степени открытия запорной арматуры (вентилей) меняется расход теплоносителя через отопительный прибор.

Кроме различного исполнения подвода нагретой воды к нагревательным приборам системы отопления могут отличаться естественной и принудительной циркуляцией теплоносителя. При естественной циркуляции вода нагревается в котле до температуры T_V = 90 °С и подается по трубам к нагревательным приборам, а от них вода отводится с температурой T_R = 70 °С.

Движение воды вверх, а затем вниз по трубопроводам осуществляется за счет меньшей плотности нагретой воды по сравнению с остывшей (рис. 4.12).

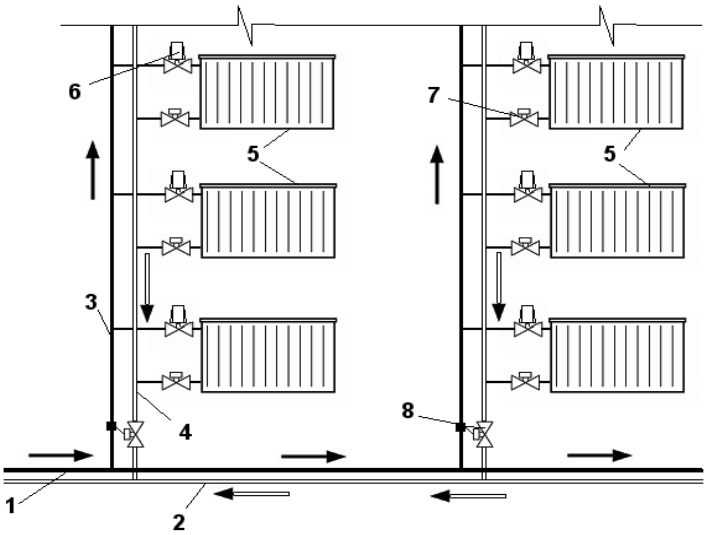


Рис. 4.11 Пример исполнения двухтрубной регулируемой системы водяного отопления [19]:
1 – магистральный трубопровод нагретой воды; 2 – обратный магистральный трубопровод; 3 – стояк нагретой воды; 4 – стояк для отвода воды (обратный); 5 – нагревательные приборы (радиаторы); 6 – обратная линия; 7 – клапан термостатический; 8 – регулятор перепада давления и расхода.

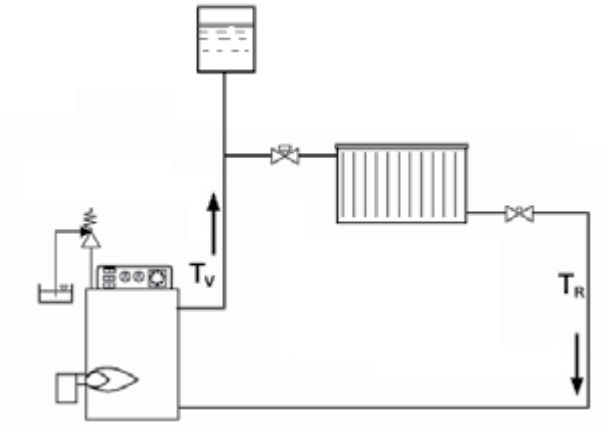


Рис. 4.12 Отопительная система с естественной циркуляцией [19]

Для обеспечения достаточных скоростей циркуляции трубопроводы должны иметь значительные диаметры, а высота здания не должна быть чрезмерной. Такие отопительные системы, как правило, применяются в зданиях высотой до 2-х этажей. Кроме того, возможности по регулированию расхода теплоносителя в трубопроводах также очень ограничены. По этим причинам данные системы отопления вытесняются более совершенными с принудительной циркуляцией воды за счет использования насосов (рис. 4.13).

В системах с принудительной циркуляцией движение теплоносителя обеспечивается центробежными насосами, которые монтируются на обратном магистральном трубопроводе перед водонагревателем или котлом или на подающем трубопроводе. Вследствие использования насоса скорость циркуляции воды значительно выше, чем в конвективной системе, поэтому диаметры труб значительно меньшие, что снижает материалоемкость системы. Также использование принудительной циркуляции позволяет снизить температуру подаваемого теплоносителя с 90 °С до 70 °С, а в обратном трубопроводе до 55 °С, что

увеличивает эффективность использования теплоты. Еще один аспект связан с возможностью регулирования подачи теплоты в системе. В циркуляционной системе вместе с использованием термостатов регулирование подачи теплоты может осуществляться и изменением подачи насоса. Циркуляционные насосы систем отопления могут потреблять значительное количество энергии.

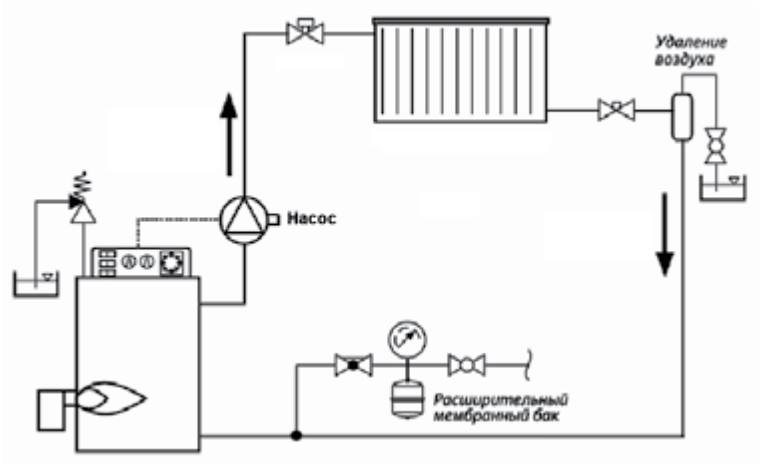


Рис. 4.13 Отопительная система с принудительной циркуляцией [19]

Показателем энергетической эффективности систем отопления служит величина удельного расхода энергии на отопление. Определение этой величины дано в следующем разделе.

4.6 Системы вентиляции

Вентиляционная система – это совокупность устройств для обработки, транспортирования, подачи и удаления воздуха. Системы вентиляции можно классифицировать [25] в зависимости от их функционального назначения и принципиальных конструктивных особенностей.

1) По назначению системы вентиляции делятся на приточные и вытяжные. Фактически это есть деление по направлению движения перемещаемого воздуха: приточные системы подают воздух в помещение, а вытяжные удаляют воздух из него.

Приведенное деление достаточно условно, так как кроме чисто приточных и вытяжных систем, которые являются прямоточными, существуют смешанные с рециркуляцией воздуха, которые фактически являются приточновытяжными. Чисто рециркуляционная система, работающая при 100% рециркуляции, не подает и не удаляет воздух из помещения — она просто обеспечивает циркуляцию внутреннего воздуха. Тем не менее, ее относят к приточному или вытяжному типу в зависимости от того, подает или удаляет она воздух от обслуживаемого оборудования или зоны.

2) По обслуживаемой зоне системы вентиляции делятся на общеобменные и местные.

Общеобменные системы вентиляции (как приточные, так и вытяжные) обслуживают весь объем помещения, а иногда и нескольких помещений. В отличие от них местные приточные предназначены для обслуживания лишь небольшой зоны помещения (воздушное душирование, воздушные оазисы), а местные вытяжные предназначены для удаления воздуха от конкретного оборудования для удаления выделяющихся в нем вредностей. Местные системы активно применяются в промышленных зданиях, где есть отдельные единицы оборудования и отдельные обслуживаемые рабочие зоны на большой площади цехов. В общественных зданиях используются практически только общеобменные системы вентиляции.

3) По способу побуждения движения воздуха системы вентиляции делятся на системы с механическим побуждением и с естественным побуждением. Естественное побуждение – это воздействие естественных сил: гравитации (естественное гравитационное давление, создаваемое за счет разности температур и плотностей наружного и внутреннего воздуха) и ветра. Механическое побуждение создается обычно вентиляторами.

4) По наличию воздуховодов системы вентиляции делятся на канальные и бесканальные. Бесканальные системы не имеют воздуховодов для транспортирования воздуха. Типичным примером является открытое окно для притока свежего воздуха. Отсутствие воздуховодов снижает стоимость систем.

Канальные могут обслуживать удаленные помещения, расположенные в любой точке здания. Возможна рассредоточенная подача воздуха в помещение через несколько воздухораспределителей. Оборудование канальных систем может быть расположено на расстоянии от обслуживаемых помещений в удобном месте.

В зависимости от конкретных условий следует выбирать такой тип системы, при котором обеспечивалось бы выполнение поставленных задач при минимальных затратах. Часто помещения, особенно производственные, обслуживаются несколькими системами одновременно. На рис. 4.14 приведено несколько вариантов системы вентиляции с указанием их описание в соответствии с вышеприведенной классификацией.

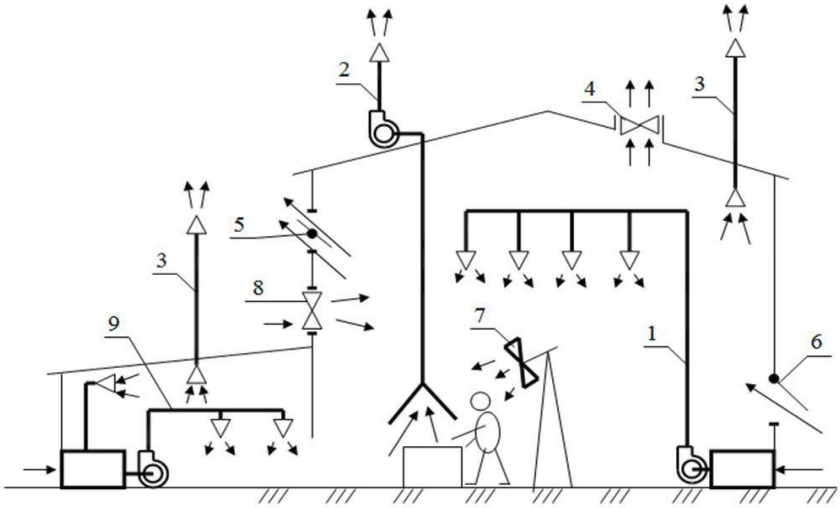


Рис. 4.14. Варианты систем вентиляции.

[ООО Компания «Ксирон-Холод» Электронный ресурс http://www.xiron.ru/content/view/30255/28/]

Приточная прямоточная общеобменная канальная система с механическим побуждением движения воздуха;

Вытяжная местная канальная система с механическим побуждением движения воздуха;

Вытяжная общеобменная канальная с естественным побуждением движения воздуха;

Вытяжная общеобменная бесканальная с механическим побуждением движения воздуха;

Вытяжная общеобменная бесканальная с естественным побуждением движения воздуха;

Приточная общеобменная бесканальная система с естественным побуждением движения воздуха;

Приточная местная бесканальная с механическим побуждением движения воздуха и 100% рециркуляцией.

Приточная прямоточная общеобменная бесканальная система с механическим побуждением движения воздуха;

Приточная общеобменная канальная с механическим побуждением движения воздуха и частичной рециркуляцией.

Основной целью процесса вентиляции является повышение качества внутреннего воздуха путем замены воздуха в помещении. Кроме того, процесс вентиляции часто используется для поддержания определенной температуры в зоне обслуживания. На эти параметры оказывает воздействие не только расход вентиляционного воздуха, но и в большой степени структура потока воздуха в помещении.

Обеспечение необходимого расхода кондиционированного воздуха и эффективное распределение воздуха в вентилируемом помещении являются существенными требованиями для создания комфортных условий, удаления загрязняющих веществ и сокращения первоначальной стоимости и эксплуатационных расходов системы кондиционирования воздуха и вентиляции.

Степень выполнения системой вентиляции предъявляемых к ней требований рассматривается на основе многих показателей.

Эти показатели можно разделить на группы:

А. *Показатели, определяющие способность системы вентиляции заменять воздух в помещении.*

А.1. *Показатель эффективности воздухообмена* ε^a.

А.2. *Показатель локального воздухообмена* ε_p^a.

Б. *Показатели, определяющие способность системы вентиляции удалять присутствующие в воздухе загрязняющие вещества.*

Б.1. *Показатель эффективности удаления загрязняющих веществ (CRE)* ε^c.

Б.2. *Показатель локального качества воздуха* ε_p^c.

Какие показатели выбирать для оценок – зависит от конкретных целей системы вентиляции. Показатели эффективности воздухообмена группы А могут применяться в случаях отсутствия или недостатка информации об источниках загрязнений, в то время как показатели группы Б могут использоваться при наличии детальной информации об источниках загрязнений.

Энергетическая эффективность систем вытяжной вентиляции достаточно корректно определяется фактором SFP (см. п. 4.3). Энергетическая эффективность системы приточной вентиляции круглогодового действия будет определяться годовым расходом энергии, или её удельной величиной. Определение годового расхода энергии системой вентиляции рассматривается в п.5.5.1.

4.7 Системы кондиционирования

Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, называемых **системой кондиционирования воздуха (СКВ)**. В состав СКВ входят технические средства забора свежего воздуха, его подготовки, т.е. придания необходимых кондиций (фильтры, теплообменники, увлажнители и осушители воздуха), перемещения (вентиляторы) и его распределения, а также средства холодо- и теплоснабжения, автоматики, дистанционного управления и контроля. СКВ больших общественных, административных и производственных зданий обслуживаются, как правило, комплексными автоматизированными системами. В

последнее время эти системы подключаются к общей автоматизированной системе управления инженерным оборудованием здания, так называемую, систему **BMS — Bilding Management System**.

Таким образом, **СКВ** – это совокупность объектов, включающих технологические и технические средства и агрегаты обработки воздуха, которая обеспечивает поддержание в кондиционируемом помещении заданных параметров микроклимата.

По основному назначению СКВ подразделяются на комфортные и технологические.

Комфортные СКВ предназначены для создания и автоматического поддержания температуры, относительной влажности, чистоты и скорости движения воздуха, отвечающих оптимальным требованиям для жилых, общественных и административно-бытовых зданий или помещений.

Технологические СКВ предназначены для обеспечения параметров воздуха в максимальной степени отвечающих требованиям производства и (или) требованиям производителя технологического оборудования, тепловыделения которого должна ассимилировать СКВ. При этом технологическое кондиционирование в помещениях, где находятся люди, осуществляется с учетом санитарно-гигиенических требований к состоянию воздушной среды.

Местные СКВ разрабатывают на базе автономных и неавтономных кондиционеров, которые устанавливают непосредственно в обслуживаемых помещениях.

СКВ, в отличие от приточновытяжной вентиляции, обеспечивает не только необходимую смену воздуха в помещении, но и автоматически поддерживает заданные условия в нем не зависимо от внешних климатических

факторов и внутреннего режима работы в помещении. В СКВ входит оборудование для необходимых процессов обработки приточного воздуха (очистка, нагревание и охлаждение, увлажнение и осушение) и его подачи, а также источники тепло и холодоснабжения, насосы и трубы для перемещения тепло- и холодоносителя, устройства для распределения воздуха, местные доводчики (подогреватели, охладители, увлажнители) и средства автоматического регулирования, дистанционного управления и контроля (рис.4.15).

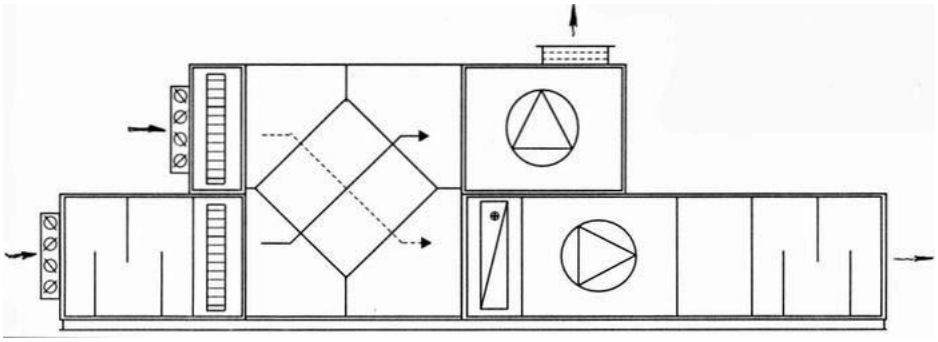


Рис. 4.15 Приточно-вытяжная установка с рекуперативным пластинчатым теплообменником и шумоглушителями на входе и выходе воздуха

[Певной П. Современное здание. Инженерные системы. 2006г. -82с.]

Основное оборудование для приготовления и перемещения воздуха обычно агрегируется в аппарат, установку, называемую центральным или местным кондиционером. Центральный кондиционер обслуживает несколько помещений, в которые воздух подается по сети воздуховодов. Местный кондиционер обслуживает только то помещение, в котором он устанавливается (рис.4.16).

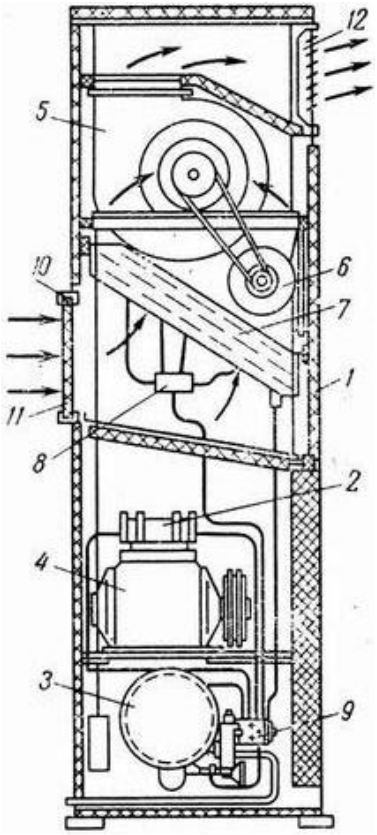


Рис. 4.16 Местный автономный кондиционер:

1 - корпус с теплозвуковой изоляцией; 2 - компрессор; 3 - конденсатор; 4 - электродвигатель компрессора; 5 - центробежный вентилятор; 6 - электродвигатель вентилятора; 7 - спиральноленточный калорифер; 8 - разводка хладагента; 9 - четырехходовой кран; 10 - воздухозаборная решетка; 11 - ячейка масляного воздушного фильтра; 12 - приточная решетка

[Певной П. Современное здание. Инженерные системы. 2006г. -82с.]

СКВ также могут быть прямоточными и с рециркуляцией. Прямоточные системы, как правило, применяют для помещений, в которых, во-первых, требуется подача относительно одинакового количества приточного воздуха в течение всего года, во-вторых, выделяются вредные вещества, вещества взрывоопасные и пожароопасные, а также содержатся резко выраженные неприятные запахи. Рециркуляционные СКВ применяют для помещений, в которых определяющими являются не вредные вещества, а теплоизбытки и влаговыделения, переменные в течение суток, года. СКВ с полной рециркуляцией возможны в помещениях с тепло и влаговыделяющим оборудованием, в которых люди могут находиться кратковременно. Кроме того, находят применение центральные установки приточно-вытяжной вентиляции и СКВ с теплоутилизаторами. Обычно системы кондиционирования воздуха (СКВ) выполняются центральными или местными. В центральных СКВ процесс воздухоподготовки осуществляется в одном агрегате – кондиционере, а подготовленный воздух по системе воздуховодов разводится в несколько кондиционируемых помещений (объектов). В местных СКВ кондиционер располагается непосредственно на местах в каждом помещении.

Принципиальная схема центрального кондиционера, выпускаемого промышленностью, показана на рис. 4.17. Наружный воздух, засасываемый вентилятором 8, поступает в кондиционер через воздухозаборное устройство 1, очищается в фильтре 3, охлаждается и осушается в оросительной камере 6 и затем нагнетается в помещение. При необходимости воздух может быть подогрет в калорифере второго подогревателя. Из помещения воздух

вытяжным вентилятором удаляется в атмосферу. На вытяжном воздуховоде, если это требуется по акустическому расчету, устанавливается шумоглушитель 10.

В холодный период года наружный воздух подогревается в калориферах первого подогрева 5, увлажняется (и охлаждается) в оросительной камере, работающей в это время на рециркуляционной воде, и затем догревается до нужной температуры в калориферах второго подогрева.

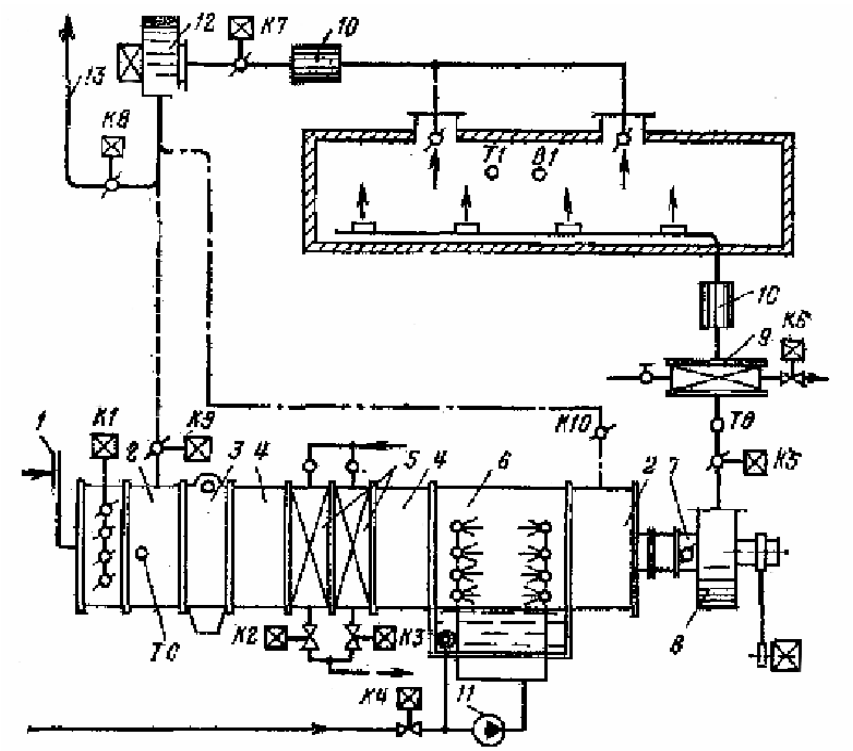


Рис. 4.17 Схема центрального кондиционера

[М.Н. Новиков, А.В. Шаповалов, А.В. Овсянник / КУРС ЛЕКЦИЙ ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»/Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого/2011 год]

1 – воздухозаборное устройство; 2 – смесительная камера; 3 – фильтр; 4 – камера обслуживания; 5 – секции калориферов первого подогрева; 6 – оросительная камера; 7 – направляющий аппарат; 8 – приточный вентилятор; 9 – секции калориферов второго подогрева; 10 – шумоглушители; 11 – насос; 12 – вытяжной вентилятор; 13 – воздуховод; К – клапан; Т – терморегулятор; В – влагорегулятор; первый и второй рециркуляционные каналы – соответственно штриховая и штрихпунктирная линии.

При проектировании установок систем кондиционирования или при их подборе из числа серийно выпускаемых промышленностью требуется составление тепловлажностных балансов, в которых должны быть учтены все факторы, оказывающие влияние на изменение состояния приточного воздуха при его транспортировке от кондиционера до помещения [25].

На основе баланса теплоты и влаги определяют тепловую нагрузку для зимнего периода и потребную холодопроизводительность для летнего. В соответствии с этими величинами определяют потребный расход приточного воздуха с учетом допускаемых санитарно-гигиеническими нормами перепадов температур Δt. На основе этого находят необходимые мощности тепло- и холодоприготавляющих установок системы кондиционирования.

Поскольку существенную долю в энергопотреблении развитых стран составляют системы кондиционирования и вентиляции, предпринят ряд международных мер по регулированию показателей энергоэффективности применяемой в этих странах климатической техники.

Энергоэффективность систем кондиционирования определяется холодильным коэффициентом: отношением холодопроизводительности к затраченной мощности и тепловым коэффициентом (для «тепловых насосов», работающих на охлаждение и обогрев). Чем выше эти коэффициенты, тем энергетически более эффективна система.

До недавних пор основными показателями энергоэффективности являлись коэффициенты EER (для режима обогрева) и COP (для режима охлаждения), которые характеризовали работу системы при установленных номинальных условиях: по температуре и влажности наружного воздуха, заданной температуре и влажности в помещении, максимальной скорости вентилятора). Для бытовых кондиционеров согласно ISO 5151 такими условиями были:

-в режиме обогрева — температура в помещении DB 20° C (температура по сухому термометру), — температура снаружи DB 7° C, WB 6° C (температура по влажному термометру);

- в режиме охлаждения — температура в помещении DB 27° C, WB 19° C, — температура снаружи DB 35° C, WB 24° C. Значения коэффициентов энергоэффективности разделены на 7 классов, от класса A, соответствующего наибольшей эффективности, до класса G — наименьшей (см. табл. 4.5). Класс A может быть расширен до A+, A++, A+++ при появлении систем с показателями, значительно превышающими уровень A класса. Обозначению классов для наглядного графического представления придана различная расцветка.

Таким образом параметры EER и COP являются «мгновенными» и соответствуют одной точке в области энергоэффективности аппарата.

Таблица 4.5 Класс энергетической эффективности кондиционеров

Класс	A	B	C	D	E	F	G
ERR	>3.2	3.0-3.2	2.8-3.0	2.6-2.8	2.4-2.6	2.2-2.4	<2.2
COP	>3.6	3.4-3.6	3.2-3.4	2.8-3.2	2.6-2.8	2.4-2.6	<2.4

Дополнительно в специальной технической документации приводились таблицы производительности при иных условиях измерений и поправочные коэффициенты, учитывающие напор вентилятора, длину и перепад трасс. Однако, в большинстве случаев выбор кондиционера базировался на мгновенных значениях показателей производительности и коэффициентов энергоэффективности. Это однозначно вносило некорректность в результаты подбора оборудования, которую часто компенсировали выбором кондиционера заведомо большей мощности.

Совершенно не учитывался фактор неравномерности условий работы систем в течении всего сезона использования кондиционира в режимах его работы на обогрев и охлаждение.

Появление в ряде стран жёстких требований по энергосбережению привело к необходимости внедрения новых подходов к оценке энергоэффективности систем кондиционирования и вентиляции, выработке интегральных сезонных показателей энергоэффективности для всего годового периода использования климатических систем и нормирования этих показателей применительно к разным климатическим зонам.

Объективным обобщённым показателем энергоэффективности системы кондиционирования является значение, равное интегралу (площади) функции нагрузки, поделённой на длительность периода. Для упрощения расчётов принято четырёх ступенчатое осреднение этой

зависимости. Величины этих показателей являются сезонными коэффициентами энергоэффективности.

Расчет обобщённых показателей с четырёх ступенчатым осреднением производится по стандартной формуле:

Index = W1•EER (A1%, B1 °C) + W2•EER (A2%, B2 °C) + W3•EER (A3%, B3 °C)+W4•EER (A4%, B4 °C),

где Wi — относительная длительность i-го периода с загрузкой Ai% при температуре наружного воздуха или соответствующей температуре охлаждающей воды B°C. При этом сумма W1+W2+W3+W4 всегда равна 1.

Сезонные коэффициенты энергоэффективности разрабатывались национальными ведомствами применительно к характерным климатическим условиям, статистическим данным по нагрузкам системы кондиционирования в течении года, стоимости энергоносителей и преобладающему классу климатических систем.

В настоящее время известны следующие национальные сезонные показатели:

ESEER — Европейский сезонный показатель энергетической эффективности;

EMPE - Итальянский сезонный показатель энергетической эффективности;

IPLV — Американский интегральный показатель энергоэффективности при частичной нагрузке;

SEER - Американский сезонный показатель энергетической эффективности.

Показатели **ESEER, EMPE. IPLV** вычисляются по стандартной формуле, но имеют разные значения относительной длительности периода (Wi), нагрузки (Ai) и соответствующей температуры (Bi).

Так, например, показатель **ESEER** рассчитывается по формуле:

ESEER =0.03•EER (100%, 35°C)+0,33•EER (75%, 30°C)+0,41•EER (50%, 25°C)+0,23•EER (25%, 20°C).

с параметрами, приведёнными в таблице 4.6.

Способ определения SEER описан в стандарте ANSI/AHRI 210/240–2008.

Сезонным коэффициентам устанавливаются минимальные уровни и их выполнению придаётся государственное значение. Обозначение классов энергоэффективности для сезонных показателей аналогично принятому ранее для «мгновенных».

Таблица 4.6 К расчету показателя ESEER

Нагрузка, %	Температура наружного воздуха, °C	Температура охлаждающей воды, °C	Длительность периода при данной нагрузке, %
100	35	30	3
75	30	26	33
50	25	22	41
25	19	18	23

Учёт сезонных показателей становится обязательным как для производителей, так и для поставщиков этой техники. Их обозначение должно присутствовать на этикетках товаров. На рисунке 4.18 в качестве примера приведён вид этикетки для сплит-систем MSZ FH25VE/MUZ FH25VE производства ME, поставляемых в Европу. На этикетке указываются: изготовитель, модель кондиционера, энергопотребление, значения сезонных показателей энергоэффективности для регионов Евросоюза.

Выполнение требований энергоэффективности вынуждает производителей вносить существенные конструктивные изменения в выпускаемую технику, а поставщиков и заказчиков следовать определённым правилам оснащения объектов климатическими системами. Так, например, в Евросоюзе выработано требование к мультисистемам, обязывающее поставщиков и заказчиков такой техники обеспечивать не менее чем 100% нагрузку наружных блоков. С одной стороны, это способствует применению систем с меньшим количеством потенциально опасного фреона, с другой — энергосбережению, связанному с исключением крупных наружных блоков. Производители модернизировали системы кондиционирования и стали производить внутренние и наружные блоки промежуточных типоразмеров, с тем, чтобы выполнялись варианты 100% загрузки систем.

Предстоящие поставки кондиционерного оборудования главных мировых производителей в Россию будут сопровождаться подобными этикетками. И, несмотря на то, что в РФ в настоящее время не введены нормы по сезонным показателям энергоэффективности, представляется рациональным учитывать при выборе оборудования этот фактор.

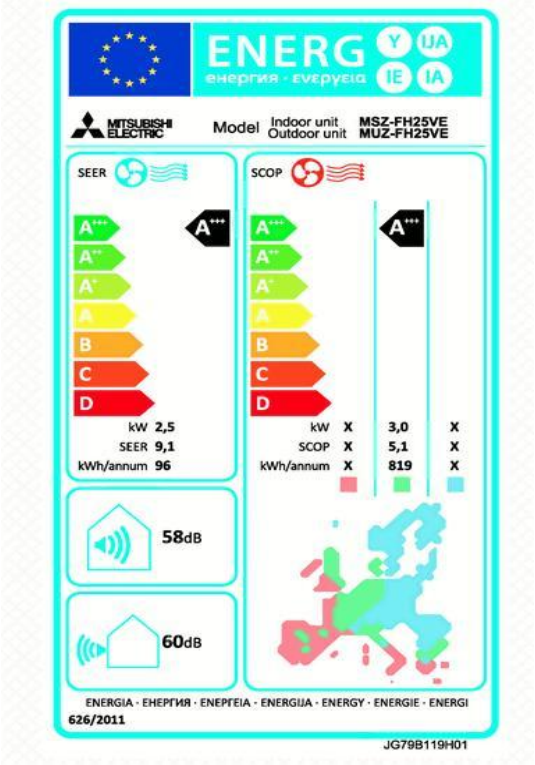


Рис. 4.18 Вид этикетки для кондиционеров сплит-систем

4.8 Системы теплоснабжения (ТС)

Системы теплоснабжения характеризуются сочетанием трех основных звеньев:

теплоисточников;

тепловых сетей;

местных систем теплоиспользования (теплопотребления) отдельных зданий или сооружений.

В *теплоисточниках* осуществляется получение теплоты за счет сжигания различных видов органического топлива *(котельные)* или теплоты, выделяемой при распаде радиоактивных элементов (*атомными станциями теплоснабжения*). В отдельных системах теплоснабжения используют в качестве вспомогательных возобновляемые источники теплоты – геотермальная энергия, энергия солнечного излучения и т.п.

Если теплоисточник расположен вместе с теплоприемником в одном здании, то это система *местного теплоснабжения*.

В системах *централизованного теплоснабжения* теплоисточники располагаются в отдельно стоящих зданиях, а транспорт теплоты от них осуществляется по трубопроводам тепловых сетей, к которым присоединены системы теплоиспользования отдельных зданий.

Масштабы систем централизованного теплоснабжения могут изменяться в широких пределах:

небольшие, обслуживающих несколько соседних зданий;

крупные, охватывающих ряд жилых или промышленных районов и даже город в целом.

Независимо от масштаба эти системы *по контингенту обслуживаемых потребителей подразделяются* на:

коммунальные;

промышленные;

общегородские.

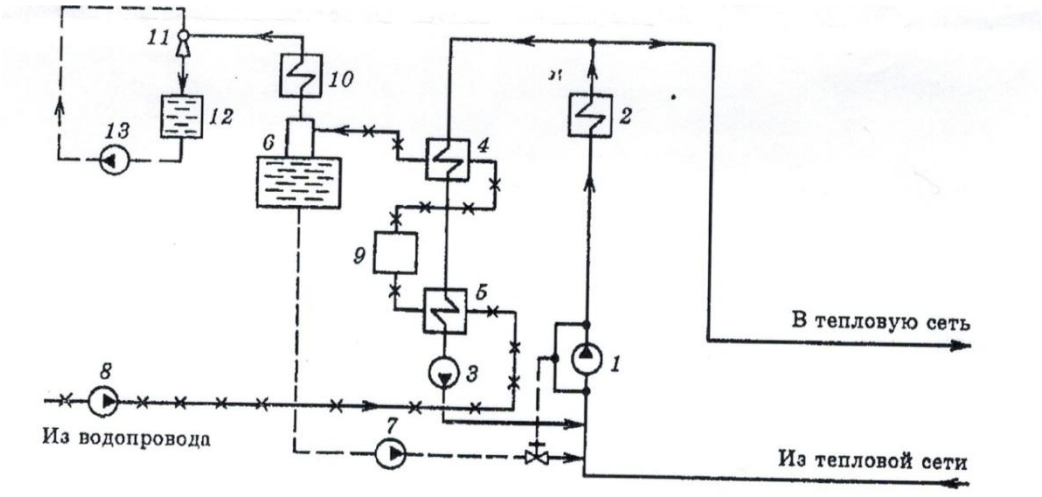
К коммунальным относятся системы, снабжающие теплотой в основном жилые и общественные здания, а также отдельные здания промышленного и коммунально-складского назначения, размещение которых в зоне городов допускается нормами. *Коммунальные системы*, в зависимости от численности населения на обслуживаемой территории, *делятся* на:

групповые;

микрорайонные;

районные.

Теплоисточники, обслуживающие эти системы, по одному на каждую систему, могут быть отнесены соответственно к категории *групповых, микрорайонных и районных* котельных.



1 – сетевой насос; *2* – водогрейный котел; *3* – сетевой насос; *4* – подогреватель химочищенной воды; *5* – подогреватель сырой воды; *6* – вакуумный деаэратор; *7* – подпиточный насос; *8* – насос сырой воды; *9* – химводоподготовка; *10* – охладитель выпара; *11* – водоструйный эжектор; *12* – расходный бак эжектора; *13* – эжекторный насос

Рис. 4.19 Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной.

[ОСНОВЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ Кафедра теплотехники и теплоэнергетики) Специальность: 140101.65/100500 – тепловые электрические станции, Направление подготовки бакалавра: 140100.52/550900 – теплоэнергетика, Санкт-Петербург, Издательство СЗТУ, 2008]

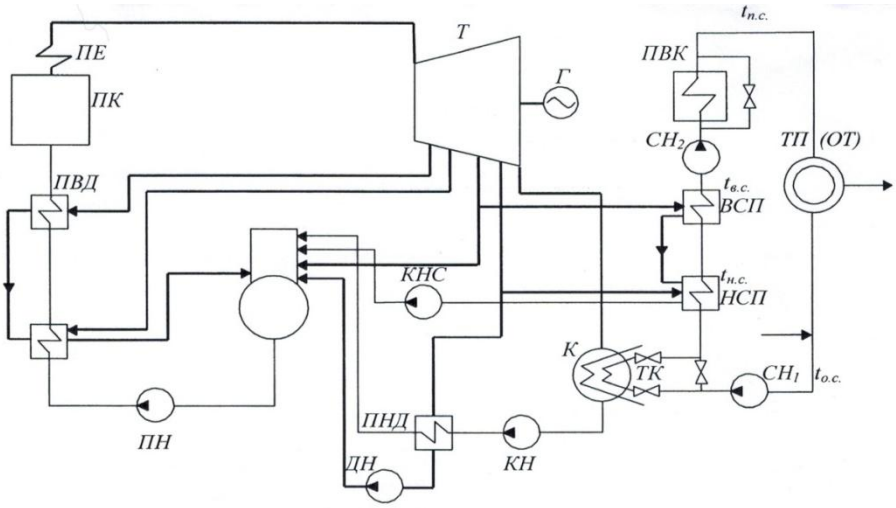
В крупных и крупнейших городах (с численностью населения соответственно 250 – 500 тыс. чел. и более 500 тыс. чел.) нормами предусматривается объединение нескольких смежных жилых районов в планировочные районы, ограниченные естественными или искусственными рубежами. В таких городах возможно появление наиболее крупных межрайонных систем коммунального теплоснабжения.

При больших масштабах выработки теплоты, в особенности в общегородских системах, является целесообразной совместная выработка теплоты и электроэнергии. Это обеспечивает существенную экономию топлива по сравнению с раздельной выработкой теплоты в котельных, а электроэнергии – на тепловых электростанциях за счет сжигания тех же видов топлива.

Тепловые электростанции, предназначенные для совместной выработки теплоты и электроэнергии, называются *теплоэлектроцентралями* (ТЭЦ).

Атомные электростанции, использующие теплоту, выделяемую при распаде радиоактивных элементов, для выработки электроэнергии, также иногда целесообразно использовать как теплоисточники в крупных системах теплоснабжения. Эти станции называются*атомными теплоэлектроцентралями* (АТЭЦ).

Системы централизованного теплоснабжения, использующие ТЭЦ в качестве основных теплоисточников, называются *теплофикационными*.



НСП и *ВСП* – сетевые подогреватели нижней и верхней ступени; *ПВК* – пиковый водогрейный котел; *ТК* – теплофикационный пучок конденсатора; $СН_1$ и $СН_2$ – сетевые насосы; *КНС* - конденсатный насос сетевых подогревателей; *ТП* потребитель теплоты; *К* – конденсатор; *КН* - конденсатный насос основного конденсата; *ДН* – дренажный насос; *ПН* – питательный насос; *ПНД, ПДВ* – подогреватель низкого и высокого давления; *ПК* – паровой котел; *ПЕ* - пароперегреватель; *Т* – турбина; *Г* - электрогенератор

Рис. 4.20 Принципиальная тепловая схема ТЭЦ.

[ОСНОВЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ Кафедра теплотехники и теплоэнергетики) Специальность: 140101.65/100500 – тепловые электрические станции, Направление подготовки бакалавра: 140100.52/550900 – теплоэнергетика, Санкт-Петербург, Издательство СЗТУ,2008]

Общая характеристика тепловых сетей

Тепловые сети могут быть классифицированы *по виду используемого в них теплоносителя*, а также *по его расчетным параметрам* (давлениям и температурам). Практически единственными теплоносителями в тепловых сетях являются горячая вода и водяной пар.

Водяной пар как теплоноситель применяется в теплоисточниках (котельных, ТЭЦ и в системах теплоиспользования (промышленных)).

Коммунальные системы теплоснабжения оборудуются водяными тепловыми сетями.

Промышленные и *общегородские* – либо только паровыми, либо паровыми в сочетании с водяными (используемыми для покрытия нагрузок систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения).

Водяные тепловые сети выполняются:

1. однотрубными, состоящие только из подающих трубопроводов. По капитальным вложениям в их сооружение являются наиболее экономичными;

2. двухтрубными, состоят изподающих и обратных трубопроводов;

3. трех- и *четырехтрубные*. /Такое увеличение количества труб, обычно предусматриваемое лишь на отдельных участках сетей, связано с удвоением либо только подающих (трехтрубные системы), либо как подающих, так и обратных (четырехтрубные системы) трубопроводов для раздельного присоединения к соответствующим трубопроводам систем горячего водоснабжения или систем отопления и вентиляции. Такое разделение существенно облегчает регулирование отпуска теплоты в системы различного назначения, но вместе с тем приводит к значительному увеличению капитальных вложений в сети./

Водяные тепловые сети большей частью выполняются *двухтрубными* (подающие и обратные трубопроводы). Подающие и обратные трубопроводы водяных тепловых сетей вместе с соответствующими трубопроводами теплоисточников и систем теплоиспользования образуют *замкнутые контуры циркуляции воды*. Циркуляция поддерживается сетевыми насосами, устанавливаемыми в теплоисточниках, а при больших дальностях транспорта воды – также и на трассе сетей (насосные станции).

В зависимости от принятой схемы присоединения к сетям систем горячего водоснабжения различают *закрытые* и *открытыесхемы* (чаще применяются термины «закрытая и открытая системы теплоснабжения»). В закрытых системах отпуск теплоты из сетей в системе горячего водоснабжения осуществляется за счет подогрева холодной водопроводной воды в специальных водонагревателях. В открытых системах покрытие нагрузок горячего водоснабжения осуществляется за счет подачи потребителям воды из подающих трубопроводов сетей, а в течение отопительного периода – в смеси с водой из обратных трубопроводов систем отопления и вентиляции.

Если при всех режимах для горячего водоснабжения может быть использована полностью вода из обратных трубопроводов, то отпадает надобность в обратных трубопроводах от тепловых пунктов до теплоисточника. Соблюдение этих условий, как правило, возможно только при совместной работе нескольких теплоисточников на общие тепловые сети с возложением покрытия нагрузок горячего водоснабжения на часть этих источников.

Подпитка тепловых сетей в закрытых и открытых системах осуществляется за счет работы подпиточных насосов и установок по подготовке подпиточной воды. В открытой системе их требуемая производительность в 10 – 30 раз больше, чем в закрытой.

В результате при открытой системе большими оказываются капиталовложения в теплоисточники. Вместе с тем в этом случае отпадает необходимость в подогревателях водопроводной воды, а потому существенно снижаются затраты на узлы присоединения систем

горячего водоснабжения к тепловым сетям. Таким образом, выбор между открытой и закрытой системами в каждом случае должен обосновываться технико-экономическими расчетами с учетом всех звеньев системы централизованного теплоснабжения. Такие расчеты следует выполнять при разработке схемы теплоснабжения населенного пункта, т.е. до проектирования соответствующих теплоисточников и их тепловых сетей.

В крупных системах централизованного теплоснабжения возникает потребность в разделении водяных тепловых сетей на несколько *категорий*, в каждой из которых могут применятся собственные схемы отпуска и транспорта теплоты.

В нормах предусматривается подразделение тепловых сетей на *три категории:*

1) *магистральные* - от теплоисточников до вводов в микрорайоны (кварталы) или предприятия;

2) *распределительные* - от магистральных сетей до сетей к отдельным зданиям;

3) *сети к отдельным зданиям в виде ответвлений от распределительных* (или в отдельных случаях от магистральных) сетей до узлов присоединения к ним систем теплоиспользования отдельных зданий.

Крупные теплоисточники районных и межрайонных систем централизованного теплоснабжения согласно норм должны размещаться за пределами селитебной зоны в целях сокращения влияния их выбросов на состояние воздушного бассейна этой зоны, а также упрощения систем подачи к ним топлива.

В таких случаях появляются начальные (головные) участки магистральных сетей значительной протяженности, в пределах которых отсутствуют узлы присоединения распределительных сетей. Такой транспорт теплоносителя без попутной раздачи его потребителям называется транзитом, при этом соответствующие головные участки магистральных тепловых сетей целесообразно выделить в особую категорию транзитных сетей.

Наличие транзитных сетей существенно ухудшает технико-экономические показатели транспорта теплоносителя.

Тепловые сети *по способу прокладки* делятся:

1) *подземные*;

2) *надземные* (воздушные).

Подземная прокладка трубопроводов тепловых сетей выполняется:

1) в каналах непроходного и полупроходного поперечного сечения;

2) в туннелях (проходных каналах) высотой 2 м и более;

3) в общих коллекторах для совместной прокладки трубопроводов и кабелей различного назначения;

4) во внутриквартальных коллекторах;

5) в технических подпольях и коридорах;

6) бесканально (засыпная, сборная, литая и монолитная прокладка).

Надземная прокладка трубопроводов выполняется:

1) на отдельно стоящих мачтах или низких опорах;

2) на эстакадах со сплошным пролетным строением;

3) на мачтах с подвеской труб на тягах (вантовая конструкция);

4) на кронштейнах.

Выбор способа и конструкции прокладки трубопроводов обуславливается следующими основными факторами:

диаметр трубопроводов;

требования эксплуатационной надежности теплопроводов;

экономичность конструкции;

способ выполнения строительства.

Общая характеристика тепловых пунктов

На тепловых пунктах [23] осуществляется:

контроль и управление работы тепловых сетей и систем теплоиспользования;

измерение параметров теплоносителя – давлений, температур, а иногда и расходов;

регулирование отпуска теплоты на различных уровнях.

Тепловые пункты классифицируют:

местные тепловые пункты (МТП), обслуживающие системы теплоиспользования отдельных зданий;

групповые или микрорайонные тепловые пункты (ГТП), обслуживающие группу жилых зданий или все здания в пределах микрорайона;

районные тепловые пункты (РТП), обслуживающие все здания в пределах жилого района.

Различаются следующие схемы присоединения систем отопления:

зависимая - с непосредственным присоединением системы отопления к тепловой сети (сетевая вода непосредственно поступает в абонентские приборы);

независимая - с присоединением системы отопления к тепловой сети через водо-водяной теплообменник.

По схемам присоединения подогревателей горячего водоснабжения различаются:

параллельная одноступенчатая;

двухступенчатая (смешанная или последовательная).

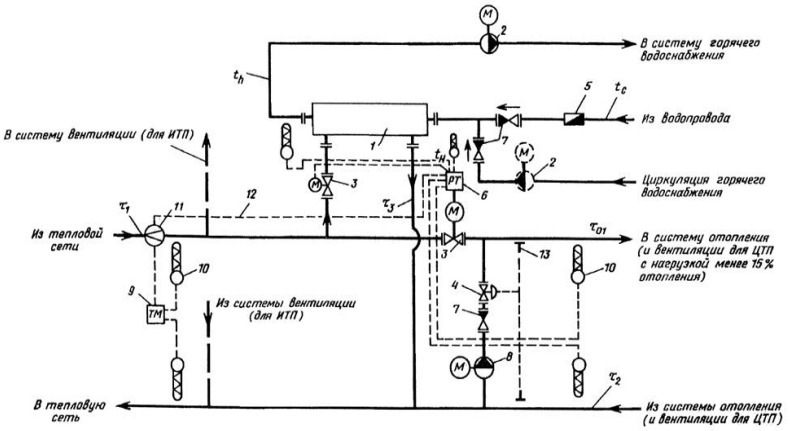


Рис. 4.21 Параллельная система присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с автоматическим регулированием расхода теплоты на отопление и зависимым присоединением систем отопления

1 - водоподогреватель горячего водоснабжения; 2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос); 3 - регулирующий клапан с электроприводом; 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия); 5 - водомер для холодной воды; 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод; 7 - обратный клапан; 8 - корректирующий подмешивающий насос; 9 - теплосчетчик; 10 - датчик температуры;

11 – датчик расхода воды; 12 - сигнал ограничения максимального расхода воды из тепловой сети на ввод; 13 - датчик давления воды в трубопроводе

[СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов.]

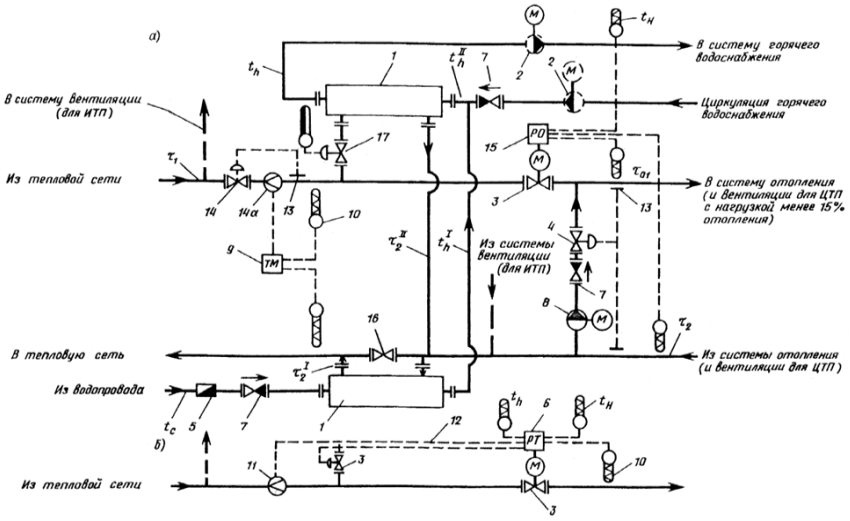


Рис. 4.22. Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения для жилых и общественных зданий и жилых микрорайонов с зависимым присоединением систем отопления в ЦТП и ИТП

а - схема с самостоятельным регулятором ограничения расхода сетевой воды на ввод; б - фрагмент схемы с совмещением функций регулирования расхода теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения расхода сетевой воды в одном регуляторе 1-13 - см. пред. рис. 4.23 ; 14 - регулятор ограничения максимального расхода воды на ввод (прямого действия); 14а - датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма); 15 - регулятор подачи теплоты на отопление; 16 - задвижка, нормально закрытая; 17 - регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия)

[СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов.]

В зависимости от принятой схемы присоединения к сетям систем горячего водоснабжения различают:

закрытые;

открытыесхемы.

Необходимость учета энергетических ресурсов

Назначение учета:

Учет тепловой энергии позволяет создать основу для внедрения энергосберегающих мероприятий и энергоэффективных технологий на промышленных предприятиях.

Учет энергетических ресурсов позволяет оценить экономический эффект от внедрения энергосберегающих мероприятий и от перехода на технологические процессы с малой энергоемкостью.

Сама по себе установка приборов учета не является энергосберегающим мероприятием, однако ее осуществление часто позволяет очень существенно снизить энергопотребление у потребителей.

У крупных потребителей энергоресурсов, имеющих в своем составе много различных энергопотребляющих установок, целесообразно осуществлять учет расхода энергии в режиме реального времени с помощью современных информационно-измерительных систем. Для этого приборы учета могут быть объединены в единую информационную сеть, входящую в автоматизированную систему учета и контроля энергоресурсов. Методы и технические средства, применяемые для учета энергетических ресурсов, во многом определяются видом этих ресурсов.

Следует обратить внимание на то, что кроме учета топлива, тепловой и электрической энергии большое значение имеет и учет количества потребленного или утерянного потребителем теплоносителя (пара или горячей воды). Помимо того, что потребляемый теплоноситель несет определенное количество тепловой энергии, он имеет и собственную стоимость, которая в настоящее время достаточно высока и постоянно растет.

Основные понятия и определения по учету тепловой энергии

Энергоснабжающая организация – это юридическое лицо, которому принадлежит источник теплоты.

Тепловые сети – это совокупность трубопроводов и устройств, предназначенных для передачи тепловой энергии.

Потребитель тепловой энергии – это установки, использующие теплоту для отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, кондиционирования воздуха и технологических функций.

Система потребления – это комплекс потребляющих установок с соединяющими трубопроводами или тепловыми сетями.

Узел учета и регистрации отпуска и потребления тепловой энергии (узел учета) – это комплекс приборов и устройств, обеспечивающих учет тепловой энергии, массы и объема теплоносителя и контроль и регистрацию его параметров.

Виды приборов учета тепловой энергии и теплоносителя

Приборами учета тепловой энергии называют приборы, выполняющие одну или несколько следующих функций:

Измерение;

Накопление;

Хранение;

Отображение информации о количестве тепловой энергии, массе или объеме, расходе, температуре, давлении теплоносителя и времени работы прибора.

К приборам учета тепловой энергии относят:

Преобразователи температуры – это приборы для измерения температуры теплоносителя или разности температур в подающем и обратном трубопроводе.

Преобразователи давления – приборы для измерения давления теплоносителя.

Водосчетчики (расходомеры) – приборы для измерения массы (объема) воды протекающей в трубопроводе через сечение перпендикулярное направлению скорости потока.

Счетчики пара – приборы для измерения массы пара протекающего в трубопроводе через сечение перпендикулярному направлению потока.

Теплосчетчики – приборы или комплексы приборов для определения количества теплоты и измерения массы и параметров теплоносителя. Основной частью теплосчетчика является тепловычислитель.

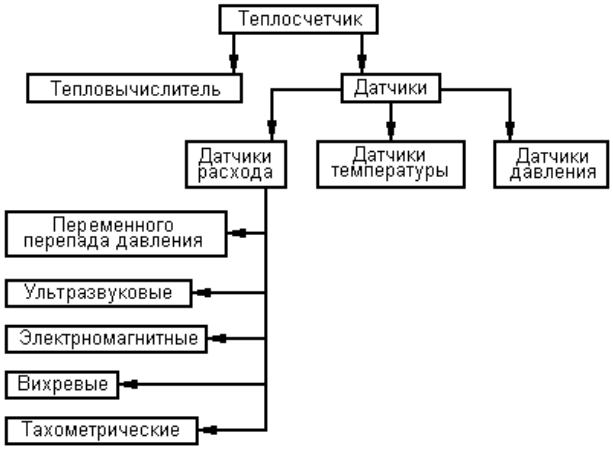


Рис. 4.23. Состав теплосчетчика [30]

Тепловычислитель – это устройство для расчета количества теплоты на основе входной информации и давлений теплоносителя. Большинство тепловычислителей производят архивирование измеренных и вычисленных данных о тепловой энергии, количестве и параметрах теплоносителя. Архивируются среднечасовые, среднесуточные, а иногда и среднемесячные параметры. Архивные данные, как правило, сохраняются в электронной памяти при отключении питания прибора. Это обеспечивает независимый встроенный источник питания – литиевая батарея, которая обеспечивает также работу встроенных часов. Последние позволяют определить, сколько времени прибор находился в эксплуатации, а также время, которое он находился в рабочем состоянии.

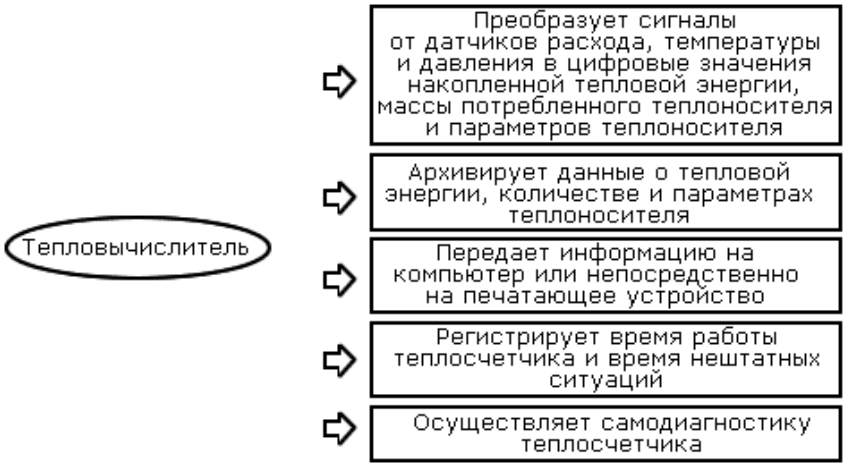


Рис. 4.24 Функции, выполняемые тепловычислителем [30]

По показаниям тепловычислителя можно определить имели ли место нарушения договора между энергоснабжающей организацией и потребителем теплоты за расчетный период времени.

Для измерения расхода теплоносителя наиболее широкое распространение получили 4 вида расходомеров:

Расходомер с сужающимися устройствами. Датчики расхода с сужающими устройствами или датчики расхода переменного перепада давления используют зависимость перепада давления на сужающем устройстве, установленном в трубопроводе, от расхода. В последнее время датчики данного типа в составе теплосчетчиков постепенно вытесняются другими видами датчиков расхода

Ультразвуковые. Принцип действия ультразвуковых датчиков расхода основан на излучении и приеме ультразвукового сигнала и измерении разности времени его распространения по потоку жидкости и против него. Измеренная разность времени распространения сигнала пропорциональна средней скорости потока жидкости и ее расходу.

Электромагнитные. Принцип действия электромагнитных датчиков расхода основан на явлении электромагнитной индукции. При прохождении электропроводящей жидкости через импульсное магнитное поле в ней наводится электродвижущая сила, пропорциональная средней скорости потока жидкости и ее расходу. Как ультразвуковые, так и электромагнитные датчики расхода при измерении не оказывают влияния на измеряемый поток, поскольку не создают препятствий течению теплоносителя

Тахометрические. Тахометрические датчики расхода используют зависимость частоты вращения тела, установленного в трубопроводе: крыльчатки (ось которой перпендикулярна оси трубопровода) или турбинки (ось совпадает с осью трубопровода), от скорости движения теплоносителя или от его объема. Этот метод измерения получил широкое распространение за рубежом для коммерческих расчетов.

Для правильного измерения расхода на участке трубопровода перед установкой расходомера и после его установки требуется предусмотреть прямолинейные участки для стабилизации потока теплоносителя. На этих участках не должно быть поворотов, изменения сечений трубопровода, не должна находиться запорная арматура. Длина прямолинейных участков по величине обычно составляет несколько диаметров трубопровода. Она обязательно должна быть указана в технической документации датчика расхода.

Для измерения температуры используются платиновые термометры сопротивления, устанавливаются в подающем и обратном трубопроводе, на источнике теплоты дополнительно в трубопровод холодной подпиточной воды. Измеренные значения температур по линиям связи передаются тепловычислителю, заложенные в их памяти константы пересчитывают значение температур и энтальпий и определяют потребленное тепло.

Критерии эффективности систем теплоснабжения

Анализ показателей энергетической эффективности осуществляется для источников тепловой энергии, тепловых сетей и тепловых потребителей.

Показателем энергетической эффективности котельной является коэффициент эффективности использования топлива:

$$\eta = [(Q_{год} \cdot 10^{-3})/(B_{год} Q_н^р)] \cdot 100\%, \qquad (4.31)$$

где: $Q_{год}$ - годовое количество тепловой энергии, отпущенное котельной, Гкал;

$B_{год}$ - годовое количество топлива, потребленное котельной, тыс. м^3 (тонн);

$Q_н^р$- теплотворная способность топлива, ккал/м^3 (кг).

Величина (4.31) может служить объективным показателем энергетической эффективности котельной только в том случае, если величины $Q_{год}$ и $B_{год}$ определяются по показаниям теплосчетчика и счетчика газа. К сожалению, на многих отопительных котельных отсутствуют приборы учета отпуска тепловой энергии, поэтому эта величина носит расчетно-фактический характер.

Показателем энергетической эффективности использования электроэнергии на транспортировку теплоносителя является расход электроэнергии на единицу отпущенной тепловой энергии.

$$e = E_{год}/Q_{год} \quad (4.32)$$

где: $E_{год}$ - годовое количество электроэнергии, затраченное на привод циркуляционных насосов, кВт × ч.

Величина (4.32) характеризует энергетическую эффективность циркуляционных насосов, а также удаленность и компактность расположения тепловых потребителей, подключенных к котельной.

Показателем энергетической эффективности тепловых сетей являются удельные тепловые потери

$$q = [(Q_{год} - Q_{год.потр.ф})/Q_{год}] \cdot 100\%, \quad (4.33)$$

где: $Q_{год.потр.ф}$- годовое количество тепловой энергии, которое фактически поставлено потребителям, подключенным к данной котельной, Гкал.

Анализ эффективности использования тепловой энергии у потребителей может быть выполнен путем сопоставления фактического и нормативного годового потребления тепловой энергии

$$\beta = (Q_{год.потр.ф} - Q_{год.потр.н}) \cdot 100\%, \quad (4.34)$$

$Q_{год.потр.н}$ - нормативное годовое потребление тепловой энергии, Гкал.

Если величина $Q_{год.потр.ф}$ не может быть определена из-за отсутствия теплосчетчиков у потребителей, то величина (4.34) может быть определена по формуле (4.35)

$$\beta = (100 - q) \cdot Q_{год} / 100 \cdot Q_{год.потр.н}) \cdot 100\%, \quad (4.35)$$

Показателями надежности системы теплоснабжения поселения является годовое количество отказов на тепловых источниках и в тепловых сетях. Наибольшее количество отказов наблюдается в тепловых сетях.

Кроме показателей надежности и экономичности существующей системы централизованного теплоснабжения рассматриваемого поселения необходимо проанализировать динамику изменения услуг централизованного теплоснабжения.

Формирование списка мероприятий по энергоэффективности, которые необходимо рассмотреть при разработке схемы теплоснабжения поселения, представляет собой задачу, при решении которой необходимо принять во внимание ряд факторов, включая:

- перспективы нового строительства;
- показатели надежности существующей системы теплоснабжения, в особенности тепловых сетей;
- показатели энергетической эффективности источников тепловой энергии, тепловых сетей и потребителей тепловой энергии;
- динамику изменения объема услуг централизованного теплоснабжения;
- протяженность тепловых сетей в расчете на единицу присоединенной мощности по каждой котельной;
- параметры, характеризующие альтернативные источники топлива и энергии

4.9 Системы газоснабжения

В последние десятилетия резко увеличилось применение газового топлива, в том числе для теплоснабжения. Газ имеет значительные преимущества по сравнению с другими видами топлива: высокая теплота сгорания, удобство транспортирования, нет необходимости удаления золы и шлаков и др. Горючие газы бывают природные и искусственные.

В системах теплоснабжения используют, главным образом, *природные* газы. Природный газ представляет собой смесь различных углеводородов, основным из которых является метан CH_4. Его содержание составляет до 97...98 %. В небольших количествах в природных газах содержатся тяжелые углеводороды: этан, пропан, бутан, а также диоксид углерода (углекислый газ), азот.

Искусственные газы получают в результате термической переработки твердого топлива - угля, сланцев, торфа или жидкого топлива - нефти. Например, коксовый газ получают в процессе сухой перегонки каменных углей при их нагревании до температуры 900 - 1100°С без доступа воздуха. Продуктами процесса являются кокс, применяемый в металлургической промышленности, и коксовый газ. Коксовый газ является смесью водорода Н- 57 %, метана CH_4 - 23 %, оксида углерода СО - 6,8 % и прочих газов - 13,2%. Основными горючими составляющими коксового газа являются водород и метан.

Природный газ получают от специально пробуренных скважин глубиной 600...3000 м. Газ из скважин по промысловым газопроводам (рис. 4.25)поступает в сборные коллекторы, а по ним - в промысловые газораспределительные станции, где производится осушка, очистка, одоризация газа и снижение давления.

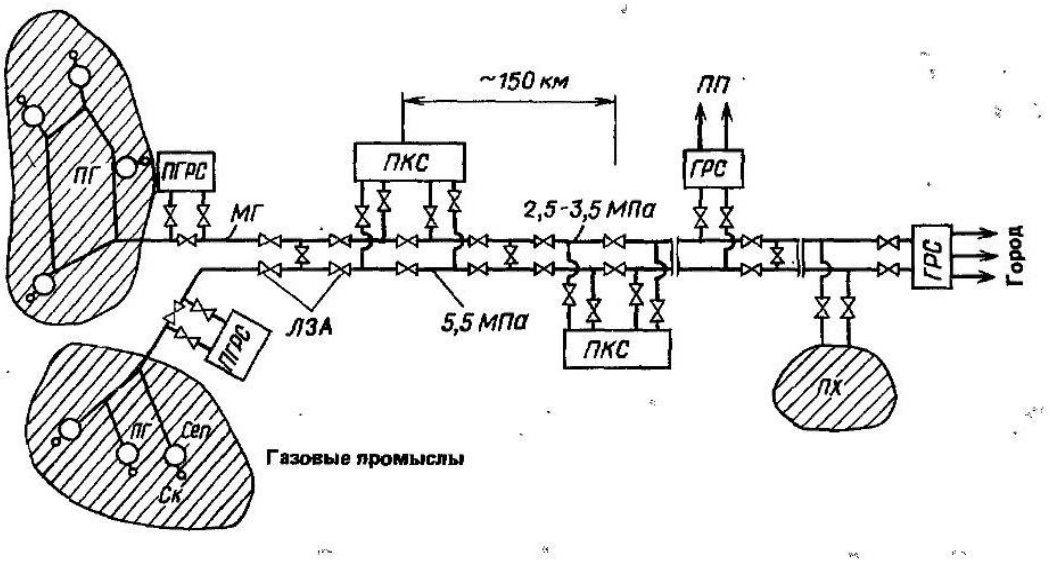


Рис. 4.25. Принципиальная схема газотранспортной системы:

Ск - скважины; Сеп - сепараторы; ПГ - промысловые газопроводы; ПГРС – промысловая газораспределительная станция; МГ – магистральный газопровод; ПКС – промежуточная компрессорная станция; ЛЗА – линейная запорная арматура; ГРС – газораспределительная станция; ПХ – подземной хранилище газа; ПП – промежуточный потребитель.

[Ионин А.А. и др. Газоснабжение: учебник для вузов.– Москва: АСВ, 2011. – 471 с.]

Готовый к использованию газ поступает в магистральный газопровод и транспортируется к потребителям на расстояние по трубам, проложенным под землей, а иногда в море.

Газопроводы выполняют из стальных труб. Соединение труб производится электросваркой. Разъемные соединения (фланцевые и резьбовые) предусматриваются лишь в местах установки арматуры, приборов и другого оборудования.

Жилые и общественные здания и небольшие коммунально-бытовые предприятия подключаются к газопроводам низкого давления. Газопроводы высокого давления подают газ в сети низкого давления через газораспределительные пункты (ГРП). Крупные потребители газа (предприятия и др.) непосредственно присоединяются к сетям высокого и среднего давления.

По назначению газопроводы населенных пунктов условно подразделяют на:

— распределительные или уличные газопроводы, расположенные на территории населенного пункта;

— ответвления и вводы к потребителям, по которым газ от распределительных газопроводов подается к одному или группе потребителей;

— внутриобъектовые газопроводы, например, дворовые или межцеховые;

— внутренние газопроводы, например, внутридомовые или внутрицеховые.

По методу прокладки различают подземные и надземные газопроводы.

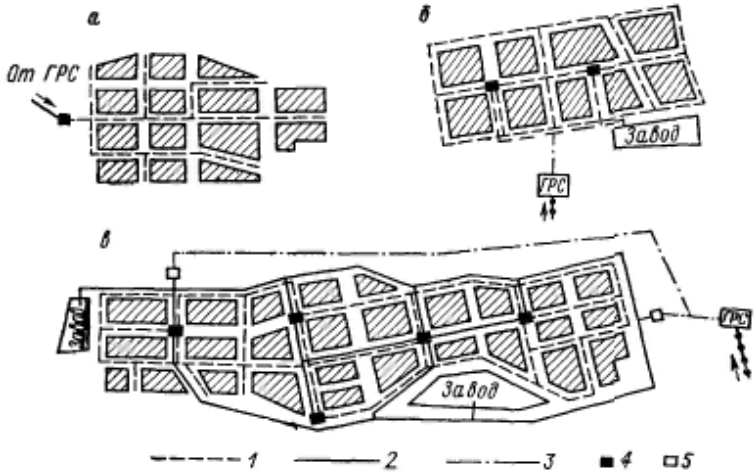


Рис. 4.26 Системы газоснабжения:

а — одноступенчатая; б — двухступенчатая; в — трехступенчатая. Газопроводы: 1 — низкого, 2 — среднего, 3 — высокого давления; газорегуляторные пункты: 4 — питающий сеть низкого, 5 — то же, среднего давления.

[Н.А. Скафтымов. Основы газоснабжения. Ленинград. Недра. – 1975. – 344 с.]

Для возможности отключения отдельных участков газопроводов или зданий применяются задвижки, краны и гидрозатворы. Задвижки устанавливаются в колодцах, имеющих глубину, превышающую глубину заложения газопровода на 0,5 м, а краны - в колодцах мелкого заложения; в этом месте газопровод делается П-образной формы.

На газопроводах низкого давления части устанавливают гидрозатворы, представляющие собой небольшие вертикальные цилиндрические сосуды с двумя наклонно

приваренными отростками для присоединения к газопроводу и трубой, приваренной к верхнему днищу и выведенной к поверхности земли. Газ отключается при наполнении гидрозатвора водой через трубу на высоту, превышающую давление в газопроводе.

Достоинства гидрозатвора - простота конструкции и надежность отключения; недостатки - возможность выброса воды при повышении давления в газовой сети и самоотключение его при несвоевременном удалении скопившейся воды.

В низших точках продольного профиля газопровода устанавливаются сборники конденсата, емкость которых зависит от диаметра газопровода и количества воды, накапливающейся в них. Вода эта попадает через неплотности, которые образуются во время эксплуатации. Конструктивно сборники конденсата отличаются от гидрозатворов горизонтальным расположением присоединительных отростков.

В некоторых местах над сварными стыками газопроводов устанавливаются контрольные трубки. Это устройство состоит из металлического кожуха длиной 350 мм полуцилиндрической формы, с диаметром, большим диаметра трубы на 200 мм. От кожуха, уложенного на слой щебня или гравия, к поверхности трубы отводится труба диаметром 60 мм, в которой скапливается газ при утечках в контролируемом месте.

Для выявления наличия и изменения величины блуждающих токов к газопроводам приваривают контрольные проводники и выводят их к поверхности земли.

Стояки гидрозатворов, сборников конденсата, контрольные трубки и контрольные проводники, выведенные к поверхности земли, предохраняются защитными лючками-колпаками (или, как уже было указано выше по старой технической традиции, коверами). Коверы делаются сварными или литыми и устанавливаются на бетонные подушки.

При отсутствии дорожного покрытия вокруг ковера делается отмостка шириной 0,7 м с уклоном от ковера. Расстояние между крышкой защитного ковера и пробкой труб (стояков) должно быть не менее 0,1 м.

Расположение защитного ковера отмечается настенным указателем, который крепится к стене ближайшего здания на высоте не менее 2 м. На указателе приводятся диаметр газопровода, условное обозначение подземного устройства, расстояние до него по перпендикуляру от стены и в сторону.

Система газоснабжения города должна обеспечивать: надежную и бесперебойную подачу газа с заданным давлением, удобство и безопасность эксплуатации, возможность аварийных переключений; кроме того, она должна быть экономична при эксплуатации.

В проекте системы газоснабжения учитывают: характер планировки и плотность застройки города, территориальное размещение и размеры нагрузок потребителей газа, насыщенность уличных проездов инженерными коммуникациями, климатические и геологические условия. Выбор лучшего варианта системы в каждом конкретном случае должен быть осуществлен технико-экономическим сопоставлением нескольких конкурентоспособных вариантов по основным показателям — надежности, технологичности и экономичности.

Газорегуляторные пункты и установки

ГРП и ГРУ предназначены для снижения давления газа и поддержания его на необходимом в эксплуатации уровне независимо от изменения расхода. Одновременно производится очистка газа от механических примесей, а при необходимости осуществляется и учет расхода газа. ГРП сооружают на распределительных сетях населенных пунктов или предприятий для обеспечения газом не менее двух потребителей, а ГРУ монтируют непосредственно у потребителя газа для газоснабжения отдельного объекта (цеха, котельной, печи и т. п.). ГРП размещают, как правило, в отдельно стоящих зданиях или шкафах на несгораемых опорах. Кроме того, в зависимости от давления и назначения они могут размещаться в пристройках к несгораемым зданиям, в шкафах на глухих стенах зданий или в особых случаях во встроенных помещениях одноэтажных

производственных зданий, сооруженных из огнестойких материалов. ГРУ обычно размещают непосредственно в помещении, где установлены газопотребляющие агрегаты, а иногда в пристройке к зданию или в несгораемом шкафу на стене здания.

Внутридомовые газопроводы служат для передачи природного газа от газорегуляторных пунктов к газовым приборам жилых домов (газовые плиты, быстродействующие или емкостные водонагреватели). Ответвления и дворовые разводки всегда рассматриваются как составная часть газооборудования жилых комплексов. В этих газопроводах поддерживается всегда низкое давление газа до 3000 Па.

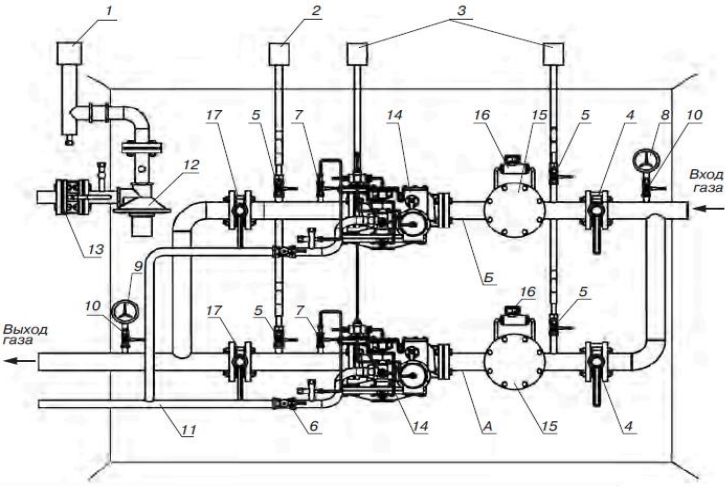


Рис. 4.27 Газорегуляторный пункт (ГРП) с основной и резервной линиями редуцирования:

1, 3 — сбросные и продувочные трубопроводы; 2 — настроечная свеча; 4, 5, 6, 7, 13, 17 — запорная арматура; 8, 9 — манометр; 10 — кран шаровой для манометра; 11 — импульсный трубопровод; 12 — предохранительный сбросной клапан; 14 — регулятор давления газа с предохранительным запорным клапаном; 15 — фильтр газовый; 16 — индикатор перепада давления

[информация с сайта ООО ПКФ ЭКС-ФОРМА http://www.exform.ru/catalog/GRP/grp.php]

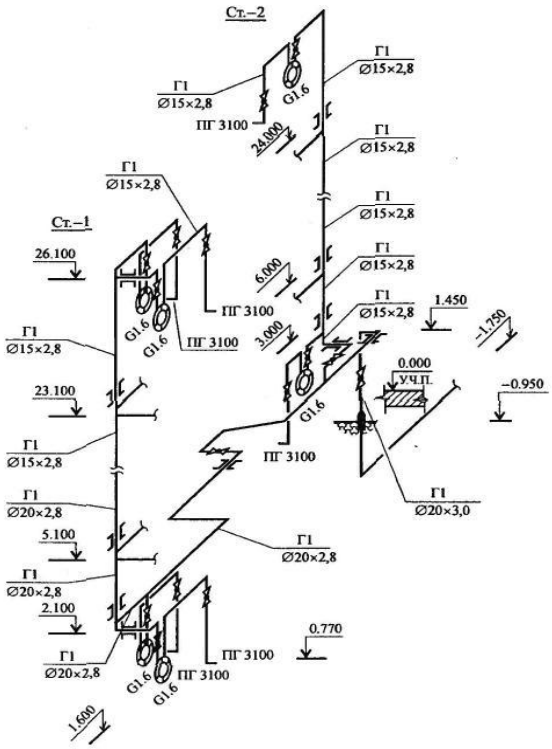


Рис. 4.28 Аксонометрическая схема внутридомового газопровода.

[Теплоснабжение и вентиляция: курсовое и дипломное проектирование: учеб. пособие/ Б.М. Хрусталев, Ю.Я. Кувшинов, В.М. Копко ; под общ. ред. Б.М. Хрусталева.- 2-е изд., испр. и доп..- М.: АСВ, 2005.- 575 с.]

Внутри здания [24] газопровод прокладывают, как правило, открыто и монтируют из стальных труб на сварке с разъемными резьбовыми или фланцевыми соединениями в местах установки запорной арматуры и газовых приборов, регуляторов давления. В производственных зданиях допускается скрытая прокладка участков труб в полу с заделкой их цементным раствором после окраски водостойкими красками или в каналах, засыпанных песком и перекрытых плитами. Запорную арматуру внутри зданий устанавливают на вводе на ответвлениях к каждому газовому прибору или агрегату, перед газовыми горелками и запальниками, на продувочных трубопроводах, внизу каждого стояка, обслуживающего пять и более этажей. В производственных зданиях для присоединения переносных и передвижных газовых приборов после отключающей арматуры допускается применение резинотканевых шлангов.

Газопроводы крепят к стенам зданий с помощью хомутов, крючьев, подвесок, кронштейнов на расстоянии, обеспечивающем монтаж, ремонт и осмотр трубопроводов. Газопроводы, транспортирующие влажный газ, прокладывают с уклоном в сторону ввода.

На вводе вблизи распределительного трубопровода устанавливают главную отключающую запорную арматуру - пробковый кран или задвижку. От главного запорного крана на вводе до стояков прокладывают распределительный трубопровод, а от стояков делают подводки на каждом этаже к местам установки газовых приборов и технологического оборудования, потребляющих газ.

Вводы газопроводов устраивают в нежилые помещения, лестничные клетки, коридоры, кухни, в помещения с газовыми приборами или в изолированные помещения, оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией и отдельным входом и выходом.

Трубопровод ввода не разрешается прокладывать в помещения вентиляционных камер, шахты, каналы, помещения лифтов, машин и механизмов, складов и распредустройств. Трубопровод ввода прокладывают с уклоном не менее 0,002 в сторону, противоположную направлению движения газа.

При подаче осушенного газа ввод и распределительный трубопровод рекомендуется располагать с внешней стороны здания. При подаче влажного газа, чтобы предотвратить образование конденсата и его замерзание, труба ввода принимается диаметром в 1,5 - 2 раза больше расчетного и покрывается теплоизоляцией.

В местах пересечения фундаментов, перекрытий, стен, перегородок, лестничных площадок газопроводы заключаются в футляры из стальных труб с кольцевым зазором не менее 5 - 10 мм и с возвышением над уровнем пола не менее чем на 30 мм. Зазор между трубой и футляром заделывают просмоленной паклей, резиновыми втулками или другими эластичными материалами. На этих участках не должно быть стыковых соединений. Длина футляра должна соответствовать полной толщине пересекаемой конструкции. Все газопроводы окрашивают масляной водостойкой краской.

Если ввод предусматривается в здание, то распределительный газопровод прокладывают или в коридорах первого этажа, или в специально оборудованном подвале.

Все газопроводы в зданиях прокладывают в местах, легкодоступных для обслуживания. Допускается прокладывать трубопроводы в бороздах и каналах, обеспечивая вентиляцию и свободный доступ для осмотра и ремонта. Стояки проходят в кухнях, коридорах, лестничных

клетках, нежилых помещениях. В жилых помещениях, санузлах, ванных комнатах их прокладка запрещена. Заделка стыков труб в строительные конструкции не допускается.

Транзитная прокладка газопроводов в помещениях с повышенной влажностью и огнеопасностью не допускается. При пересечении дымоходов, вентиляционных каналов, монтажных шахт газопроводы необходимо прокладывать в обход или заключать их в футляры.

Все горизонтальные прокладки газопроводов выполняют на высоте не менее 2,2 м с креплением труб с помощью скоб, крючьев, хомутов, кронштейнов.

При подаче влажного газа в самых нижних точках газопроводов предусматривают пробки (заглушки) для спуска конденсата и очистки труб от осадков. При транспортировании осушенного газа пробки не устанавливают.

Прокладка всех газопроводов должна выполняться только по нежилым помещениям, а при вынужденной прокладке требуется устройство газопровода с установкой арматуры и тщательным выполнением сварных стыков труб. Желательна прокладка газопроводов по помещениям, где может быть обеспечен круглосуточный доступ обслуживающего персонала. Газопроводы не должны пересекать дверные и оконные проемы. Трубы прокладывают с уклоном в сторону газовых приборов, к конденсатосборникам (при подаче влажного газа), в противоположную сторону от контрольно-измерительных приборов.

В промышленных предприятиях, где предусматривается оборудование, потребляющее газ высокого давления, допускается прокладка ввода непосредственно в помещение, где будет использован газ. Если требуется редуцирование газа, то газорегуляторные установки размещают непосредственно на вводе снаружи здания или в помещении предприятия с устройством огнезащитного (металлического) шкафа или изолированного специального помещения.

Арматура и контрольно-измерительные устройства

Запорную отключающую арматуру, пробковые краны, устанавливают у оснований стояков, на подводках к каждому газовому прибору. Высота установки газовых пробковых кранов

перед приборами рекомендуется не менее 1,5 м. После пробковых кранов по ходу движения газа обычно устанавливают сгоны для удобства демонтажа газовых приборов.

На подводках газа высокого давления к горелкам технологического оборудования устанавливают последовательно запорные устройства - краны или задвижки. Запорная арматура должна обладать высокой герметичностью и надежностью, она может быть использована и как регулировочная. На корпусе пробкового крана установлен указатель «Открыто» или «Закрыто» с ограничителем поворота на 90 ° для регулирования расхода газа. На головке пробки некоторых кранов имеется риска, показывающая направление движения газа через кран.

Арматура устанавливается в местах, удобных и доступных для осмотра и ремонта; не следует устанавливать ее в каналах, технических подпольях.

Пробковые краны применяют муфтовые и цапковые с условным проходом от 15 до 70 мм из бронзы, комбинированные и из ковкого чугуна. На газопроводах диаметром более 70 мм применяют газовые задвижки клинкерного типа, плотно закрывающие проходное отверстие.

Расход газа (особенно на коммунальных, бытовых и промышленных предприятиях) учитывают с помощью газовых счетчиков или расходомеров.

Газовые счетчики устанавливают в зданиях предприятий, как правило, в специальном помещении, несгораемом, с приточно-вытяжной вентиляцией, или в помещении газорегуляторного пункта (ГРП). В отдельных случаях контрольно-измерительные приборы (газовые счетчики) устанавливают даже перед технологическим оборудованием.

Для учета расхода газа на промышленных объектах применяют расходомеры, состоящие из камерной диафрагмы и дифференциального манометра.

Расходомеры работают по принципу измерения перепада давлений до и после диафрагмы, который вырастает с увеличением расхода газа. Кроме диафрагмы расходомер снабжен вторичным прибором - регистрирующим дифманометром. При выборе расходомера учитывают характеристику состояния газа (расчетные параметры): температуру, избыточное давление, плотность. Если характеристика состояния газа не совпадает с нормальными стандартными условиями, на которые разградуирована шкала прибора, то вводят соответствующие поправочные коэффициенты для определения фактического расхода газа.

Расход газа бытовыми потребителями определяется без измерительных приборов (газовых счетчиков) в зависимости от типа и количества установленных газовых приборов и числа людей, пользующихся этими приборами. Оплату за израсходованный газ определяют по утвержденным тарифам.

Газовые приборы и горелки

В жилых и общественных зданиях газ используют для приготовления пищи и горячей воды. Основными приборами, которые применяют для газоснабжения жилых и общественных зданий, являются кухонные плиты для приготовления пищи, газовые водонагреватели, обеспечивающие подогрев воды для хозяйственно-бытовых нужд и местных систем отопления, газовые котлы, камины, инфракрасные излучатели.

В коммунально-бытовых и производственных предприятиях применяют: газовые кипятильники, духовые шкафы, специальные плиты ресторанного типа, холодильники и холодильные установки, пищеварочныые котлы, сушильные и гладильные машины и другие.

Работа газовых приборов характеризуется следующими показателями:

1. Тепловой нагрузкой, или количеством тепла в газе, которое расходуется прибором, в кВт.

2. Производительностью, или количеством полезно используемого тепла, которое передается нагреваемому телу, в кВт.

3. Коэффициентом полезного действия КПД, представляющим собой отношение производительности к тепловой нагрузке прибора.

4. Давление газа, на которое газовый прибор рассчитан, и максимальный расход газа.

Кроме перечисленных газовые приборы имеют еще предельные характеристики, которые на базе максимальных значений позволяют установить надежность, предельный срок эксплуатации данной конструкции. Эти характеристики устанавливают при заводских испытаниях.

Тепловая нагрузка газовых приборов может быть номинальной нормальной и предельной.

Номинальной считают такую нагрузку, при которой газовый прибор работает наиболее эффективно, т.е. с наименьшим химическим недожогом газа, наибольшим КПД, и развивает номинальную производительность. При нормальной нагрузке в конструктивных элементах прибора не должно возникать опасных тепловых напряжений, сокращающих срок его службы.

Предельной (максимальной) тепловой нагрузкой считают нагрузку, превышающую нормальную на 20%. При этой нагрузке не должны заметно ухудшаться показатели работы прибора.

Основным элементом газовых приборов является горелка.

В газовых горелках приготовляется газовоздушная смесь, необходимая для нормальной реакции горения. Конструкция горелки должна быть простой, удобной в монтаже и эксплуатации, должна обеспечивать простоту регулировки подачи газа, хорошее смешение газа с воздухом и полноту сжигания газа.

В газовых приборах и газовых установках применяют пламенные (факельные) и беспламенные горелки, в которых газовоздушная смесь сгорает в капиллярах головки (рассекателя), выполненной из огнеупорной керамики; при сжигании газа в ней образуется инфракрасное излучение.

Газовые горелки можно классифицировать по методу сжигания газа, по способу подачи первичного воздуха и по давлению газа.

По методу сжигания газа различают горелки четырех типов:

полного предварительного смешения газа и воздуха до однородного состава смеси с образованием кинетического процесса горения;

предварительного смешения газа и части воздуха, необходимого для горения;

с незавершенным смешением газа и воздуха;

без предварительного смешения газа и воздуха, с диффузионным горением.

По способу подачи воздуха различают горелки;

инжекционные - воздух из атмосферы засасывается (эжектируется) газовой струей:

с принудительной подачей воздуха вентилятором.

Наиболее распространены горелки инжекционные. Для хорошего эффекта сжигания количество воздуха должно находиться в определенном соотношении с расходом газа.

По давлению газа горелки подразделяются на горелки низкого, среднего и высокого давления.

Отвод продуктов сгорания

От каждого газового прибора (водонагревателя, отопительной печи и т.п.) продукты сгорания отводят по обособленному дымоходу в атмосферу. В зданиях старой постройки разрешается присоединять к одному дымоходу несколько газовых приборов, расположенных на одном этаже. Вводы продуктов сгорания в дымоход устраивают на разных уровнях с расстоянием между ними не менее 50 см. Если ввод с несколькими уровнями устроить нельзя, то применяют ввод с одним уровнем, но в дымоходе устанавливают вертикальную рассечку высотой 50 -70 см. К одному дымоходу разрешается присоединять один нагревательный прибор и отопительную печь, если они расположены в одной квартире и пользуются ими в разное время.

Коммунально-бытовые газовые приборы (ресторанные плиты, пищеварочные котлы и т.п.) можно присоединять как к обособленному, так и к общему дымоходу. При использовании общего дымохода для нескольких приборов продукты сгорания вводят на разных уровнях или с устройством рассечек.

Дымовые трубы нельзя располагать в зоне ветрового подпора, так как может произойти опрокидывание тяги. Во избежание этого трубы следует выводить на 0,5 м выше конька крыши,

если они расположены ближе 1,5 м от него (считая по горизонтали). Если трубы отстоят от конька на 1,5 - 3 м, то их выводят на один уровень с коньком. При расположении труб на расстоянии более 3 м от конька их выводят до прямой, проведенной от конька вниз под углом 10° к горизонту. Во всех случаях труба должна выступать не менее чем на 0,5 м над примыкающей к ней поверхностью крыши. Если труба расположена вблизи высокого здания, то ее следует выводить выше прямой, проведенной от края крыши высокого здания вниз под углом 45° к горизонту в сторону малого здания.

Защитным средством от попадания атмосферных осадков в дымовые трубы служат металлические зонты или перекрытия из кирпича с боковым отводом дымовых газов. Сечение дымохода и присоединительной трубы принимают по соответствующим нормалям в зависимости от тепловой нагрузки прибора. В случаях, не предусмотренных нормалями, или при присоединении к одному дымоходу нескольких приборов сечение определяют расчетом.

Системы газоснабжения среднего и низкого давления не являются энергозатратными. Поэтому для них в настоящее время отсутствует общепринятый показатель энергетической эффективности.

Практические вопросы и решения

1. Приведите примеры нагнетателей и какую функцию они выполняют в инженерных системах зданий.
2. Охарактеризуйте технические характеристики нагнетателей.
3. От чего зависит энергетическая эффективность нагнетателя.
4. Как подобрать нагнетатель для системы холодного и горячего водоснабжения?
5. Какие требования предъявляют к нагнетателям систем водяного отопления?
6. Как регулируют работу нагнетателя в системе водяного отопления?
7. Как подобрать нагнетатель для системы вентиляции или кондиционирования воздуха?
8. Что такое SFP-фактор?
9. Как регулируют работу нагнетателя в системе вентиляции или кондиционирования?
10. Какие виды систем холодного водоснабжения Вы зхнаете.
11. Назовите основное оборудование системы холодного водоснабжения.
12. Какими показателями характеризуется работа системы холодного водоснабжения?
13. Какие виды систем горячего водоснабжения Вы зхнаете.
14. Назовите основное оборудование системы горячего водоснабжения.
15. Какими показателями характеризуется работа системы горячего водоснабжения?
16. Назовите основные виды и классификацию систем отопления.
17. Какими техническими показателями характеризуется работа системы отпления?
18. Как определить расчетную тепловую мощность системы и от чего она зависит?
19. Как определяются годовые затраты теплоты на отпление?
20. Назовите основное оборудование системы водяного отопления.
21. Назовите основные факторы, определяющие энергетическую эффективность системы отопления.
22. Назовите основные способы регулирования тепловой мощности системы отпления.
23. Охарактеризуйте назначение систем вентиляции и приведите классификацию систем вентиляции.

24. Какие технические показатели характеризуют работу системы вентиляции?
25. От чего зависит энергетическая эффективность систем вентиляции?
26. Охарактеризуйте назначение и приведите классификацию систем кондиционирования воздуха.
27. Чем системы кондиционирования отличаются от систем вентиляции?
28. Какими техническими показателями характеризуется работа систем кондиционирования?
29. Как определяются годовые затраты энергии на кондиционирование воздуха и от чего они зависят?
30. Какие виды систем теплоснабжения Вы знаете.
31. Какими показателями характеризуется работа системы теплоснабжения?
32. Как определить расчетную мощность источника теплоты для теплоснабжения?
33. Какие способы регулирования отпуска теплоты потребителям Вы знаете, и как они реализуются?
34. Охарактеризуйте системы газоснабжения городов и поселков.
35. Какое оборудование входит в состав системы газоснабжения.
36. От чего зависит эффективность системы газоснабжения?
37. Какое воздействие на окружающую среду оказывают системы тепло- и газоснабжения?

Студент может также найти вопросы самоконтроля и задачи, которые можно решитьпо ссылке:http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTUTU.

Рекомендуемая литература (интеллектуальная библиотека)

1) Sugarman, Samuel C. HVACFundamentals. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2007, 326 p.

2) Kiljunen, O., Hästesko, T. Air Conditioning Systems : Performance, Environment and Energy Factors. In Energy Science, Engineering and Technology Series.New York : Nova Science Publishers. 2010, 399 p.

3) Thumann, A. Plant Engineers and Managers Guide to Energy Conservation. Liburn, GA : FairmontPress. 2010, 515 p.

4) Haro, J., Cornejo, D. Building Materials : Properties, Performance, and Applications. In Materials Science and Technologies Series.New York : Nova Science Publishers. 2009, 408 p.

5) Utrick, Joseph B. Energy and Buildings : Efficiency, Air Quality and Conservation. New York : Nova Science Publishers. 2009, 451 p.

6) Thumann, A., Mehta, D. Handbook of Energy Engineering. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2012, 442 p.

7) MacAvoy, P. Natural Gas Networks Performance After Partial Deregulation : Five Quantitative Studies. In World Scientific Series on Energy and Resource Economics. Singapore : World Scientific. 2007, 207 p.

8) Kostadinov, O., Evgova, J. Thermal Engineering Research Developments. In Mechanical Engineering Theory and Applications Series.New York : Nova Science Publishers. 2010, 539 p.

9) Bas, Ed. Indoor Air Quality : Guide for Facility Managers. Lilburn, Ga : Fairmont Press. 2004, 383 p.

10) Langley, Billy C. Fundamentals of Air Conditioning Systems. Lilburn, GA : FairmontPress. 2000. 399 p.

11) Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В.М. Фокин. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 256 с.

12) Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Теплоэнергетика" / О. Л. Данилов [и др.] ; под ред. А. В. Клименко. – 2-е изд., стер. – М. : МЭИ, 2011. – 424 с.

Тема лекции 5: Повышение энергетической эффективности инженерных систем зданий, внедрение энергосберегающих мероприятий.

Введение в лекцию

Тема знакомит с инженерными решениями, повышающими энергетическую эффективность зданий и сооружений, с методами разработки энергосберегающих мероприятий.

Цель и основные результаты обучения

Целью обучения по этой теме является изучение следующих вопросов: Понятие об энергоэффективном здании. принципы проектирования энергоэффективных зданий. Энергетические возможности наружного климата и учет воздействия наружного климата в тепловом балансе здания. Оптимизация затрат энергии на климатизацию здания. Понятие о здании с нулевым потреблением энергии.

Повышение энергетической эффективности за счет оптимизации проектных решений, использования новых материалов и технологий.

Повышение энергетической эффективности за счет использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии и вторичных энергетических ресурсов. Использование солнечной энергии, геотермальной энергии, теплоты воздушного бассейна, водоемов, теплоты удаляемого воздуха и сточных вод в системах теплоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования.

Повышение эффективности использования низкопотенциальных источников энергии в схемах с тепловыми насосами.

Предполагаемые основные результаты обучения соответствуют выше предусмотренным целям.

Конспект лекции и раздаточные материалы

Все материалы, видео, калькуляторы и программное обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом вы можете найти по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTU

В энергетическом балансе страны затраты на системы жизнеобеспечения зданий доходят до 40% [19]. Постоянно растет стоимость инженерного оборудования зданий. Поэтому вопросы экономии энергии системами кондиционирования микроклимата (СКМ) и вопросы оптимизации технических решений этих систем актуальны в настоящее время и в долгосрочной перспективе. Возможны следующие пути сокращения расхода энергии в зданиях [14].

1) Увеличение теплозащитных свойств ограждающих конструкций, уменьшение остекленности фасадов, оптимизация объемно-планировочных, градостроительных решений зданий и правильное районирование различных их видов.

2) Совершенствование конструктивных и технологических решений СКМ, повышение их энергетической эффективности, оптимизация регулирования и эксплуатации систем; использование возобновляемых источников энергии, утилизация вторичных энергетических ресурсов и других источников низкопотенциальной теплоты;

3) Повышение качества строительства, монтажа и эксплуатации зданий, повышение культуры пользования энергией населением.

4) Усиление научных исследований по строительной энергетике с целью создания современных типов зданий с эффективным использованием энергии (ЗЭИЭ).

5) Повышение компетентности в области строительной энергетики инженеров-строителей, архитекторов, инженеров-теплотехников, управленческого аппарата строительства, промышленности, жилищно-коммунального хозяйства.

Под энергоэффективным зданием понимают, здание, на жизнеобеспечение которого расходуется оптимальное в данных условиях количество энергии. Как уже отмечалось, потребление энергии зданием зависит от многих факторов - назначение здания, требования к микроклимату, архитектурно-строительная характеристика, теплозащитные свойства ограждений, наружные климатические условия, энергетическая эффективность систем жизнеобеспечения и др.

5.1 Научные основы проектирования энергоэф- фективных зданий

5.1.1 Принципы проектирования энергоэффективных зданий [26]

1. Цель проектирования и строительства энергоэффективных зданий состоит в более эффективном использовании энергоресурсов, затрачиваемых на системы жизнеобеспечения здания, путем применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, а также приемлемы с экологической и социальной точек зрения и не изменяют привычного образа жизни. Приоритетность при выборе энергосберегающих технологий имеют технические решения, одновременно способствующие улучшению микроклимата помещений и защите окружающей среды.

2. Методология проектирования энергоэффективного здания должна основываться на системном анализе здания как единой энергетической системы. Представление энергоэффективного здания как суммы независимых инновационных решений нарушает принципы системности и приводит к потере энергетической эффективности проекта. Проектирование энергоэффективного здания в соответствии с принципами системного анализа включает в себя три этапа:

- построение математической модели тепломассообменных процессов в здании, то есть описание их на языке математики;

- выбор целевой функции, то есть определение ограничивающих условий и формулирование оптимизационной задачи в зависимости от цели оптимизации (снижение затрат энергии на отопление, снижение установочной мощности оборудования, снижение затрат энергии на климатизацию в годовом цикле и т. д.);

- решение поставленной оптимизационной задачи.

3. В соответствии с принципами системного анализа целесообразно при проектировании энергоэффективного здания рассматривать две независимые энергетические подсистемы:

- наружный климат как источник энергии;

- здание, как единая энергетическая система.

Анализ первой подсистемы позволяет вычислить энергетический потенциал наружного климата и определить методы его использования для тепло и холодоснабжения здания. Анализ второй подсистемы позволяет определить характеристики архитектурно-конструктивных, теплотехнических или энергетических показателей здания как единой энергетической системы.

4. Наиболее употребительная методика построения математической модели теплового режима здания как единой энергетической системы [26] предполагает декомпозицию здания на три основные энергетически взаимосвязанные подсистемы (рис. …):

- энергетическое воздействие наружного климата на оболочку здания;

- энергия, накопленная (содержащаяся) в оболочке здания, то есть в наружных ограждающих конструкциях здания;

- энергия, накопленная (содержащаяся) внутри объема здания, то есть внутреннем воздухе, внутреннем оборудовании, внутренних ограждающих конструкциях и т. д.

При необходимости каждая из указанных подсистем может быть представлена методом декомпозиции более мелкими энергетически взаимосвязанными элементами.

5. Проектирование энергоэффективного здания заключается в оптимизации режима энергетически взаимосвязанных подсистем, указанных в п.4, и здания в целом как единой энергетической системы и включает в себя:

- определение оптимальных архитектурно-планировочных, теплотехнических или энергетических параметров отдельных элементов здания с учетом взаимосвязи между ними;

- определение оптимальных архитектурно-планировочных, теплотехнических или энергетических параметров здания как единой энергетической системы.

6. При реальном проектировании выбор оптимальной совокупности взаимосвязанных инновационных архитектурно-планировочных и инженерных решений энергоэффективного здания может быть стеснен рядом ограничений, так называемых «дисциплинирующих условий», которые фиксированы с самого начала и не могут быть нарушены (например, этажность, протяженность здания и др.). При этом ставится задача оптимизации с заданными с ограничениями и цель достигается при получении оптимального решения с учетом заданных ограничений. В этом случае целесообразно ввести показатель тепловой эффективности проектного решения η, который характеризует отличие принятого к проектированию здания от здания наиболее эффективного в тепловом отношении:

$$\eta = \frac{Q_{\min}}{Q}, 0 < \eta \leq 1. \qquad (5.1)$$

Здесь $Q_{\min}$ - затраты энергии на обеспечение теплового режима здания, наиболее эффективного в тепловом отношении, Вт; Q – затраты энергии на обеспечение теплового режима здания, принятого для проектирования. Максимальная тепловая эффективность достигается при $\eta = 1$.

7. В соответствии с представлением здания как единой энергетической системы тремя основными энегетически взаимосвязанными подсистемами (п. 4) показатель тепловой эффективности проектного решения может быть записан так:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3, \qquad 0 < \eta_i \leq 1, \quad i = 1,2,3. \qquad (5.2)$$

Здесь η_1 - показатель тепловой эффективности в части оптимального учета потенциала наружного климата; η_2 - то же в части оптимального выбора тепловой защиты ограждающих конструкций; η_3 - то же в части оптимального выбора системы обеспечения теплового режима здания.

8. Принятие окончательного решения относится к компетенции ответственного лица (чаще группы лиц), которому предоставлено право окончательного выбора и на которого возложена

ответственность за этот выбор. Делая выбор, он может учитывать наряду с рекомендациями, вытекающими из математического расчета ещё ряд соображений количественного и качественного характера, которые в этих расчетах не были учтены.

5.1.2. Энергоэффективное здание как критерий оценки мастерства архитектора и инженера

При проектировании здания архитектор решает задачу наилучшим образом использовать положительные и максимально нейтрализовать отрицательные воздействия наружного климата на тепловой баланс здания. В это же время инженер решает задачу организации такой системы климатизации здания, которая с наименьшими затратами энергии требуемые параметры микроклимата в помещениях.

Для оценки эффективности частного архитектурно-строительного и инженерного решения желательно иметь объективный критерий. Очевидно, что лучшим результатом работы архитектора и инженера является оптимальное энергоэффективное здание, обеспечивающее минимум расхода энергии в системах его климатизации. Современные методы математического системного анализа позволяют определить оптимальные архитектурные и инженерные решения проектируемого энергоэффективного здания.

При проектировании здания можно выделять архитектурные и инженерные решения [26]:

Архитектурные решения

1. Выбор местоположения здания с учетом климатических особенностей, рельефа местности и существующей застройки в районе предполагаемого строительства
2. Общая архитектурно-планировочная концепция здания
3. Определение формы и ориентации здания
4. Выбор остекления здания (площади и места расположения световых проемов) и солнцезащиты
5. Выбор конструкции и материалов наружной облицовки
6. Выбор объемно-планировочных решений здания (внутренней планировки)
7. Выбор схемы организации освещения

Инженерные решения

1. Выбор источников теплоснабжения, в том числе возможность использования нетрадиционных источников энергии – солнечная, геотермальная, ветровая и т. д.
2. Выбор системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха здания
3. Выбор конструкции и материалов наружных ограждений
4. Выбор системы автоматического (автоматизированного) управления инженерным оборудованием здания

Будем характеризовать энергетическую эффективность здания с оптимальными архитектурными и инженерными решениями величиной затрат энергии на его климатизацию и обозначим эту величину $Q_{\min}$.

Об уровне мастерства архитектора и инженера с точки зрения энергоэффективности здания можно судить, используя соотношение $\eta = \frac{Q_{\min}}{Q}$, которое показывает, насколько представленное решение здания отличается от оптимального.

Очевидно, что этот критерий удовлетворит требованиям заказчика, так как позволит ему судить, насколько удачно он выбрал исполнителей – архитектора и инженера, и насколько

разумно они учли его желание - минимизировать эксплуатационные затраты на эксплуатацию здания.

В соответствии с системным подходом к проектированию энергоэффективного здания величину η можно записать так:

$$\eta = \eta_A \eta_E, \tag{5.3}$$

где

$$\eta_A = \frac{Q^A_{\min}}{Q}, \tag{5.4}$$

$$\eta_E = \frac{Q^E_{\min}}{Q}, \tag{5.5}$$

где $Q^A_{\min}$ - затраты энергии на климатизацию здания с оптимальными архитектурными решениями; $Q^E_{\min}$- затраты энергии на климатизацию здания с оптимальными инженерными решениями.

Теперь η_A можно трактовать как показатель мастерства архитектора, а η_E - как показатель мастерства инженера.

5.1.3 Энергетические возможности наружного климата

Влияние наружного климата на тепловой режим здания и затраты энергии на климатизацию помещений заключается в комплексном воздействии отдельных метеорологических показателей – температуры, влажности, скорости и направления ветра, прямой и рассеянной солнечной радиации, состава и чистоты воздуха. Основным требованием, предъявляемым к математической модели показателей наружного климата, является учет их совместного сочетания. Методами математической статистики и теории вероятности разработаны различные по сложности и точности математические модели наружного климата [27]. Применение их на практике требует статистических данных многолетних метеорологических наблюдений в конкретном регионе. Мы не будем здесь вдаваться в методические тонкости, так как это требует специальной подготовки. Однако, при желании, разработчик всегда может найти в литературе достаточно простую модель, применимую в данном регионе. В частности, в [26] предлагается методика расчета коэффициентов совместной обеспеченности параметров климата. Если считать основными параметрами климата температуру T (или энтальпию h), скорость ветра v, и солнечную радиацию J, а определяющим параметром температуру T, то коэффициенты совместной обеспеченности двухмерных комплексов определяются по формулам:

$$K_{\text{rel}}(T_{\text{cal}}, \text{v}_{\text{cal}}) = 1 - W(T_{\text{cal}}, \text{v}_{\text{cal}}), \tag{5.6}$$

$$K_{\text{rel}}(T_{\text{cal}}, \text{J}_{\text{cal}}) = 1 - W(T_{\text{cal}}, \text{J}_{\text{cal}}), \tag{5.7}$$

где нижний индекс *cal* указывает на расчетное значение соответствующего параметра климата, полученное статистической обработкой климатических данных; $W(T_{\text{cal}}, \text{v}_{\text{cal}})$, $W(T_{\text{cal}}, \text{J}_{\text{cal}})$ - совместная вероятность, также определяемая статистической обработкой климатических данных [26].

Величина коэффициента совместной обеспеченности равна вероятности того, что значение основного параметра T не равно расчетному или значение параметра, описывающего энергетические возможности наружного климата, находится вне рабочего интервала.

Если параметры T, v, J попарно независимы, то совместный коэффициент обеспеченности расчетных значений можно определить из соотношения:

$$K_{\mathrm{rel}}\left(T_{\mathrm{cal}},\mathrm{v}_{\mathrm{cal}},\mathrm{J}_{\mathrm{cal}}\right)=\mathrm{K}_{\mathrm{rel}}\left(T_{\mathrm{cal}},\mathrm{v}_{\mathrm{cal}}\right)K_{\mathrm{rel}}\left(T_{\mathrm{cal}},\mathrm{J}_{\mathrm{cal}}\right). \quad (5.8)$$

5.1.4. Оптимальный учет воздействия наружного климата в тепловом балансе здания

Методика излагается в соответствии с работой [26]. Известно, что интенсивность солнечной радиации, скорость и направление ветра, температура наружного воздуха изменяются в весьма широких пределах в зависимости от географического положения, орографии, микрорельефа местности и времени года. Воздействие наружного климата на ограждающие конструкции здания целесообразно характеризовать метеорологическим градиентом, который учитывает величину, направление и повторяемость показателей наружного климата. В каждой местности для отдельных характерных периодов времени имеет место свой метеорологический градиент, оказывающий направленное воздействие на формирование теплового режима различно ориентированных помещений, так что в результате совокупного действия ветра, солнечной радиации и температуры различно ориентированные помещения имеют существенно отличающиеся теплопотери или теплопоступления.

Анализ воздействия солнечной радиации на вертикальные поверхности зданий в зависимости от их ориентации, времени года и географической широты расположения показал:

- в летний период наибольшие суммы теплоты прямой солнечной радиации за сутки поступают на вертикальные поверхности юго-восточной и юго-западной ориентации. В северных широтах России эта величина достигает 4300 Вт·сутки/м^2, а в южных широтах эта величина в два раза меньше; особенно резко возрастает с широтой количество прямой солнечной радиации, поступающей на стены южной ориентации;

- в зимний период наибольшее количество теплоты от прямой солнечной радиации поступает на стены зданий южной ориентации. С уменьшением географической широты местности суточные суммы теплоты солнечной радиации на стены зданий южной ориентации возрастают почти в три раза: от 1860 Вт·сутки/м^2 на 64° с.ш. до 5117 Вт·сутки/м^2 на 38° с.ш.; последняя величина в 4,5 раза превышает соответствующее значение в летнее время года, равное 1047 Вт·сутки/м^{2}на 38° с.ш.;

- в летний период на всех широтах наибольшее количество теплоты от рассеянной солнечной радиации при безоблачном небе поступает за сутки на стены восточной и западной ориентации: 1300 – 1400 Вт·сутки/м^2 соответственно на 38° и 64° с.ш.; в широтном распределении величина рассеянной солнечной радиации, приходящаяся на вертикальные поверхности, отличается значительно большим постоянством, чем прямая радиация. Например, для южной ориентации она изменяется от 1117 Вт·сутки/м^2 на 38° с.ш. до 1396 Вт·сутки/м^{2}на 64° с.ш.;

- в зимний период поверхность южной ориентации получает в течение суток теплоты от рассеянной солнечной радиации в два раза больше, чем горизонтальная поверхность.

Анализ закономерностей поступления теплоты солнечной радиации на поверхности открывает большие возможности для уменьшения затрат энергии на отопление помещений в холодный период года и охлаждение помещений в теплый период года.

Наряду с солнечной радиацией и температурой наружного воздуха скорость и направление ветра также относятся к числу важнейших, а часто и решающих факторов, оказывающих влияние на тепловой баланс здания.

Задачу наилучшего учета положительного и нейтрализации отрицательного воздействия климата на здание необходимо рассматривать в двух аспектах. Во-первых, в части разработки методики обработки климатической информации для целей строительного проектирования. Во-вторых, в части выбора ориентации и габаритов здания, которые наилучшим образом учитывают положительное и уменьшают отрицательное воздействие наружного климата на его ограждения. В дальнейшем рассмотрен второй аспект.

Теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания может быть оптимизировано за счет выбора формы здания, расположения и площади заполнения световых проемов, регулирования фильтрационных потоков.

Наружные ограждающие конструкции защищают помещение от непосредственных атмосферных воздействий, а системы отопления и вентиляции поддерживают определенные параметры внутреннего климата. В общем случае можно считать, что влияние солнечной радиации на тепловой баланс помещения в холодный период года является положительным, а в теплый период года отрицательным; влияние ветра, наоборот, холодный период года является отрицательным, а в теплый период года это явление может быть в дневное время отрицательным, а в ночное – положительным. Особое значение имеет то обстоятельство, что количественное влияние солнечной радиации и ветра на тепловой баланс здания при одной и той же общей полезной площади или при одном и том же полезном объеме зависит от его ориентации и габаритов. Действительно, здание, расположенное на юге и имеющее широтную ориентацию, получает большее количество теплоты в зимнее время, чем здание, имеющее меридиональную ориентацию. В то же время, здание расположенное развитой поверхностью к господствующему направлению ветра, будет терять в зимнее время больше теплоты. Следовательно, имеет смысл говорить об оптимизации влияния солнечной радиации и ветра на тепловой баланс здания. Будем считать, что возможно определить габариты и ориентацию здания, наиболее эффективного в тепловом отношении, то есть здания с минимальными теплопотерями в холодный период года и с минимальными теплопоступлениями в теплый период года, за счет оптимального учета в тепловом балансе здания теплоэнергетического воздействия солнечной радиации и ветра на различно ориентированные поверхности.

Методология проектирования систем отопления, вентиляции, кондиционирования основана на расчетах тепловых и воздушных балансов здания для характерных периодов года. Этими периодами являются наиболее холодная пятидневка, отопительный период, самый жаркий месяц, период охлаждения, расчетный год. В этом случае оптимальный учет теплоэнергетического воздействия наружного климата в тепловом балансе здания за счет выбора его формы и ориентации даст следующие результаты:

- для наиболее холодной пятидневки – снижение затрат теплоты на отопление;

- для самого жаркого месяца – снижение установочной мощности системы кондиционирования воздуха;

- для периода охлаждения – снижение затрат энергии на охлаждение здания;

- для расчетного года – снижение затрат энергии на отопление и охлаждение здания.

В общем случае оптимальным образом учесть теплоэнергетическое воздействие наружного климата в тепловом балансе здания можно для любого характерного периода времени.

Важно отметить следующее: изменение формы, размеров и ориентации здания с целью оптимального учета влияния наружного климата в его тепловом балансе не требует изменения площадей или объема здания – они сохраняются фиксированными.

Ориентация и размеры здания, обеспечивающие наименьшие затраты энергии для поддержания определенных параметров внутренней среды за счет оптимального учета теплоты солнечной радиации и ветра в тепловом балансе помещения, могут быть определены на основе минимизации *удельной тепловой характеристики* здания, вычисляемой как частное от деления затрат тепловой энергии на его отопление или охлаждение к величине общей полезной площади F_o и обозначаемой q_{F_o} или к величине объема здания V_o и обозначаемой q_{V_o}.

Задача оптимизации ориентации и размеров здания имеет следующее содержание: среди всех зданий, имеющих одну и ту же полезную площадь или одинаковый объем, ваыбрать такое, которое при прочих равных условиях требует минимальных затрат энергии на его отопление в холодный период года и охлаждение в теплый период года. Здесь в качестве целевой функции, которую предстоит минимизировать, приняты затраты энергии. Учитывая то обстоятельство, что затраты теплоты или холода как энергетические показатели имеют одну и ту же размерность, но существенно различную стоимость, в качестве целевой функции желательно принимать затраты энергии на отопление или охлаждение здания в их стоимостном выражении. По существу, эта величина может быть рассмотрена как эксплуатационные затраты. В результате задача теплоэнергетической оптимизации ориентации и размеров здания математически запишется так: определить минимум целевой функции $E \to \min$ при $F = F_0 = \text{const}$ или $V = V_0 = \text{const}$, где E – эксплуатационные затраты в годовом цикле, вычисляемые по формуле:

$$\mathrm{E} = \int_{t_1}^{t_2} C_H Q_H \mathrm{dt} + \int_{t_3}^{t_4} C_C Q_C \mathrm{dt}, \tag{5.9}$$

где C_H, C_C – стоимость единицы теплоты и единицы холода, руб/Вт; Q_H, Q_C – соответственно затраты тепловой энергии на отопление и охлаждение зданий, Вт; (t_2 – t_1), (t_4 – t_3) – соответственно периоды отопления и охлаждения зданий, ч.

Следует отметить, что C_H и C_C в общем случае являются функциями времени (например, ночной и дневной тарифы на электрическую энергию, используемую для климатизации зданий).

Количество тепловой энергии, необходимой для отопления или охлаждения здания, определяется для каждого момента времени как результат суммирования его теплопотерь и теплопоступлений, то есть путем решения уравнения теплового баланса внутреннего воздуха.

Уравнение для определения необходимого количества энергии для отопления или охлаждения здания при заданной внутренней температуре воздуха следующее:

$$\sum_{i=1}^{6} q_{Enc,i} F_{Enc,i} + \sum_{i=1}^{5} q_{w,i} F_{w,i} + Q_F = Q, \tag{5.10}$$

где $q_{Enc,i}$- удельные тепловые потоки через наружные ограждения конструкции, Вт/м^2 (i= 1, 2, 3, 4 относятся к стенам, i= 5 – к покрытию, i = 6 – к перекрытию), определяются как при помощи математической модели ограждения, представленной в [26]; $F_{Enc,I}$ – площадь наружных стен, покрытия и перекрытия, м^2; $q_{W,I}$ – удельные тепловые потоки через заполнения световых проемов, Вт/м^2, определяются как:

$$q_{w,i} = \frac{1}{F_{w,i}} \left(Q_{T,W} + Q_{F,W} + Q_{A,B} + Q_{T,H} \right) \tag{5.11}$$

и рассчитываются при помощи математической модели, представленной в [26], предполагая, что теплопоступления от солнечной радиации, проходящей через заполнение световых проемов, идет на обогрев внутреннего воздуха помещения; $F_{w,i}$- площадь заполнения светового проема, м^2; Q_{AB} – теплопотери за счет механической или естественной вентиляции, Вт.

Рассмотрим прямоугольное в плане здание. Введем обозначения: F_0 – общая полезная площадь здания, м^2; a – длина здания, м; b – ширина здания, м; H – высота этажа, м; Z – число этажей; $F_п$ – общая полезная площадь на одном этаже, м^2. Кроме того, будем считать, что площади наружных вертикальных ограждающих конструкций (стен и заполнений световых проемов) со стороной «a» равны $F_1 = F_3 = aZH$; соответственно со стороной «b» равны $F_2 = F_4 = bZH$; тогда площади покрытия и перекрытия $F_5 = F_6 = ab$. Пусть коэффициент остекления наружного ограждения i-ориентации будет P_i, тогда уравнение (5.10) может быть переписано как:

$$\sum_{i=1}^{6} q_{Enc,i}(1-P_i) F_{Enc,i} + \sum_{i=1}^{5} q_{w,i} P_i F_{w,i} + Q_F = Q. \tag{5.12}$$

Для перекрытий P_6 = 0. Правую и левую части последнего уравнения разделим на F_0:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{F_0} = & \sum_{i=1,3} \left[q_{Enc,i}(1-P_i) + q_{w,i} P_i \right] \frac{aHZ}{abZ} + \\ & + \sum_{i=2,4} \left[q_{Enc,i}(1-P_i) + q_{w,i} P_i \right] \frac{bHZ}{abZ} + \\ & + \left[q_{Enc,5}(1-P_5) + q_{w,5} P_5 + q_{Enc,6} \right] \frac{ab}{abZ} + Q_F \frac{1}{F_0}. \end{aligned} \tag{5.13}$$

Обозначим $q_{F_0} = \frac{Q}{F_0}$ - удельная тепловая характеристика здания, Вт/м^2.

Оптимальные значения a_{opt} и b_{opt} обеспечивающие при заданной общей полезной площади здания минимальные затраты энергии на его отопление или охлаждение, определяются минимизацией удельной тепловой характеристики здания как функции переменных a и b. Выполнив соответствующие вычисления, получим:

$$a_{opt} = \left(\frac{HF_0 \left\{ \sum_{i=2,4} \left[q_{Enc,i}(1-P_i) + q_{w,i} P_i \right] \right\}^2}{q_{Enc,5}(1-P_5) + q_{w,5} P_5 + q_{Enc,6} + \sum_{i=1,3} \left[q_{Enc,i}(1-P_i) + q_{w,i} P_i \right]} \right)^{\frac{1}{3}}, \tag{5.14}$$

$$b_{\text{opt}} = \left(\frac{\text{HF}_0 \left\{ \sum_{\text{i}=1,3} \left[q_{\text{Enc,i}}(1-P_i) + \text{q}_{\text{w,i}} P_i \right] \right\}^2}{q_{\text{Enc,5}}(1-P_5) + \text{q}_{\text{w,5}} P_5 + \text{q}_{\text{Enc,6}} + \sum_{\text{i}=2,4} \left[q_{\text{Enc,i}}(1-P_i) + \text{q}_{\text{w,i}} P_i \right]} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (5.15)$$

Соответственно получим выражение для вычисления оптимального количества этажей Z_{opt} и минимальной удельной тепловой характеристики здания $q_{F_0}^{\min}$:

$$Z_{\text{opt}} = \frac{F_0}{a_{\text{opt}} b_{\text{opt}}}, \quad (5.16)$$

$$q_{F_0}^{\min} = 3 \left\{ \frac{H^2}{F_0} \left[q_{\text{Enc,5}}(1-P_5) + \text{q}_{\text{w,5}} P_5 + \text{q}_{\text{Enc,6}} \right] \Psi \right\}^{\frac{1}{3}}, \quad (5.17)$$

где

$$\Psi = \left\{ \sum_{\text{i}=1,3} \left[q_{\text{Enc,i}}(1-P_i) + \text{q}_{\text{w,i}} P_i \right] \right\} \left\{ \sum_{\text{i}=2,4} \left[q_{\text{Enc,i}}(1-P_i) + \text{q}_{\text{w,i}} P_i \right] \right\}. \quad (5.18)$$

Аналогично решается задача определения оптимальных размеров и удельной тепловой характеристики здания при наложении ограничений на его размеры и объем. Дальнейшие вычисления и наиболее характерные частные случаи рассмотрены в [26].

Оптимизация затрат энергии на климатизацию помещения. Задача может быть рассмотрена как задача оптимального управления [28]. Дадим следующую формулировку задачи оптимальных затрат энергии на климатизацию помещения, рассматривая её как задачу оптимального управления: найти такое управление *Q(t)* расходом энергии, затрачиваемой на изменение температуры помещения, и такое решение системы уравнений теплового баланса данного помещения как единой энергетической системы, удовлетворяющее начальным условиям, для которых функционал

$$\text{W} = \int_{t_0}^{t_1} Q(t) \text{dt}, \quad (5.19)$$

принимает наименьшее возможное значение.

Функционал (5.19), который требуется оптимизировать, определяет затраты энергии на климатизацию помещения. Управление *Q(t)*, дающее решение поставленной задачи, называется оптимальным управлением, соответствующим переходу от начальной температуры к конечной температуре, а соответствующая траектория изменения температуры объекта – оптимальной траекторий. Постановку и решение задачи можно найти в [26].

5.2 Общие требования энергоэффективности к зданиям

В предыдущем пункте был изложен формальный подход к проектированию ЗЭИЭ. В данном пункте в более доступной форме рассматриваются вопросы энергетической эффективности зданий, а также некоторые практические решения [19].

Анализ возможностей по минимизации затрат энергии при эксплуатации зданий, должен начинаться уже на стадии разработки градостроительной документации, генпланов застройки и планировки населенных пунктов, отдельных районов, предприятий. Проектирование должно выполняться с оценкой вариантов размещения зданий на местности с учетом влияния существующих зданий и сооружений, а также природных объектов. Для обеспечения снижения энергопотребления отдельных зданий к планировке выдвигаются следующие требования:

- компактность застройки;
- компактность и рациональность форм зданий;
- обеспечение максимального пассивного и активного использования солнечной энергии;
- рациональное использование земель;
- эффективное энергоснабжение, использование возобновляемых источников энергии;
- эффективное управление отведением поверхностных сточных вод и удалением отходов;
- обеспечение доступности общественного транспорта.

Следует отметить, что указанные требования должны находить и находят отражение в действующих нормах планировки и застройки.

Компактность застройки подразумевает размещение новых объектов строительства в населенных пунктах таким образом, чтобы оно не приводило к значительному удлинению существующих коммуникаций, что неизбежно ведет к повышению потерь при подаче электрической и тепловой энергии в здания, а также увлечению затрат при последующей эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения зданий. Ориентирование и размещение здания должно выбираться таким образом, чтобы здание располагалось вне направлений господствующих ветров, и не находилось в образующихся своеобразных «аэродинамических трубах» созданных уже построенными зданиями и сооружениями, что ведет к возрастанию ветровой нагрузки и связанных с этим дополнительных потерь теплоты.

Следует также использовать потенциал древесных насаждений для снижения ветровой нагрузки на проектируемые здания. Ориентацию зданий следует принимать по возможности более открытой в южную сторону, что будет способствовать снижению перегрева здания в период летних пиков солнечного излучения и его использование в зимние месяцы. При этом расстояния между смежными домами должны приниматься с учетом эффективной солнечной инсоляции в зимний период времени, то есть размещение зданий не должно блокировать поступление солнечного света к фасадам других зданий.

Пассивное использование солнечной энергии в здании должно сочетаться с легко регулируемой системой отопления. Если принять энергопотребление здания при оптимальном размещении за 100%, то при прочих одинаковых условиях изменение ориентации увеличивает энергопотребление во время эксплуатации здания до 5-7%

Еще один аспект, связанный с пассивным использованием солнечной энергии, – это рациональное расположение помещений в здании. Так, помещения с высокой потребностью в свете, тепле и солнечном излучении, такие как учебные классы и аудитории, жилые комнаты в квартирах, помещения с постоянным присутствием людей в административных зданиях, должны размещаться на солнечной стороне здания. Помещения с меньшей потребностью в свете и тепле, такие как лаборантские, кладовые, лестничные пространства, могут располагаться на северной стороне.

Уровень энергопотребления при ориентировании здания зависит от строительной формы здания и площади окон. Исходя из этого, могут определяться параметры окон - направление оконных проемов, их площадь, и выбираться характеристики стекла, например, может использоваться специальная тонировка стекла для регулирования светопроницаемости. В проектах домов с хорошей степенью пассивного использования солнечной энергии большие окна устанавливаются на южном фасаде с высокой инсоляцией, средней величины на восточной

и западной стороне и только очень маленькие или вовсе без них на северной стороне. Чем больше площадь окон, тем больше возможности в использовании инсоляции, особенно при хорошей теплоизоляции здания. С другой стороны, с увеличением площади окон увеличиваются потери тепла из-за более низкого коэффициента теплового сопротивления окон по сравнению с внешними стенами. Поэтому необходимая площадь окон ограничивается исходя из потребности в световой инсоляции.

Другой стороной пассивного использования энергии солнца в зданиях является снижение интенсивности инсоляции в летний период времени. Нагревание за счет солнечной радиации летом может стать чрезмерным и приводит к значительным затратам электроэнергии, потребляемой кондиционерами. Для решения этой задачи используются как высокотехнологичные решения, например, применение специальных оконных стекол, отражающих большую часть теплового излучения, так относительно простые устройства, такие как подвижные дефлекторы – специальные изогнутые козырьки над окнами [19] (см. рис. 5.1)

Регулировка дефлектора на окне позволяет достигать отражения значительной части солнечных лучей, либо при необходимости направлять солнечный свет на слабоосвещенные пространства внутри помещений (рис. 5.2).

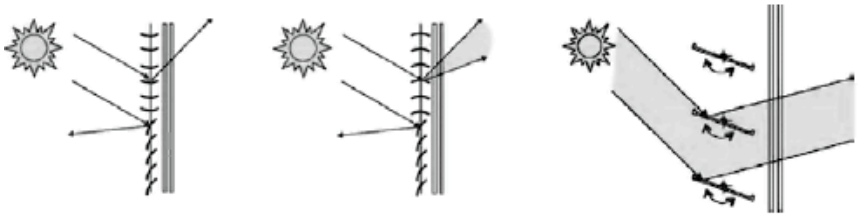


Рис. 5.1 Схема регулирования поступления солнечного света дефлекторами [19]

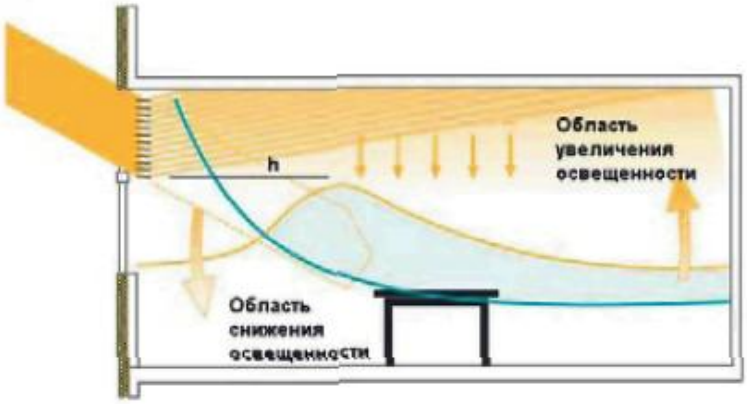


Рис. 5.2 Схема изменения освещенности в помещении с помощью дефлекторов [19]

Одним из требований к современным зданиям является высокая компактность строительных форм. Для оценки данного требования используется параметр A/V – отношение общей площади поверхности здания (A) к отапливаемому объему здания (V). Этот соотношение во многом определяет потребность в энергии для отопления здания. Компактность строительных форм означает снижение значения A/V и уменьшает потребность в энергии. Эффективные здания имеют данное соотношение порядка 0,5. В этом отношении предпочтительно использование правильных форм зданий близких к кубическим.

Здания с вычурными архитектурными формами не обладают хорошими теплотехническими характеристиками. Поэтому многие здания, построенные в 60-80 годы, имеют несовершенные

формы с этой точки зрения. Например, традиционные проекты зданий школ имеют, как правило, форму удлиненных прямоугольных строений, часто с разной этажностью за счет вынесенных из основного массива помещений спортивных и актовых залов. Поэтому с позиций теплотехники такие формы не отличаются эффективностью, так как площадь поверхности здания становится очень большой. С другой стороны, требования архитектурной эстетики и необходимость размещения различных по объему помещений трудно совместимы с рациональными кубическими формами. Поэтому проектирование зданий, которые бы сочетали в себе внешнюю привлекательность, удобное расположение помещений и высокие теплотехнические параметры является на сегодняшний день актуальной задачей.

5.3 Снижение тепловых потерь зданий

5.3.1 Тепловая изоляция зданий

Потребление тепловой энергии для отопления зданий составляет значительную долю в балансе энергопотребления. С учетом использования тепловой энергии для горячего водоснабжения, а также для административных и производственных зданий, можно оценить долю тепловой энергии, направляемой на отопление близкой к 55-60%. Близкие оценки приводятся и для домохозяйств Германии, где затраты на отопление составляют порядка 53% от энергопотребления в коммунальном секторе. При этом при изучении общественного мнения по данной теме в Германии, респонденты считали, превалирующая часть потребления энергии в быту расходуется электроприборами.

Данные свидетельствуют о значительном потенциале снижения энергопотребления за счет совершенствования конструкций зданий и систем поддержания микроклимата в них, поскольку наиболее высоким является именно потребление тепловой энергии. С другой стороны, мы имеем дело с некорректной оценкой важности данного аспекта в восприятии людей, что требует постоянной разъяснительной работы с населением.

Теплоизоляция и герметизация зданий являются весьма привлекательными направлениями в плане снижения потерь тепловой энергии при отоплении зданий. Продолжительное время строительство зданий осуществлялось с минимальным использованием теплоизоляционных элементов в них. Такой подход основывался на возможности получения относительно дешевой энергии для отопления. Это привело к тому, что к 2000 году в Беларуси потребление энергии на отопление жилых помещений составляло 80-120 МДж/м^2 год [19]. Аналогичные оценки и для России. Для сравнения, в Финляндии, стране с более суровым климатом, данный показатель составляет 45-50 МДж/м^2 год.

Если рассмотреть физические основы процесса теплообмена здания с окружающей средой (см. п. 4.2), то большая часть потерь теплоты из зданий происходит за счет процесса теплопередачи (трансмиссионные потери Q_{tr}) и при инфильтрации (Q_{inf}), обусловленной воздухообменом помещений:

$$Q_p = \mathrm{Q_{tr}} + \mathrm{Q_{inf}}, \tag{5.20}$$

при этом теплопередача через стену, как правило определяется по зависимости

$$Q_{\mathrm{tr}} = \mathrm{KF\Delta t} \tag{5.21}$$

где K – коэффициент теплопередачи многослойной конструкции (однородной или неоднородной); $\Delta \mathrm{t} = (t - t_{\mathrm{ext}})$ – перепад температуры на ограждении; F – расчетная площадь

поверхности ограждения; t, t_{ext} – соответственно температура воздуха внутри и снаружи ограждения.

Коэффициент теплопередачи многослойной однородной конструкции вычисляют по формуле (4.5)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

из которой видно, что величины теплопередачи и соответственно потерь тепла из зданий определяются толщиной ограждающих конструкций и их теплофизическими свойствами. Теплоизолирующий эффект различных конструкционных материалов зависит от их пористости. Поскольку воздух имеет меньший коэффициент теплопроводности, чем бетон и металл, то пористые материалы будут иметь меньшие значения теплопроводности чем однородные (рис. 5.3).

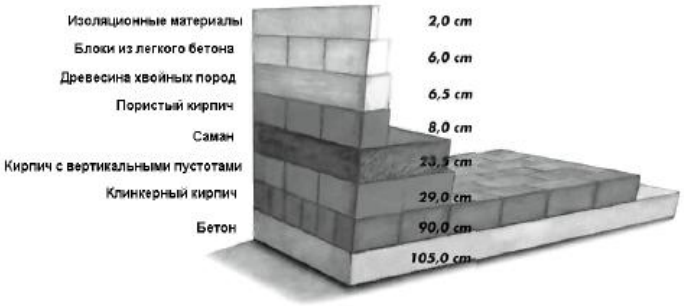


Рис. 5.3 Теплоизолирующий эффект от различных конструкционных материалов [19]

С другой стороны, прочностные свойства конструкционных материалов находятся в обратной зависимости, поэтому при проектировании зданий должны учитываться как теплотехнические, так и требования к несущей способности конструкций. Ужесточение требований к уровню потерь тепла в зданиях вызвало интерес к проектированию каркасных и полукаркасных типов зданий, в которых ограждающие конструкции не имеют несущих нагрузок. Это позволяет более широко использовать для их сооружения материалы с высокими теплоизоляционными свойствами.

Тепловой поток за счет инфильтрации рассчитывается по формуле

$$Q_{inf} = G_{inf} c_{рв} \Delta t, \qquad (5.22)$$

где G_{inf} - расход инфильтрующегося воздуха, кг/с, зависящий от сопротивления воздухопроницанию ограждающей конструкции и перепада давления воздуха на ограждении.

Формула 5.22 показывает, что при увеличении герметизации здания, величина неорганизованного воздухообмена снижается и соответственно уменьшаются и теплопотери. Если рассмотреть характер распределения теплопотерь через ограждающие конструкции зданий, то в среднем оно выглядит следующим образом [19]:

- стены 42-49%;
- окна 32-36%;
- подвальные и чердачные перекрытия 11-18%;
- входная дверь 5-15%.

Подходы к решению проблемы теплоизоляции зданий различаются в зависимости от того, планируется ли строительство нового здания или рассматривается реконструкция

существующих зданий. В настоящее время вновь строящиеся здания должны удовлетворять требованиям более жестких норм строительной теплотехники, нежели в предшествующие годы. При этом во многих странах происходит постоянное ужесточение требований к ограждающим конструкциям по величине теплосопротивления.

При новом строительстве повышенные требования к снижению теплопотерь учитываются при проектировании зданий путем выбора соответствующих материалов (в том числе термоизоляционных) и использования рациональных конструкций здания [19] (рис.5.4).

При модернизации уже построенных зданий, возможности выбора технических решений по термоизоляции ограничены существующей конструкцией здания. В данном случае оцениваются возможности повышения теплотехнических свойств здания и затраты на проведение такого рода работы. В ряде случаев строительство нового здания может оказаться более приемлемым в экономическом плане, нежели проведение тепловой модернизации.

Рис 5.4 Схемы конструкций схем с увеличенным термическим сопротивлением [19]

В настоящее время выпускается большое количество видов теплоизолирующих материалов на основе минеральных ват, полистирола, пенопластов и других минеральных синтетических материалов. Все более широкое распространение получают теплоизоляционные материалы, произведенные на основе натуральных ингредиентов (целлюлозы, льна и других). Теплоизоляция может производиться за счет использования многослойной конструкции ограждающих стен, когда утеплитель укладывается между слоями несущих конструкционных материалов, либо путем крепления утеплителя на наружных стенах и(или) внутри помещений. Из более простых способов тепловой модернизации зданий в настоящее время используется частичная или полная теплоизоляция внешних стен, а также и уменьшение теплопотерь через окна путем использования оконных блоков с повышенными теплоизоляционными свойствами.

Мировой опыт в данном направлении несколько шире, в частности при модернизации старых зданий производится ликвидация тепловых мостиков, как правило, заменяются системы вентиляции, отопления и т. д. В качестве примера можно привести здание 1962 года постройки, в результате модернизации которого получено снижение потребления тепловой энергии с 260 кВт ч/м^2 в сутки до 65 кВт ч/м^2, т.е на 75%. При этом 6% сокращения дало утепление кровли и чердака, 23% – установка герметичных окон вместо обычного остекления, 32% – теплоизоляция стен, 2% – теплоизоляция пола, 12% – замена котла на жидком топливе 70-х годов выпуска на современный газовый.

Значительные потери теплоты сосредотачиваются в называемых мостиках холода или тепловых мостиках – это конструктивные участки здания, на которых из-за нарушения непрерывности теплоизоляционной оболочки происходит повышенная теплоотдача. Различают тепловые мостики, обусловленные геометрией зданий (выступы и углы зданий), а также возникающие при контакте материалов с разными теплотехническими свойствами. Поэтому при проектировании новых зданий и реконструкции существующих важной задачей является минимизация негативного влияния тепловых мостиков.

В конструкции здания можно выделить ряд элементов, в которых возникают тепловые мостики, например, перекрытия между отапливаемыми помещениями и подпольями (рис. 5.5).

Устранение тепловых мостиков в конструктивных элементах зданий производится путем предотвращения контакта хорошо проводящих тепло материалов и поверхностей, имеющих значительную разницу в температурах при их обычной эксплуатации. Технические приемы для реализации таких методов в различных элементах зданий приведены на рисунках 5.6 – 5.8.

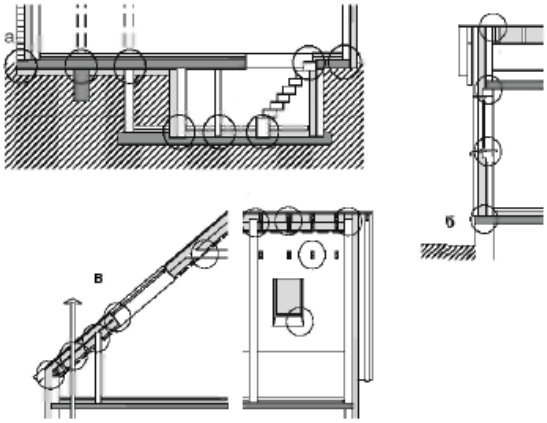


Рис. 5.5 Места образования тепловых мостиков в зданиях [19]
а – цокольный этаж; б – ограждающие конструкции; в – крыша и чердачное помещение

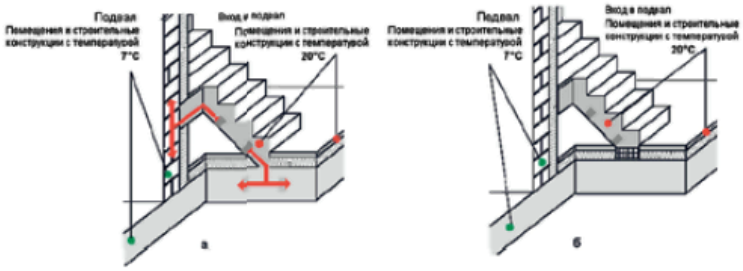


Рис. 5.6 Существующие тепловые мостики (а) на участке входа в подвальные помещения и технические решения по их минимизации (б) [19]

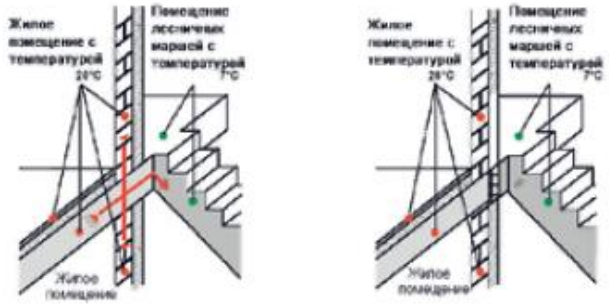


Рис. 5.7 Существующие тепловые мостики (а) на лестничных помещениях и технические решения по их минимизации (б)

Рис. 5.8 Тепловые мостики при наличии выступов на наружных конструкциях стен (а) и технические решения по снижению теплопотерь (б) [19]

5.3.2. Снижение потерь теплоты через окна

Окна играют важную роль в оформлении интерьеров помещений и фасадов зданий. Качественное окно может быть надежной защитой от холода, шума, пыли. Проблемные окна могут привести к бесполезной трате огромного количества энергии на отопление. Традиционно окна зданий изготавливались из деревянных элементов с остеклением с одним или двумя оконными рамами. К одинарным оконным рамам в холодный период времени устанавливали дополнительную вторую оконную раму. Такая практика была обычной для односемейных домов. В многоэтажных домах и общественных зданиях двойные рамы монтировались стационарно. Такие традиции в строительстве существовали довольно долго.

В настоящее время традиционная конструкция окон уже не удовлетворяет возросшему уровню теплотехнических требований. Как указывалось ранее, через окна может теряться до трети тепловой энергии потраченной на отопление. Таким образом, утепление окон может дать существенный выигрыш в снижении энергопотребления. Сегодня мы имеем довольно обширный выбор предложений в этой области. Можно модернизировать окна, установивстеклопакеты, можно попытаться усовершенствовать традиционные конструкции.

Наиболее распространенным способом модернизации окон является замена традиционных конструкций оконных проемов на герметичные. Установка герметичного окна снижает потери за счет уменьшения притока холодного воздуха через окно и повышения сопротивления теплопереносу через площадь стеклопакета.

Стеклопакеты изготавливаются из блока, состоящего из двух и более оконных стекол, между которыми установлена дистанционная рамка. По всему периметру стеклопакета по краям монтируется специальный профиль, который склеивается с оконными стеклами через двухступенчатое уплотнение для пароизоляции и обеспечения герметичности конструкции. В пространство между стеклами не должен попадать воздух, поскольку это приводит к запотеванию стекол и потере прозрачности.

Стеклопакеты могут выполнять функции теплоизоляции, защиты от чрезмерной солнечной радиации, звукоизоляции, противопожарной защиты, защиты от несанкционированного проникновения в помещение, а также совмещать ряд этих функций. Профили стеклопакетов могут изготавливаться из поливинилхлорида (ПВХ) или дерева. В последнем случае используются не цельные деревянные бруски для изготовления элементов профиля, а так называемые сандвич-панели или сандвич-бруски. Такие бруски состоят из деревянных полос и одного либо нескольких слоев полимерных материалов, что позволяет получить герметичные комбинированные оконные профиля с высокими теплотехническими характеристиками.

Для усиления теплоизолирующего эффекта пространство между стеклами может заполняться инертным газом – аргоном. Существуют конструкции стеклопакетов, у которых в пространстве между стеклами создается вакуум, а на внутреннюю сторону стекла наносится невидимый теплоотражающий слой серебра.

Сопротивление теплопередаче оконного стеклопакета составляет в среднем 0,3-1,0 $м^2 \cdot °С/Вт$ и зависит от количества стекол и других особенностей конструкции стеклопакета. Увеличение количества стекол в стеклопакете не только повышает сопротивление теплопередаче, но и существенно снижает прозрачность остекления, а также приводит к утяжелению оконного блока. В связи с этим более предпочтительным представляется применение специальных высокоэффективных теплозащитных стекол, которые позволяют повысить коэффициент сопротивления теплопередаче до 0,7-1,2 $м^{20}$ С/Вт и более.

Конструкции профилей стеклопакетов могут совершенствоваться за счет исключения хорошо теплопроводящих металлических элементов, включения в промежуточное пространство между стеклами специальных отражающих пленок. В качестве теплозащитных стекол могут использоваться два типа стекол. На первый тип (так называемое К-стекло) наносится стойкое прозрачное пиролитическое покрытие, которое включает ряд компонентов, по большей части металлов. Оно обеспечивает прохождение солнечной энергии в здание и практически не снижает прозрачность, при этом существенно сокращает тепловые потери через окно. Покрытие пропускает коротковолновую солнечную энергию в помещение, но не пропускает наружу длинноволновое тепловое излучение, например, от отопительных приборов. На второй тип стекла (так называемое «I-стекло») наносится покрытие методом электромагнитного напыления в вакууме, во время которого частицы оксидов металлов оседают на стекло. Преимущество данного метода состоит в получении стекла, покрытого равномерным качественным теплозащитным слоем. Основным недостатком такого типа стекла является его пониженная абразивная стойкость по сравнению с К-стеклом, что представляет определенные неудобства при транспортировке и хранении.

Теплозащитное остекление (коэффициент сопротивления теплопередаче от 0,8 $м^2$С/Вт) позволяет значительно уменьшить потери энергии: в отопительный сезон можно экономить на каждом квадратном метре оконной площади современного теплозащитного остекления по сравнению с:

- простым стеклом – 400 кВт ч/$м^2$;
- однокамерным стеклопакетом – 165 кВт ч/$м^2$;
- двухкамерным стеклопакетом – 165 кВт ч/$м^2$.

Чем больше площадь окон дома, тем большее значение приобретает качество остекления и его теплозащитные свойства. Ежегодная экономия энергии на отопление в жилом доме при замене однокамерных стеклопакетов на теплозащитное остекление со средней площадью окон 20 м^2 составляет приблизительно 3300 кВтч.

Применение герметичных оконных конструкций позволяет существенно снизить теплопотери за счет ликвидации поступления холодного воздуха извне помещения через неплотности в окнах и увеличения сопротивления теплопередаче через площади остекленных проемов. Однако применение герметичных оконных конструкций может привести к проблемам, связанным с недостаточной вентиляцией, повышенной влажностью в помещениях и появлением грибковых поражений.

Еще один подход к реконструкции оконных систем заключается в установке стеклопакетов в негерметичные деревянные рамы традиционных конструкций. Таким образом, сохраняется привычная система организации вентилирования помещений через негерметичные окна. Улучшение теплотехнических параметров окна достигается за счет меньшего теплообмена через площадь остекления благодаря большему сопротивлению теплопередаче у стеклопакета в сравнении с обычным листовым стеклом. Этот прием может быть достаточно эффективным в существующих условиях. Недостаток этого способа в том, что модернизация может выполняться только для большого количества оконных проемов, поскольку производство стеклопакетов для отдельных окон может быть экономически невыгодно.

Еще более простым и доступным способом снижения теплопотерь через окна является улучшение теплотехнических характеристик обычных окон с листовым стеклом. К таким методам можно отнести как сезонное утепление окон путем оклейки или дополнительного уплотнения, так и проведение более сложных работ по созданию утепляющих приспособлений с длительным сроком эксплуатации, в том числе установка дополнительных стекол, переплетов или специальных уплотнительных материалов между элементами окна.

Следует отметить, что за счет использования таких простейших методов утепления окон достижение нормативных требований по сопротивлению теплопередаче 0,6-1,0 м^{2}С/Вт не осуществимо, поэтому такие работы не могут быть использованы при ремонтах и реконструкции зданий. Область их применения ограничена сезонной подготовкой к осенне-зимней эксплуатации зданий, для которых не запланированы работы по ремонту или реконструкции в ближайшей перспективе.

5.3.3 Герметизация и организация вентиляции в зданиях с минимизацией потерь теплоты

Для снижения потерь, связанных с диффузионным теплопереносом с воздухом здания по возможности должны быть герметичными, т.е. неорганизованный воздухообмен через различные неплотности необходимо свести к минимуму. Для оценки степени герметичности зданий и отдельных помещений используется специальная установка “blower door”, монтируемая на входных дверях. Установка оснащена измерительными приборами и устройствами для снижения давления внутри помещения. Степень герметичности можно оценить по изменению давления в течение времени. Кроме того, проведение такого испытания помогает установить отдельные точки в помещении с высокой диффузией воздуха.

Повышение герметичности конструкции здания обеспечивается за счет специальной отделки внутренних помещений - чердачных, подвальных, использования герметичных конструкций окон и дверей.

Еще один аспект, связанный с обеспечением герметичности, - это проводка различных коммуникаций в здание. Каждый ввод трубопровода или кабеля может быть местом теплопотерь, поэтому, чем меньшее количество различных каналов для прохода коммуникаций будет содержать здание, тем меньше возможные утечки теплоты из помещений. Кроме того, все вводы коммуникаций в здание следует герметизировать.

К обеспечению герметизации относится и установка стеклопакетов. Однако, как уже отмечалось, применение таких оконных конструкций и элементов герметизации может привести к проблемам, связанным с повышенной влажностью в помещениях и появлением грибковых поражений.

В течение суток в помещениях образуется значительное количество водяного пара, например:

- при дыхании человека выделяется до 50 г/ч воды, с потом - еще 10-50 г/ч., - при работе душа испаряется 2000 г/ч воды,

- при работе газовой плиты 100-400 г/ч.

Для поддержания нормальной влажности в помещениях водяной пар должен удаляться вместе с воздухом, выводимым из помещений при вентиляции.

В традиционных конструкциях окон свежий воздух поступал в помещения через специально запроектированные неплотности в окнах, а из зданий воздух отводился через конвекционную вытяжную систему вентиляции (т.е. без использования вытяжных вентиляторов). При монтаже герметичных оконных стеклопакетов воздухообмен нарушается, особенно если жильцы недостаточно часто проветривают помещения. При увеличении концентрация водяного пара в здании вода начинает конденсироваться на поверхностях с более низкими температурами и приводит к появлению грибковых поражений стен.

Для того чтобы избежать проблем с влажностью требуется увеличить кратность воздухообмена. Это достигается либо простейшими методами за счет более интенсивного проветривания путем открытия окон, либо модернизацией систем вентиляции, что позволяет автоматизировать процесс поддержания нужных параметров воздухообмена.

Организация повышенного воздухообмена в герметизированных зданиях, когда в помещение подается холодный воздух и отводится воздух, нагретый до комнатной температуры, значительно снижает эффект сохранения теплоты, полученный при герметизации. Самые совершенные системы вентиляции предусматривают так называемую рекуперацию тепла отводимого воздуха, принцип действия которой показан на рис. 5.9. Такая система включает двойные воздуховоды для поступающего и отводимого воздуха и центральный теплообменник для нагрева и очистки поступающего воздуха с использованием теплоты воздуха, отводимого из помещения. Схема работы теплообменника показана на рис. 5.10 [19].

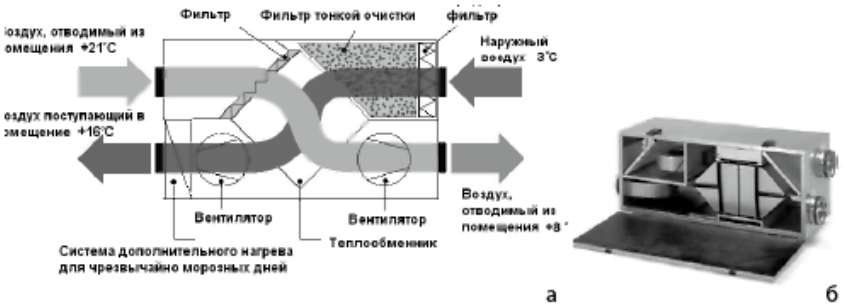


Рис. 5.9 Принцип работы системы вентиляции с рекуперацией теплоты в централизованном теплообменнике (а); вид теплообменника, смонтированного в чердачном помещении [19]

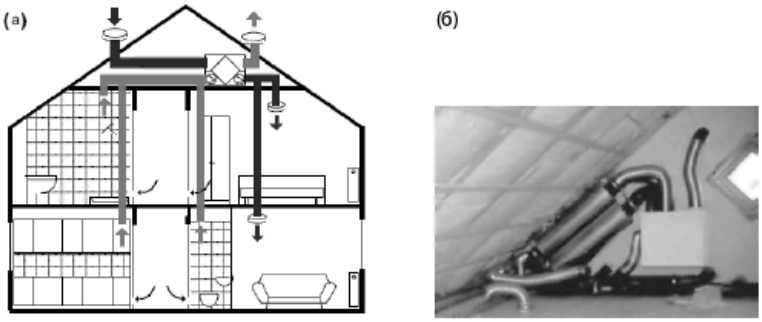


Рис. 5.10 Схема работы (а) и вид теплообменника (б) для системы вентиляции [19]

Преимуществами вентиляции с рекуперацией тепла являются высокий уровень комфортности в части воздухообмена в помещениях и снижение тепловых потерь. Наиболее совершенные модели теплообменников в таких системах позволяют поддерживать перепад между температурой поступающего и отводимого воздуха на уровне 1-5 °С. Данная система характеризуется высокой гибкостью регулирования кратности воздухообмена и утилизацией теплоты сбрасываемого воздуха, однако требует дополнительных затрат. В частности, требуется электроэнергия для эксплуатации как минимум двух вентиляторов. Вследствие большей длины вентиляционных трубопроводов и соответственно большего их сопротивления протоку воздуха расход электроэнергии может быть существенным.

Кроме того, для размещения такой системы вентиляции требуется довольно значительное пространство. Если при новом строительстве эта задача может решаться путем установки оборудования на чердаках, то в случае реконструкции уже используемых помещений размещение теплообменника и воздуховодов может вызвать ряд дополнительных проблем (рис. 5.11). Следует отметить, что эксплуатация таких систем требует периодического обслуживания фильтров.

Рис. 5.11 Монтаж теплообменника для системы вентиляции в помещении [19]

В ряде случаев применение вентиляционных систем с центральным теплообменником может оказаться невозможным по перечисленным техническим причинам.

Более простая система вентиляции - с децентрализованным притоком и централизованным отводом воздуха одним вытяжным вентилятором - приведена рис. 5.12.

Эта схема требует только один большой вентилятор. Индивидуальное регулирование кратности воздухообмена в отдельных помещениях ограничено, используется центральное регулирование по всему зданию. Поступление свежего воздуха в помещения производится через специальные приточные устройства, монтируемые в стенах, или через систему вентиляционных отверстий в конструкции окон. Эксплуатация таких систем более простая, однако и менее гибкая. При этом также требуется использование вытяжных вентиляторов.

Рис. 5.12 Система вентиляции с децентрализованным притоком и централизованным отводом воздуха одним вытяжным вентилятором [19]

Использование децентрализованных приточных устройств с нагревом поступающего в помещение воздуха за счет уходящего позволяет снизить потери теплоты, но ведет к удорожанию системы (рис. 5.13).

Рис. 5.13 Вид децентрализованного устройства для обеспечения воздухообмена с рекуперацией теплоты [19]

Система организации воздухообмена, приведенная на рис. 5.14, предполагает использование отдельных вытяжных вентиляторов для удаления воздуха из каждого помещения, что позволяет сделать работу системы вентиляции более гибкой. В этом случае возможно регулирование воздухообмена в каждом помещении.

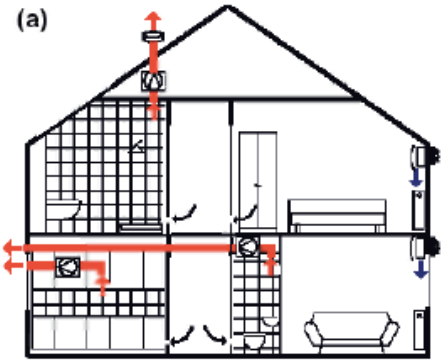


Рис. 5.14 Система вентиляции без утилизации сбрасываемой теплоты с децентрализованным притоком и децентрализованным удалением воздуха вытяжными вентиляторами [19]

Существуют и другие схемы организации вентиляции в зданиях с рекуперацией отводимого тепла или без нее. Выбор схемы в каждом конкретном случае должен основываться на технико-экономическом расчете, учитывающем требования к микроклимату, стоимости строительства и эксплуатаций таких систем, в том числе и затрат энергии.

5.3.4 Ограждения с переменным сопротивлением теплопередаче

Перспективными сточки зрения экономии энергии являются наружные ограждения с переменным сопротивлением теплопередаче [19, 29]. Сопротивление можно варьировать в зависимости от наружных климатических условий. Теоретически возможно ограждение, в котором сопротивление теплопередаче может изменяться от нуля до бесконечности. В большинстве случаев вполне достаточно обеспечить такое изменение теплозащитных свойств, при котором на внутренней поверхности ограждения поддерживается допустимая температура в любой момент времени. Примером такого ограждения может служить конструкция двойного окна, межстекольное пространство которого ночью заполняется с помощью вакуум-насоса элементами из пенополистирола. В дневные часы дополнительная теплоизоляция удаляется, и солнечная радиация свободно проникает в помещение. Подобный эффект достигается за путем вентилирования межстекольного пространства внутренним воздухом, расход которого регулируется в зависимости от наружных условий.

Регулирование теплозащитных свойств ограждений возможно также путем изменения лучистой и конвективной составляющих теплового потока на его внутренней поверхности. В первом случае необходимый эффект достигается облучением конструкции потоком требуемой интенсивности, например, с помощью горелок инфракрасного излучения. При этом исходное сопротивление теплопередачи конструкции может быть принято на много меньше требуемого. Что существенно снижает капитальные затраты. Такое решение экономически оправдано для зданий сезонного действия. Во втором случае регулирование конвективного теплового потока на внутренней поверхности обеспечивается с помощью тепловоздушных завес в виде плоских полуограниченных струй.

5.4 Повышение энергетической эффективности систем отопления

Ужесточение требований к энергоэффективности зданий диктует также определенные условия и для систем отопления зданий.

Показателем энергетической эффективности систем отопления служит удельный расход тепловой энергии на отопление здания q_h, который по Российским нормам определяется по соотношению

$$q_h = \frac{Q_h}{A_h D_d}, \text{ кДж/(м}^2\text{·К·сут)} \quad \text{или} \quad q_h = \frac{Q_h}{V_h D_d}, \text{ кДж/(м}^3\text{·К·сут)} \tag{5.23}$$

где Q_h – потребность (количество) в тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного сезона, кДж; A_h – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и перекрытие пола нижнего отапливаемого помещения, м^2; V_h – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания, м^3; D_d – градусосутки отопительного периода, К·сут.

По величине q_h определяется класс энергетической эффективности системы отопления, который может быть:

- А – очень высокий;
- Б – высокий;
- В – нормальный;
- Г – низкий;
- Д – очень низкий.

При этом следует различать расчетную величину q_h, которая характеризует принятое проектное решение и фактическое значение, которое может быть получено при проведении энергетического аудита здания.

Понятно, что энергетическая эффективность системы отопления напрямую зависит от энергетической эффективности здания и, прежде всего от теплозащитных свойств наружных ограждений. Поэтому, прежде всего, необходимо стремиться, чтобы здание, его защитные свойства были бы в энергетическом отношении наилучшими. Нет смысла бороться за эффективное использование энергии на отопление в здании, которое имеет недостаточную теплозащиту, плохо герметизировано. Расчеты и опыт эксплуатации здания показывают, что выгоднее в 2 раза дополнительно утеплить и герметизировать здание, чем пытаться в плохо защищенном здании достичь такого же результата за счет совершенствования эффективности только системы отопления. Есть такое выражение, что самой дешевой является энергия, которую не надо расходовать.

Для системы водяного отопления энергоэффективный уровень теплопотребления может быть обеспечен при следующем наборе функций и возможностей:

•автоматическое поддержание температурного графика на вводе в здание;

• качественно-количественное регулирование теплоотдачи системы, включающее терморегулирование на отопительных приборах и стояках;

• автоматическое поддержание требуемого/расчетного распределения потока теплоносителя по всем участкам системы;

• индивидуальный учет тепла, мотивированный оплатой по фактическому потреблению.

По конструктивному исполнению, укрупненно, можно выделить следующие варианты энергоэффективных систем отопления:

• система с горизонтальной поквартирной разводкой трубопроводов с различными конструктивными вариантами поквартирных тепловых пунктов или распределительных щитов, включающими различные комбинации автоматики регулирования, теплообменники контуров отопления и/или ГВС и др.;

• традиционная система отопления с вертикальными внутриквартирными стояками – однотрубная и двухтрубная, комплексно оснащенная приборами автоматического регулирования и учета тепла.

Возможны и другие конструктивные варианты систем и их комбинации. Для систем с горизонтальной разводкой потенциал энергоэффективности и набор оборудования, обеспечивающий нормативный уровень теплопотребления, очевиден и описан в работах многих специалистов.

В таблице 5.1 представлены типовые меры по энергосбережению в системах отопления с экспертными оценками потенциала энергосбережения [30]

Таблица 5.1 Типовые мероприятия по энергосбережению в системах отопления с экспертными оценками потенциала энергосбережения

№ п/п	Содержание мероприятия	Оценка потенциала энергосбережения	Источник
1	Наличие учета расхода тепловой энергии. Установка квартирных теплосчетчиков	До 10-40% тепловой энергии при установке квартирных теплосчетчиков. До 10% ГВС в ЖКХ	[31]
2	Наличие систем автоматического регулирования температуры теплоносителя в зависимости от наружной температуры	Увеличение температуры воздуха в помещении сверх нормы увеличивает расход теплоты на 4-6 %	[32]
3	Устранение капели с запорной арматуры, воды	Утечки за год составляют 10-35 $м^3$/год	[32]
4	Перевод системы отопления на дежурный режим в нерабочее время, праздничные и выходные дни	Позволяет сэкономить 10-15% от теплопотребления здания.	[35]
5	Снижение температуры воздуха в жилых домах в ночное время	Позволяет сэкономить 2-3% от теплопотребления здания.	[35]
6	Наличие тройного остекления окон	Дает экономию 3-4%	[33]
7	Наличие тамбуров и их секционирование во входах в помещение и наличие пружин на дверях	Дает экономию 3-4%	[34]
8	Правильный выбор окраски отопительных приборов	Окраска отопительного прибора цинковыми белилами увеличивает теплоотдачу на 15%; - окраска масляной краской снижает теплоотдачу на 8,5% (для чугунного радиатора – уменьшает ещё больше, до 13%); - укрытие отопительного прибора декоративными плитами, шторами снижает теплоотдачу на 10-12%	[35]
9	Установка радиаторных термостатов	Дает экономию 6-7%	[33]
10	Установка регуляторов температуры теплоносителя на отопление	Предполагаемая экономия составит около 15 %	[35]

Продолжение таблицы 5.1

11	Наличие блочного индивидуального автоматизированного теплового пункта	Уменьшает теплопотребление на 37% в производственных и административных зданиях и на 12% - в жилых зданиях	[35]
12	Наладка систем отопления и опломбирование элеваторов и регуляторов в положении согласно наладочных карт	Экономический эффект составляет 15-35%, а срок окупаемости – 1-2 года	[35]
13	Создание систем лучистого отопления	Применение лучистого (инфракрасного) отопления в производственных зданиях (например, инфракрасного газового) дает экономию до 25%	[35]
14	Установка конвекторов с механическим побудителем теплосъема	Дает экономию до 7%	[35]
15	Устройство воздушных систем отопления	Дает экономию до 10-15%	[33]
16	Остекление лоджий	Дает экономию 7-40%	[33]
17	Ликвидация мостов холода в местах сопряжения оконных переплетов со стеной	Дает экономию 2%	[33]
18	Уплотнение щелей и неплотностей оконных и дверных проемов	Расход теплоты после уплотнения щелей и неплотностей сокращается на 10-20%; 1 п.м неуплотненного притвора окна равняется потере 50 кВтч за 228 суток	[32]
19	Установка окон с повышенными теплозащитными характеристиками. Наилучшее: 1) тройное остекление; 2) двухкамерный стеклопакет; 3) комбинация стекла + однокамерный стеклопакет	Экономия теплоты 35-45% по сравнению с обычным двойным остеклением	[33]
20	Установка в окнах теплового зеркала или «комфортного экрана» (низкоэмиссионная теплоотражающая светопрозрачная пленка, натянутая на профильную раму, установленная между стеклами)	Использование теплового экрана позволяет уменьшить теплопотери через окна до 45-45%	[33]
21	Дополнительная теплоизоляция наружных стен, перекрытий верхнего этажа и пола первого этажа. Потери общественных зданий через ограждения: - наружные стены – 30-50%; - перекрытие верхнего этажа – 15-40%; - пол первого этажа – 3-10%	Реализация мероприятия обеспечит снижение общих тепловых потерь на 5-15%	[32]

Продолжение таблицы 5.1

22	Замена трубчатых теплообменников на пластинчатые и использование энергоэффективных радиаторов	Позволяет экономить 5-10% теплоты	[35]
23	Установка теплоотражателя, представляющего собой теплоизоляционную прокладку с отражающим слоем между отопительным прибором и стеной	Позволяет экономить 2-3% от общего энергопотребдения	[35]
24	Восстановление теплоизоляции на трубопроводах систем отопления и ГВС	Позволяет снизить потери теплоты на 7-9% от общего потребления	[35]
25	Перевод системы отопления с теплоносителя «пар» на теплоноситель «горячая вода»	Экономия 20-30% теплоты	[35]
26	Наличие инфильтрации холодного воздуха в отапливаемых помещениях	Дополнительный расход 2-3 кДж на каждый кубометр холодного воздуха	[35]
27	Внедрение энергосберегающего режима отпуска теплоты на отопление из котельных или ЦТП с учетом бытовых тепловыделений	Годовая экономия теплоты составляет 4-17%	[36]
28	Внедрение пофасадного регулирования отпуска теплоты с учетом метеофакторов (скорости ветра и солнечного излучения)	Перерасход тепловой энергии за год без учета метеофакторов (без пофасадного регулирования) в диапазоне изменения скорости ветра от 0 до расчетной составляет 6-12%. При учете совместного влияния скорости ветра и солнечного излучения при пофасадном регулировании годовая экономия может составить 9-18%	[36]
29	Внедрение экономичного графика подачи теплоносителя с учетом типа системы отопления и типа отопительных приборов	Экономия составляет от 5% (в зависимости от типа отопления и отопительных приборов) тепловой нагрузки при регулировании отпуска теплоты в соответствии с действующими графиками	[36]
30	Изоляция неизолированных трубопроводов систем теплопотребления, расположенных в подвалах и неотапливаемых помещениях	Годовая экономия теплоты при изоляции 1 п. м голого трубопровода среднего диаметра 25 мм составляет 50 МДж/п. м	[36]

Примечание. Экономия тепловой энергии, если не оговорено, указана в % от отопительной нагрузки.

Большинство из перечисленных в табл. 5.1 мер являются достаточно очевидными и не требуют дополнительных разъяснений. Поэтому ниже остановимся на мероприятиях, требующих дополнительного анализа и пояснений.

5.4.1 Циркуляционные насосы

Циркуляционные насосы систем отопления могут потреблять значительное количество энергии. Поэтому применение усовершенствованных моделей насосной техники в этих системах может дать значительное сокращение энергопотребления зданием. Анализ годового потребления электроэнергии бытовыми потребителями, включая циркуляционный насос

отопления, показывает, что насос может выйти на первое место по потреблению электроэнергии в быту среди электроприборов. Насосы, используемые в административных и общественных зданиях (например, в школах), более мощные, чем в односемейных домах, и поэтому потребляют еще больше энергии. Применение усовершенствованных моделей насосной техники в этих системах может дать значительное сокращение энергопотребления зданием.

Для иллюстрации принципа работы циркуляционной регулируемой системы отопления приведена схема на рис. 5.15.

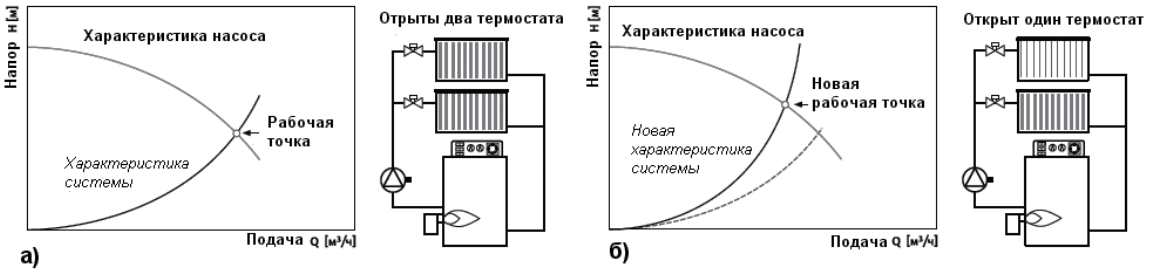


Рис. 5.15 . Принцип работы центробежного насоса в регулируемой системе отопления [19]

На схеме (а) показана работа насоса в системе, когда термостаты открыты на всех нагревательных приборах. Максимальное потребление теплоты является расчетным для системы отопления, и насосы подбираются исходя из такого режима работы. Кроме характеристики центробежного насоса (кривая направленная вниз), на рисунке приведена характеристика системы отопительных трубопроводов (кривая направленная вверх). Характеристика системы показывает зависимость гидравлического сопротивления трубопроводов от расхода воды, перекачиваемой через них. Учитывая, что гидравлическое сопротивление труб пропорционально скорости течения воды в квадрате, то кривые имеют форму параболы. Точка пересечения характеристик насоса и системы определяет, в каком режиме работает насос, сколько воды он подает в систему и сколько электроэнергии при этом потребляет. Как правило, для этой рабочей точки подбирается зона максимального КПД насоса.

В случае если один или несколько термостатов перекрываются (например, при желании понизить температуру в помещении), то расход теплоносителя в нагревательный прибор снижается (схема б). Вследствие этого гидравлическое сопротивление системы возрастает, и рабочая точка перемещается по графику в левую часть характеристики насоса. Учитывая меньшее значение КПД в этой области, насос начинает потреблять больше энергии, которая тратится нерационально на преодоление дополнительных гидравлических сопротивлений в системе отопления. Описанный режим работы относится к случаю применения так называемых стандартных марок циркуляционных насосов с фиксированными частотами вращения электродвигателя.

Стандартные насосы выпускаются одно- и многоскоростными (2,3,4- ступенчатыми) [19]. В многоскоростных насосах предусмотрено ручное переключение скоростей вращения электродвигателя. Переключение скорости вращения позволяет вручную частично регулировать подачу и напор насоса.

Значительно более широкие возможности по регулированию подачи насоса и напора предоставляет применение электронных насосов, имеющих встроенные частотные преобразователи. За счет бесступенчатого изменения скорости вращения такие насосы имеют

широкие возможности по гибкой адаптации режима работы насоса в зависимости от условий работы системы отопления.

Настройки электронного регулятора позволяют обеспечивать постоянный перепад давлений в системе отопления при изменении расхода перекачиваемой жидкости или снижать величину перепада давления в системе при снижении подачи. В последнем случае может достигаться более резкое снижение энергопотребления насоса при уменьшении тепловой нагрузки на систему отопления.

Еще один возможный принцип бесступенчатого регулирования, который может быть реализован такими насосами, это регулирование по температуре подаваемой жидкости. Частотный преобразователь адаптирует работу насоса в зависимости от температуры воды в напорном патрубке насоса. При снижении температуры воды ниже установленной сигнал от датчика температуры поступает в электронный блок, и частотный преобразователь увеличивает скорость вращения насоса, таким образом, увеличивая расход теплоносителя через теплообменник и повышая температуру воды в циркуляционном контуре. Также температурный контроль может осуществляться при установке температурных датчиков на всасывающем патрубке насоса и на обратном трубопроводе циркуляционной отопительной системы. В данном случае анализируется перепад температур и производится изменение скорости вращения насоса исходя из полученной информации. Для экономичной работы при небольших нагрузках в системе насос оборудован автоматической функцией снижения производительности (так называемая система «Автопилот»). При достижении определенного нижнего значения температуры воды в системе отопления, например, при снижении температуры на входе регулятором, реагирующим на изменение внешних метеоусловий, насос переводится на меньшее постоянное число оборотов.

Экономию энергии можно получить при использовании в системах отопления электронных насосов с ECM-двигателями. В отличие от стандартных или электронных насосов с асинхронным двигателем, насосы такого типа оснащены синхронным двигателем, выполненным по технологии ECM. Такие электронно-коммутируемые двигатели предусматривают электронное переключение обмоток статора с необходимой переменой электрических и магнитных полей в зависимости от положения ротора двигателя. Ротор двигателя оснащен постоянными магнитами, а токопроводящий статор отделен от перекачиваемой жидкости разделительным стаканом из диэлектрического материала, что позволило снизить потери магнитного потока, проходящего межу ротором и статором. Такое исполнение двигателя обеспечило увеличение скоростей вращения свыше 4000 оборотов в минуту, что уменьшило габаритные размеры насосных агрегатов и позволило существенно повысить КПД насоса и снизить годовой расход электроэнергии в сравнении со стандартными насосами до 80%.

Дальнейшим развитием систем отопления можно считать переход от регулирования потока теплоносителя термостатами к применению децентрализованной циркуляции. В такого рода системах вместо клапанов-термостатов, регулирующих распределение теплоты в здании, используются несколько мини насосов, монтируемых непосредственно на трубопроводах около отопительных радиаторов (рис. 5.16).

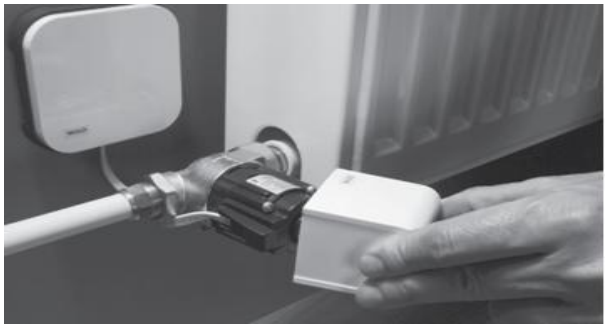


Рисунок 5.16. Вид мини-насоса, смонтированного на трубопроводе у радиатора [19]

Благодаря регулированию подачи теплоносителя мини-насосами отопление становится более мобильным. Из-за отсутствия запорно-регулирующей арматуры (вентилей) рассматриваемая система имеет меньшие гидравлические сопротивления, и соответственно, более низкое, в среднем на 20% энергопотребление.

5.4.2 Регулирование теплоотдачи отопительных приборов

В центральных системах отопления применяют три способа регулирования теплоотдачи отопительных приборов.

1) Центральное качественное (изменяется температура теплоносителя) и количественное (изменяется расход теплоносителя) регулирование на тепловой станции или котельной. В результате регулирования изменяется температура и расход теплоносителя в тепловых сетях

2) Местное качественное и количественное регулирование в индивидуальном тепловом пункте (ИТП) здания. В результате регулирования изменяется температура и расход теплоносителя в системе отопления. Для местного регулирования применяют автоматизированные ИТП, в которых с помощью электронных регуляторов (отопительных контроллеров) поддерживается температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы отопления в соответствии с фактической температурой наружного воздуха и температурой воздуха в помещении.

3) Индивидуальное количественное регулирование теплоотдачи отопительных приборов. Осуществляется установкой термостатов на отопительных приборах. При изменении температуры воздуха внутри помещения, термостат изменяет расход теплоносителя через отопительный прибор. Недостаток такого способа регулирования – повышенное гидравлическое сопротивление циркуляционных колец системы отопления, что приводит к дополнительным непроизводительным затратам энергии.

5.4.3 Энергосберегающие режимы работы системы отопления

В зданиях и сооружениях с переменным тепловым режимом прибегают к понижению температуры помещений в нерабочие периоды суток. Для этого применяют прерывистое отопление с понижением или полным отключением подачи теплоты [29].

При сокращении теплопоступлений от системы отопления по сравнению с подачей теплоты в рабочий период суток в помещениях наблюдаются колебания температуры воздуха и радиационной температуры. В сухих производственных помещениях возможно понижение температуры в нерабочий период до 5 ^{o}C. В помещениях общественных зданий можно также допустить в нерабочий период суток понижение температуры, но до такого уровня, чтобы избежать конденсации водяного пара воздуха на внутренней поверхности наружных

ограждающих конструкций. Будем считать, что к концу рабочего дня относительная влажность воздуха в помещениях при температуре 20 °С составляет 40% (в соответствии с требованием СНиП). Исходя из этого найдем, что понижение температуры помещений в нерабочий период времени возможно до 8-10 °С. Примем (с запасом) минимально допустимую температуру таких помещений равной 12 °С, что также соответствует требованиям действующих СНиП.

Для переменного теплового режима рабочих помещений характерна суточная периодичность. В течение суток выделим рабочий период, когда внутренние теплопоступления (например, от людей, оборудования) в той или иной мере возмещают теплопотери и требуется главным образом вентиляция помещений (в помещениях преобладает режим вентилирования). Нерабочий период разделим на период естественного охлаждения помещений, когда отопление отключено и отсутствуют какие-либо теплопоступления (режим охлаждения), и период усиленного нагревания помещений перед началом работы (режим нагревания или, как говорят, «натопа»). Продолжительность этих периодов различна. Если режим вентилирования длится 8 или 16 ч (две смены), то продолжительность режима натопа зависит от температуры наружного воздуха и тепловой мощности системы отопления. Соответственно увеличивается или уменьшается продолжительность периода охлаждения.

Устанавливается также недельная периодичность теплового режима, связанная с субботнее-воскресным (или только воскресным) перерывом в работе. Недельная периодичность нарушается только в дни праздников. На рис. 5.17 показано изменение тепловыделений $Q_{выд}$, температуры воздуха $t_в$ и радиационной температуры t_R помещения, в котором работают от 9 до 18 ч пять дней в неделю, при условно постоянных теплопотерях $Q_{пот}$.

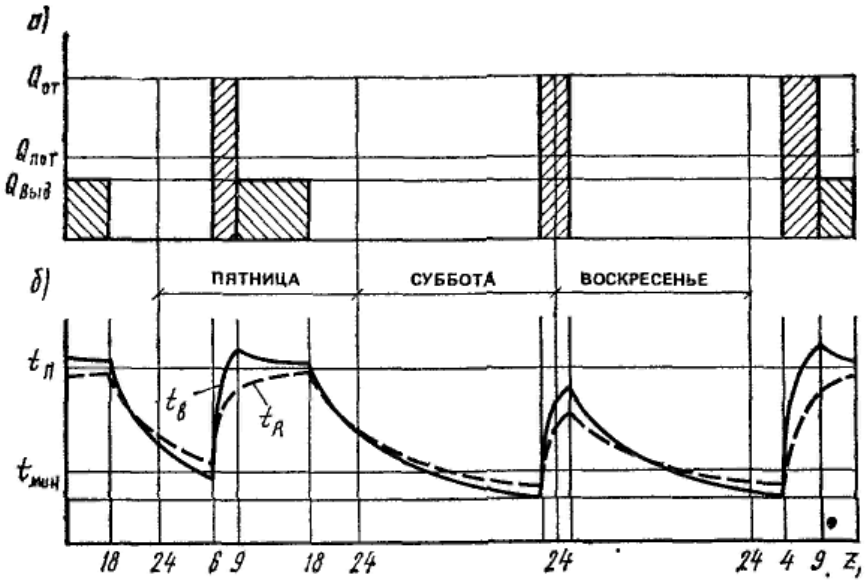


Рис. 5.17 Изменение теплового и температурного режимов рабочего помещения в течение четырех дней недели в зимнее время: а – изменение теплопоступлений; б – изменение температурных параметров [29]

Принято, что теплопоступления несколько меньше теплопотерь, поэтому на рисунке изображено, что в течение рабочего периода (в режиме вентилирования без изменения температуры приточного воздуха) температура воздуха помещения понижается при возрастании радиационной температуры t_R. Показано также, что отопительная установка мощностью $Q_{от}$, значительно превышающей величину теплопотерь помещения, включается до начала работы (режим натопа). Отопительная установка включается также в промежутке между

последним рабочим днем недели (пятница) и первым рабочим днем новой недели (понедельник), когда температура помещения $t_п$ понижается до установленного минимального уровня ($t_{мин}$ на рисунке).

Продолжительность нагревания помещения отличается в рабочие дни и после воскресенья, так как исходная температура помещения различна.

Прерывистая теплоподача вызывает периодические изменения температуры помещения, зависящие от теплотехнических свойств его ограждений, величины и продолжительности теплопоступлений. Конвективная теплота от отопительной установки поступает в воздух помещения и от него передается внутренней поверхности ограждений. Температура воздуха и радиационная температура несколько отличаются; их изменения не совпадают во времени (см. рис. 5.17, б).

Для расчета изменения температуры воздуха и радиационной температуры ограждений помещения определяют показатели теплоусвоения $Y_{пом}$ и теплопоглощения $P_{пом}$ помещения.

Показатель теплоусвоения помещения $Y_{пом}$, Вт/К, характеризующий изменение температуры внутренней поверхности всех ограждений, находят в зависимости от коэффициента теплоусвоения Y_i, Вт/(м^2·К), для поверхности отдельных ограждений

$$Y_{пом} = \sum Y_i A_i, \tag{5.24}$$

где A_i - площадь i-го ограждения помещения, м^2.

Показатель теплопоглощения ограждений $P_{пом}$, Вт/К, выражающий изменение температуры воздуха помещения, вычисляют по формуле (5.25) с учетом коэффициента теплопоглощения для каждого ограждения, а также коэффициента прерывистости теплового потока Ω [15]:

$$P_{огр} = \frac{1}{\frac{\Omega}{Y_{пом}} + \frac{1}{\Lambda_{пом}}}. \tag{5.25}$$

Коэффициент прерывистости определяют в зависимости от отношения продолжительности нагревания (натопа) к общей продолжительности нерабочего периода (например, 16 ч при односменной работе). В формулу (5.25) входит также величина $\Lambda_{пом}$, показатель интенсивности конвективного теплообмена на всей площади поверхности ограждений помещения, вычисляемый по формуле

$$\Lambda_{пом} = \alpha_{к.ср} \sum A_i, \tag{5.26}$$

где $\alpha_{к.ср}$ - осредненный по поверхности всех ограждений коэффициент конвективного теплообмена (в зимних условиях – 4,0 Вт/(м^2·К).

Таким образом, теплоустойчивость помещения можно характеризовать отношением показателей $Y_{пом}$ и $\Lambda_{пом}$, входящих в уравнение (5.25). Расчеты показывают, что возможные значения показателя теплоустойчивости помещения $Y_{пом}/\Lambda_{пом}$ для ограждающих конструкций и из различных распространенных материалов находятся в диапазоне 1,1 – 3,1.

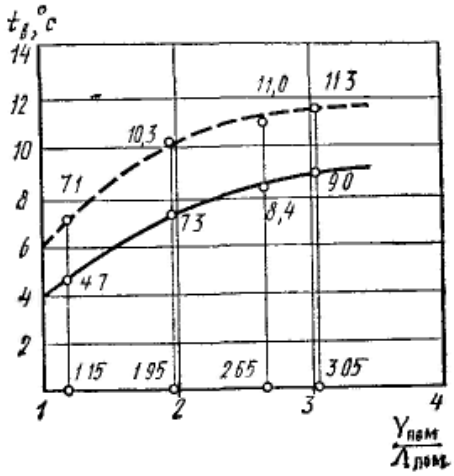


Рис. 5.18 Зависимость минимальной температуры воздуха после ночного охлаждения (без отопления) от теплоустойчивости помещений, имеющих окна с двойным (сплошная линия) и тройным (пунктирная линия) остеклением при $t_н$= -20 °С [29]

При прерывистом отоплении минимальная температура помещения, которая устанавливается к концу периода отключения отопления (режима охлаждения), зависит от теплоустойчивости, а также теплозащитных свойств наружных ограждений этого помещения.

На рис. 5.18 даны обобщенные результаты расчетов минимальной температуры воздуха в четырех помещениях площадью около 50м^2 с тремя окнами (с двойным и тройным остеклением) и различными вариантами ограждений. При расчетах принято: температура наружного воздуха $t_н$= -20 °С, работа в помещениях односменная, помещения рядовые на среднем этаже здания, отопление помещений отключено в конце работы.

Видно, что минимальная температура воздуха после прекращения отопления в течение 16 ч существенно зависит как от теплоустойчивости помещений, так и их утепленности. По мере возрастания этих показателей повышается и минимальная температура воздуха, т. е. замедляется охлаждение помещений. Можно также установить, что для обеспечения в режиме охлаждения минимальной температуры 12 °С следует стремиться к повышению теплоустойчивости и теплозащитных свойств ограждений помещений.

С другой стороны, при повышении теплоустойчивости помещений экономия теплоты в условиях прерывистого отопления будет уменьшаться. Это объясняется сохранением в режиме охлаждения повышенного уровня теплопотерь через ограждения вследствие более высокой температуры помещений. Кроме того, при повышении теплоустойчивости (увеличении показателя ($Y_{пом}/Л_{пом}$) придется прибегать к более продолжительному нагреванию помещений перед началом работы с соответствующим сокращением продолжительности периода охлаждения. Расчеты показывают, что при прерывистом отоплении помещений повышенной теплоустойчивости теплозатраты возрастут на 4-5 % по сравнению с затратами на отопление помещений пониженной теплоустойчивости.

Экономия теплоты, получаемая при переменном тепловом режиме, зависит не только от теплозащитных свойств ограждающих конструкций помещений, но и от тепловой мощности системы отопления. Применение переменного теплового режима при повышенных теплозащитных свойствах ограждений обеспечивает дополнительную экономию теплоты вследствие сокращения продолжительности натопов и даже устранения промежуточных

натопов (см рис. 5.17) в условиях длительного охлаждения помещений в воскресные и праздничные дни. Продолжительность периода охлаждения может быть в этих случаях увеличена вследствие относительного повышения минимальной температуры воздуха в помещениях (на рис. 5.18 на 2,5 … 3 °С).

Повышение тепловой мощности системы прерывистого отопления (по сравнению с мощностью постоянно действующей системы отопления) при прочих равных условиях позволяет в еще большей мере экономить теплоту. Расчеты для крупного административного здания в климатических условиях Москвы показывают, что при увеличении тепловой мощности системы отопления (коэффициента натопа) от 1,3 до 1,7 раза сокращается продолжительность натопа и экономия теплоты в год повышается соответственно от 15,4 до 19%. Дополнительные затраты на увеличение тепловой мощности системы прерывистого отопления окупаются за счет уменьшения эксплуатационных расходов достаточно быстро, особенно при повышенной стоимости тепловой энергии и продолжительном отопительном сезоне.

Коэффициент натопа целесообразно увеличивать до 2 … 2,2 и выше, ограничивая его величину располагаемой мощностью теплового ввода в здание, рассчитанной на покрытие теплозатрат как на отопление, так и на вентиляцию в рабочее время. При этом мощность теплоисточника останется без изменения. Изменится лишь суточный график отпуска теплоты с общей экономией ее в течение отопительного сезона. Общая экономия теплоты в течение отопительного сезона при прерывистом отоплении различных зданий составляет, по данным ЦНИИЭП инженерного оборудования, 20-30% по сравнению с теплозатратами на постоянное отопление.

Система прерывистого отопления может быть чисто воздушной, когда установки приточной вентиляции используются в предрабочий период времени для натопа в рециркуляционном режиме. Более гибкой в эксплуатации является двухкомпонентная система комбинированного отопления. Такая система состоит из базисной (фоновой) части в виде водяного отопления (особенно при расположении рабочих мест близ световых проемов) и дозревающей части воздушного отопления для натопа. Водяное нерегулируемое отопление предназначено для постоянного использования с выравниванием теплонедостатка в различно расположенных помещениях здания. Воздушное отопление осуществляется установкой приточной вентиляции в рециркуляционном режиме, что ограничивает ее тепловую мощность при натопе.

Расчет двухкомпонентной системы прерывистого отопления заключается не только в определении тепловой мощности ее частей, но и в выявлении расчетного режима ее работы. Такой расчет проводят в суточном разрезе при различной температуре (через 5 °С) наружного воздуха в течение отопительного сезона.

Работу дозревающей части системы отопления автоматизируют с программным управлением для выдерживания расчетного режима. На случай неожиданного резкого понижения температуры наружного воздуха в контрольных помещениях устанавливают датчики «минимальной» температуры. По сигналу от них включается дозревающая часть системы отопления в дополнительный режим натопа помещений (например, на 10 °С). Эти же датчики используются в воскресные и праздничные дни.

Для примера приведем расчетные режимы работы двух различных по мощности комбинированных водовоздушных систем отопления учебного здания (при тройном остеклении окон и показателе теплоустойчивости учебных помещений ($Y_{пом}/\Lambda_{пом}$) = 1 ,95).

l-я система с коэффициентом натопа 1,5: базисная (водяная) часть системы отопления работает только при отрицательной температуре наружного воздуха; дозревающая (воздушная) часть с коэффициентом натопа 1,5 включается ежедневно при $t_н$ = -20 ºС на 5 ч (на 13 ч после воскресенья), а при $t_н$ = 0 ºС на 1 ч (на 3 ч после воскресенья).

2-я система с коэффициентом натопа 3,0: базисная (водяная) часть системы работает только при $t_н$ = -10 ºС и ниже; догревающая (воздушная) часть включается ежедневно при $t_н$= -20 ºС на 2 ч (на 6 ч после воскресенья), при $t_н$ = -11,5 ºС на 1 ч (на 4 ч после воскресенья), при $t_н$ = 0 ºС и отключенной базисной части на 2 ч (на 5 ч после воскресенья).

5.5 Повышение энергетической эффективности систем вентиляции кондиционирования

Энергопотребление круглогодовыми системами приточной вентиляции (СВ) и кондиционирования воздуха (СКВ) зависит от следующих факторов:

1. Наружные климатические условия.
2. Требований к параметрам микроклимата в помещении (в меньшей степени).
3. Характер и интенсивность источников вредности в помещении.
4. Расхода приточного воздуха.
5. Потери давления в воздуховодах и оборудовании.
6. Уровень автоматизации в системе.

В таблице 5.2. Перечислены типовые мероприятия по энергосбережению в системах вентиляции (СВ) и кондиционирования (СКВ) [30].

Таблица 5.2 Типовые мероприятия по энергосбережению в системах вентиляции и кондиционирования воздуха с экспертными оценками потенциала энергосбережения

№ п/п	Содержание мероприятия	Оценка потенциала энергосбережения	Источник
1	Применение рециркуляции в системах вентиляции и кондиционирования	Экономия зависит от степени рециркуляции вытяжного воздуха	[37] [38-42]
2	Применение рекуперации воздуха на вытяжных системах вентиляции и кондиционирования	Дает экономию 20-70% [58]. Экономия зависит от эффективности рекуперативного теплообменника-утилизатора теплоты вытяжного воздуха	[37] [38-42]
3	Применение регенерации воздуха на вытяжных системах вентиляции и кондиционирования	Экономия зависит от эффективности регенеративного теплообменника-утилизатора теплоты вытяжного воздуха	[37] [38-42]
4	Применение двух рекуперативных теплообменников воздуха на приточных и вытяжных системах вентиляции и кондиционирования	Экономия зависит от эффективности системы из двух теплообменников-утилизаторов теплоты вытяжного воздуха	[37]
5	Наличие автоматических регуляторов на приточных системах вентиляции	Дает до 10% экономии теплоты и 25-30% электроэнергии	[33]
6	Тепловая изоляция воздуховодов в местах прокладки с пониженной температурой воздуха или в системах кондиционирования	Возможная экономия теплоты и холода при качественном выполнении теплоизоляции достигает 10-15%	[37]

Продолжение таблицы 5.2

7	Применение частотно-регулируемого электропривода вентиляторов с целью регулирования расхода воздуха	Новые оптимальные способы количественного регулирования позволяют снизить расход электроэнергии на перемещение воздуха у вытяжных систем на 6-26% и у приточных систем на 3-12% от величины потребления вентилятором в расчетном режиме	[43]
8	Совместное применение общеобменной и местной вентиляции в виде местных отсосов, воздушных завес и т.д	Определяется расчетом в конкретных условиях	
9	Локализация притока и вытяжки (устройство воздушных оазисов, душирование, локализация притока)	Уменьшение воздухообмена при работе СКВ на 25-30%	
10	Устранение подсосов и утечек воздуха через неплотности воздуховодов	Снижение затрат на перемещение воздуха вентиляторами на 9-10% (электроэнергия)	
11	Уменьшение аэродинамических потерь при движении воздуха в воздуховодах	Повышение холодильной нагрузки СКВ примерно на 10-16% на каждые 1000 Па потерь на трение	

Многие из перечисленных мероприятий достаточно очевидны и не требуют дополнительных разъяснений, поэтому ниже мы рассмотрим некоторые важные мероприятия и методические вопросы, требующие анализа.

Показателем энергетической эффективности систем обеспечения микроклимата (отопление, вентиляция и кондиционирование) может служить величина суммарного годового расхода энергии системами. Годовой расход энергии представляется наиболее объективным энергетическим показателем, т. к. именно в годовом цикле в полной мере проявляются все режимы потребления энергии.

Определение годового расхода теплоты СО и СВ, теплоты и холода СКВ сводится к интегрированию по времени потребляемой мощности. Последняя величина является функцией параметров наружного воздуха, т. к. теплота и искусственный холод расходуются на компенсацию тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения и обработку наружного воздуха в СВ и СКВ. Существует несколько разных по точности и сложности методов расчета годовых расходов энергии на климатизацию зданий. Мы здесь рассмотрим наиболее простую и легко реализуемую методику, разработанную Кувшиновым [44].

5.5.1 Методика расчета годовых расходов энергии и на обработку воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха с учетом сменности работы

Расчет годовых расходов теплоты и электроэнергии для системы вентиляции и кондиционирования воздуха и холода для СКВ производится отдельно для каждой рабочей смены или части суток с последующим суммированием при работе систем в две или большее число смен.

В расчете используют средние за время работы системы (за смену) параметры наружного воздуха:

а) температура самого жаркого и самого холодного месяца, °С:

$$t_{m.ж} = t_ж + A_ж K_1 K_2, \quad (5.27)$$

$$t_{m.х} = t_х + A_х K_1 K_2, \quad (5.28)$$

где $t_ж$,$t_х$ - средняя температура самого жаркого и холодного месяца, °С, определяемая по табл. 3 СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»; $A_ж$,$A_х$ - амплитуда колебания температуры, °С, равная половине средней амплитуды самого жаркого (табл. 2 СНиП 23-01-99) и самого холодного (табл. 1 СНиП 23-01-99) месяца; K_1 – коэффициент, определяемый по табл. 5.3 в зависимости от продолжительности смены $\Delta\tau_m$, ч.; K_2 – коэффициент, определяемый по табл.1 в зависимости от времени, приходящегося на середину смены.

б) энтальпия самого жаркого и самого холодного месяца, кДж/кг:

$$h_{m.ж} = h_ж + A_{h.ж} K_1 K_2, \quad (5.29)$$

$$h_{m.х} = h_х + A_{h.х} K_1 K_2, \quad (5.30)$$

где $h_ж$, $h_х$ – средняя энтальпия самого жаркого и холодного месяца, определяемая по справочным данным [44];$A_{h.ж}$,$A_{h.х}$ - амплитуда энтальпии самого жаркого и холодного месяца, определяемая по справочным данным [44];

в) среднегодовая температура с учетом времени работы системы:

$$t_{m.г} = t_г + 0{,}5(A_ж + A_х) K_1 K_2, \quad (5.31)$$

где $t_г$– среднегодовая температура, определяемая по табл. 3 СНиП 23-01-99;

г) среднегодовая энтальпия с учетом времени работы системы:

$$h_{m.г} = h_г + 0{,}5(A_{h.ж} + A_{h.х}) K_1 K_2, \quad (5.32)$$

где $h_г$ – средняя за год энтальпия, определяемая по справочным данным [44].

Таблица 5.3

Коэффициенты	Значения коэффициентов K_1 для продолжительности смены в ч и K_2 для времени середины смены в ч									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
K_1	0,95	0,90	0,83	0,74	0,64	0,53	0,41	0,30	0,19	0,09
K_2	-0,97	-0,71	-0,26	0,26	0,71	0,97	0,97	0,71	0,26	-0,26

Таблица 5.4

Коэффициенты	Значения коэффициентов K_3 и K_4 при продолжительности периода потребления теплоты или холода M в сутках									
	30 и менее	60	90	120	150	210	240	270	300	300
K_3	0,9	0,91	0,92	0,94	0,97	1,0	1,04	1,08	1,14	1,21
K_4	1,0	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57

Годовой расход теплоты на нагревание приточного воздуха в системах вентиляции

Годовой расход теплоты на нагревание приточного воздуха за одну смену в прямоточной СВ, кДж/кг, равен:

$$Q_{св} = G c_{p.в} (t_{пр} - t_{m.x}) M \Delta\tau_T K_3 K_4, \quad (5.33)$$

где G – максимальный расход приточного (наружного) воздуха, кг/ч; $c_{p.в} = 1{,}005$ кДж/(кг·К) - изобарная теплоемкость воздуха; $t_{пр}$ - температура приточного воздуха в холодный период, °С; M - продолжительность периода потребления теплоты, сут.; $\Delta\tau_T$ - продолжительность периода потребления теплоты воздухонагревателем СВ, сут.

Потребление теплоты воздухонагревателем СВ в прямоточной системе продолжается до тех пор, пока температура наружного воздуха ниже температуры приточного воздуха

$$\Delta\tau_T = 182{,}5\left(\frac{t_{пр} - t_{m.x}}{t_{m.г} - t_{m.x}}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (5.34)$$

Годовой расход теплоты для СКВ, работающей с рециркуляцией воздуха, рассчитывается по формуле (5.33), в которой вместо температуры наружного воздуха $t_{m.г}$ следует принять температуру смеси наружного и внутреннего воздуха:

$$t_{m.см} = t_{в.х}\left(1 - \frac{G}{G_0}\right) + t_{m.x}\frac{G}{G_0}. \quad (5.35)$$

В формуле (5.35) G и G_0 – расход наружного и приточного воздуха, кг/ч; $t_{в.х}$ - температура внутреннего воздуха в холодный период года, °С.

Потребление теплоты воздухонагревателем СВ в системе с рециркуляцией имеет место пока температура смеси наружного и внутреннего воздуха ниже температуры приточного воздуха в холодный период года. При этом в формулу (5.34) вместо $t_{m.x}$ следует подставить $t_{m.см}$ по формуле (5.35), а вместо $t_{m.г}$ – среднегодовую величину температуры смеси, которую надо определить по формуле (5.35) при среднегодовой температуре наружного воздуха.

Число часов работы воздухонагревателя в течение года определяется по формуле:

$$M_г = M\Delta\tau_T K_3. \quad (5.36)$$

Годовой расход холода СКВ

Годовой расход холода прямоточной СКВ равен, кДж/кг:

$$Q_{хол} = G(h_{m.ж} - h_0)M\Delta\tau_X K_3 K_4, \quad (5.37)$$

где $\Delta\tau_X$ - продолжительность периода потребления холода в сутках, определяемая по формуле

$$\Delta\tau_X = 182{,}5\left(\frac{h_0 - h_{m.ж}}{h_{m.г} - h_{m.ж}}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (5.38)$$

В формуле (5.38) h_0, $h_{m.ж}$, $h_{m.г}$ – соответственно энтальпия наружного воздуха на выходе из форсуночной камеры или поверхностного воздухоохладителя; энтальпия самого жаркого месяца, определяемая по формуле (5.29); среднегодовая энтальпия наружного воздуха, определяемая по формуле (5.32), кДж/кг.

Число часов потребления холода в году равно:

$$M_{хол} = M\Delta\tau_X K_3. \quad (5.39)$$

Годовой расход холода для СКВ с первой рециркуляцией равен:

$$Q_{хол.1} = Q_{хол} - \Delta Q_1, \quad (5.40)$$

где $Q_{хол}$ - годовой расход теплоты по формуле (5.37); ΔQ_1 - годовая экономия холода за счет применения первой рециркуляции в теплы период года (ТП), кДж/кг;

$$\Delta Q_{хол.1} = (G_0 - G_{p.1})(h_{m.ж} - h_{р.ж})M\Delta\tau_{Х.1}K_3K_4, \quad (5.41)$$

где $h_{р.ж}$- энтальпия воздуха, уходчщего на рециркуляцию в ТП, кДж/кг; G_0, $G_{p.1}$- расход приточного и рециркуляционного воздуха, кг/ч.

Работа СКВ в режиме рециркуляции целесообразна в период года, когда энтальпия наружного воздуха выше энтальпии рециркуляционного. Продолжительность такого периода в сутках равна:

$$\Delta\tau_{Х.1} = 182{,}5\left(\frac{h_{m.ж} - h_{р.ж}}{h_{m.ж} - h_{m.г}}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (5.42)$$

Годовой расход холода для СКВ со второй рециркуляцией, кДж/год, равен:

$$Q_{хол.2} = \left(1 - \frac{G_{p.2}}{G_0}\right)Q, \quad (5.43)$$

где Q – годовой расход холода СКВ без второй рециркуляции, кДж/год; $G_{p.2}$, G_0 - расход внутреннего воздуха, поступающего по каналу второй рециркуляции и общий расход приточного воздуха, кг/ч.

Годовой расход теплоты на первый подогрев, кДж/год, определяется по формуле:

$$Q_1 = G(h_к - h_{m.x})M\Delta\tau_{T.1}K_3K_4, \quad (5.44)$$

где G – максимальный расход наружного воздуха, проходящего через воздухонагреватель, кг/ч, до смешения с рециркуляционным воздухом; $\Delta\tau_{T.1}$ - продолжительность периода работы первого подогрева, когда энтальпия наружного воздуха ниже энтальпии воздуха на выходе из воздухонагревателей, выраженная в сутках

$$\Delta\tau_{Т.1} = 182{,}5\left(\frac{h_к - h_{вх.х}}{h_{вх.г} - h_{вх.х}}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5.45)$$

где $h_к$ - энтальпия воздуха на выходе из воздухонагревателя в ХП; $h_{вх.х}$ - энтальпия воздуха на входе в воздухонагреватель, определенная для самого холодного месяца; $h_{вх.г}$ - энтальпия воздуха на входе в воздухонагреватель, средняя за год, кДж/кг.

При расчете годового расхода теплоты на первый подогрев прямоточной системой в формулы (5.44) и (5.45) следует подставлять величину $h_{вх.х}$, равную $h_{m.х}$, которая рассчитывается по формуле (5.30) и величину $h_{вх.г}$, равную $h_{m.г}$, рассчитываемую по формуле (5.32). В расчете годового расхода теплоты системой с первой рециркуляцией при смешении наружного и внутреннего воздуха после нагрева в воздухонагревателе наружного воздуха, в формулу (5.44) следует подставлять величину G, равную расходу наружного воздуха.

При расчете годового расхода теплоты на первый подогрев СКВ с первой рециркуляцией и смешением наружного и внутреннего воздуха до подогрева в формулы (5.44) и (5.45) подставляются значения:

$$h_k = h_{p.x}\left(1 - \frac{G}{G_0}\right) + h_{m.x}\frac{G}{G_0}, \quad (5.46)$$

$$h_{k.г} = h_{p.x}\left(1 - \frac{G}{G_0}\right) + h_{m.г}\frac{G}{G_0}, \quad (5.47)$$

где $h_{m.x}$ - энтальпия наружного воздуха, рассчитываемая по формуле (5.30); $h_{m.г}$ - энтальпия наружного воздуха, рассчитываемая по формуле (5.32); $h_{p.x}$ - энтальпия рециркуляционного воздуха в ХП; G и G_0 – расходы наружного и приточного воздуха, кг/ч.

Число часов работы первого подогрева в год определяется по формуле

$$M_г = M\Delta\tau_{T.1}K_{3.}. \quad (5.48)$$

Годовой расход теплоты на второй подогрев

Годовой расход теплоты на второй подогрев как для прямоточной, так и для СКВ со второй рециркуляцией равен

$$Q_2 = 365M\{(G_0 - G_{p.2})\Delta h_г - 3{,}6Q_{m.г}\}, \quad (5.49)$$

где G_0 – расход приточного воздуха; $G_{p.2}$ – расход внутреннего воздуха, поступающего на вторую рециркуляцию, кг/ч (в прямоточной системе $G_{p.2} = 0$); $Q_{m.г}$ - среднегодовые, средние за смену теплоизбытки (по полной теплоте) обслуживаемого помещения, Вт; $\Delta h_г$ - среднегодовая разность энтальпии внутреннего воздуха и воздуха на выходе из форсуночной камеры или поверхностного воздухоохладителя, кДж/кг, определяемая по формуле

$$\Delta h_г = 0{,}5(h_{в.ж} + h_{в.х} - h_{о.ж} - h_{о.х}), \quad (5.50)$$

где $h_{в.ж}$, $h_{в.х}$ - энтальпия внутреннего воздуха соответственно для ТП и ХП; $h_{о.ж}$, $h_{о.х}$ - энтальпия воздуха на выходе из оросительной камеры или поверхностного воздухоохладителя соответственно для ТП и ХП, кДж/кг.

Величину среднегодовых избытков теплоты следует определять расчетом при среднегодовых значениях параметров наружного климата. При отсутствие соответствующих данных допустимо принимать величину $Q_{m.г}$ средней между расчетными избытками полной теплоты в ТП и ХП. Если воздухонагреватели второго или зонального догрева СКВ обслуживают несколько помещений, то величина $Q_{m.г}$ определяется как сумма для всехобслуживаемых помещений.

Годовой расход электроэнергии на перемещение воздуха СВ и СКВ

Годовой расход электроэнергии на перемещение воздуха СВ и СКВ равен сумме произведений потребляемой мощности электродвигателей $\sum N$, кВт, установленных в системе, на продолжительность их работы $M_г$ в ч/год

$$N_г = \sum NM_г, \quad (5.51)$$

Продолжительность работы вентиляторов СВ и СКВ в ч/год равна

$$M_г = M\Delta\tau_г. \quad (5.52)$$

Обычно $\Delta\tau_г = 365$ суток, если система работает с переменным расходом воздуха, то продолжительность периодов работы с разным расходом определяется как продолжительность характерных режимов потребления теплоты и холода, которые определены выше.

Влияние наружных климатических условий на показатели энергетической эффективности СВ и СКВ примерно такое же, как и для систем отопления. Поэтому все перечисленные выше мероприятия по повышению теплозащитных свойств ограждений здания и использованию потенциала наружного климата важны и для СВ и СКВ. Требования к параметрам микроклимата определяют выбор систем и оптимизацию энергопотребления за счет варьирования параметров микроклимата может осуществляться в достаточно узком диапазоне и поэтому не является определяющей, хотя и ей не следует пренебрегать. Наиболее

эффективными следует признать мероприятия по снижению расхода наружного воздуха и утилизации теплоты вытяжного воздуха, а также использование ВЭР и возобновляемых источников теплоты.

5.5.2 Мероприятия по снижение расхода приточного воздуха

К числу таких мероприятий следует отнести:

1. Применение местной вытяжной вентиляции, уменьшающей поступление вредностей в обслуживаемую (ОЗ – для помещений общественных зданий) или рабочую (РЗ – для помещений производственных зданий) зону помещения.

2. Если в помещении основным видом вредностей являются избытки теплоты, влаги и диоксид углерода, выдыхаемый людьми, то в помещение следует подавать минимально необходимое для дыхания количество воздуха, а избытки теплоты и влаги ассимилировать за счет обработки приточного воздуха, применяя эффективные схемы СКВ (многозональные с вентиляторными доводчиками, многозональные с переменным расходом холодильного агента и др.). В этих условиях может быть достаточно эффективной система вытесняющей вентиляции.

3. Применение систем с переменным расходом воздуха (СПР). Возможность применения таких систем появилась с внедрением в строительную практику вентиляторов с частотно-регулируемым приводом. Остановимся на них более подробно.

Применение СПР целесообразно в объектах с переменной нагрузкой - тепловой, влажностной и газовой. Переменный расход обеспечивает оптимальную технологию тепловлажностной обработки воздуха, устраняя перерасходы теплоты, холода, электроэнергии; иногда достигается снижение капитальных затрат. Все элементы системы должны выбираться с учетом переменности расхода воздуха, что безусловно вносит специфику как в проектирование, так и в наладку систем, которые должно вестись на основе единых научно и системно обоснованных методов.

Экономические преимущества СПР определяются исходными данными объекта и ограничениями. В зависимости от исходных данных и их сочетаний удается реализовать все или некоторые из следующих преимуществ СПР.

1. При несовпадении максимумов нагрузки объектов (помещений, зон), обслуживаемых одной системой, расчетная производительность СПР снижается по сравнению с системой постоянной производительности. Согласно полученной зависимости, приуменьшении расхода воздуха в 1,5 раза потребляемая мощность конкретным вентилятором уменьшается в 1,9 раза. Зависимость не может распространяться на все нагнетатели, но может свидетельствовать о качественной картине изменения потребляемой мощности в зависимости от глубины регулирования.

2. Уменьшается расчетная тепло- и холодопроизводительность, могут сокращаться типоразмер и количество единиц устанавливаемого вентиляционного, холодильного и теплотехнического оборудования, капитальные затраты на оборудование и монтаж, производственные площади, занимаемые оборудованием, и соответствующие сопряженные затраты.

3. СПР отличает большая гибкость эксплуатационных режимов работы, допускающая увеличение или уменьшение расчетных расходов в отдельных помещениях (зонах), присоединение или отключение отдельных частей сети воздуховодов и объектов. Это имеет большое, значение, особенно в производственных помещениях с гибким технологическим

процессом, при перспективном увеличении расчетной тепловой, влажностной и газовой нагрузок.

Условия применения СПР — достаточно емкий и сложный вопрос, который, основывается на исследованиях в этой области вентиляционной техники и теории и учете специфического для СПР оборудования и средств управления [27, 45]. Условия применения СПР могут быть записаны системой неравенств. Например, при стабилизации температуры в помещении в условиях переменной тепловой нагрузки при управлении расходами подаваемого и удаляемого воздуха

$$Q_{min} > G_{в.min}, Q_{ср} < G_{в.ж}$$

Первое неравенство учитывает благоприятное для СПР соотношение минимальных нагрузки Q_{min} и расхода $G_{в.min}$, т.е. технические ограничения. При невыполнении этого неравенства применяют смешанную СПР, т.е. последовательно управляют сначала расходом, а потом температурой приточного воздуха. Второе неравенство учитывает благоприятное по экономическим соображениям сочетание средних нагрузки $Q_{ср}$ и расхода воздуха $G_{в.ж}$. При его невыполнении применяют систему постоянной производительности.

Чтобы оценить целесообразность использования СПР, необходимо определить среднее и минимальное значения нагрузки и минимальное значение расхода.

В системах постоянной производительности устанавливают доводчики-нагреватели, в СПР – воздушные клапаны. Значительно изменяются условия проектирования, расчета процессов обработки воздуха и выбора оборудования. При учете переменного расхода воздуха в системе может оказаться, что в расчетном режиме оборудование выбирается не при максимальном расходе, а при некотором промежуточном и даже минимальном расходе воздуха.

Исходные данные объекта для применения СПР — это, прежде всего переменные тепловая, влажностная или газовая нагрузки, причем преобладающей (т.е. определяющей расчетный воздухообмен) может быть любая из них. Требуется одновременно учитывать весь комплекс ограничений снижению расхода воздуха в объекте и системе. Большинство объектов кондиционирования и вентиляции промышленных и гражданских зданий имеют нагрузки, переменные во времени, и ограничения, позволяющие снижать расход воздуха только до некоторой величины. При этом надо принимать во внимание нагрузки раздельно в рабочее и в нерабочее время, если в объекте нужно поддерживать параметры и после рабочих смен. Нерабочее время обычно не учитывается, хотя в этом режиме создаются дополнительные экономические преимущества при применении СПР.

Причины применения и отказа от применения СПР нуждаются в систематизации и обобщении, разнообразны и могут быть разделены на объективные и субъективные. Применение СПР связано с исходными данными (колебания нагрузки), отсутствием ограничений по снижению расхода, отсутствием теплоносителя (воды) в теплый период года, опытом принятия решений по СПР, наличием специфического для СПР оборудования и специальных изданий по СПР, стремлением проектировать новые, более экономичные системы, требованием снижения капитальных и эксплуатационных затрат. Отсутствие тех или иных условий может влиять на отказ от применения СПР.

1. Гигиеническое ограничение. Изменение расхода воздуха, подаваемого в помещение, отражается на всех его параметрах, но больше всего на подвижности.

2. Ограничение системы воздухораспределения (ВР). Влияние системы ВР является комплексным, так как при переменном расходе воздуха меняются температурные и динамические условия ВР. Главное, чтобы установленный ВР при переменном расходе воздуха сохранял расчетную схему циркуляции воздуха, не менял характер струи. Как правило, для основных типов воздухораспределителей изменение расхода не может превышать 20-30% от расчетной производительности.

3. Ограничение по изменению класса тепловлажностных нагрузок. Расчетом определяется необходимость включения в технологическую схему воздухонагревателя второго подогрева.

4. Ограничение по отклонению параметров. Необходимо уменьшить или исключить изменение одних параметров при изменении расхода воздуха для стабилизации других.

5. Ограничение по акустическим требованиям. Необходимо учитывать дополнительный шум, возникающий при дросселировании потока воздуха в зональных воздушных клапанах.

6. Ограничение по расчету и управлению процессов в тепломассообменном оборудовании при переменном расходе воздуха. Необходимо учитывать невозможность строгого поддержания двух параметров на выходе при разной эффективности, тепловлажностной характеристике процесса и расходе воздуха.

7. Ограничение по опасности аварийных ситуаций в воздухонагревателях (ВН). Необходимо предусмотреть дополнительные мероприятия для предотвращения замерзания ВН, при управлении ВН изменением расхода теплоносителя.

8. Ограничение по влиянию СПР на расход наружного воздуха. Необходимо учитывать и уменьшать изменение расходов наружного, рециркуляционного и выбросного воздуха при изменении общей производительности.

9. Ограничение по управлению вентилятором.

10. Ограничение по негерметичности дроссельных регулирующих устройств.

11. Ограничение по расходу наружного воздуха. Необходимо ограничивать снижение общей производительности системы минимальным расходом наружного воздуха.

12. Ограничение по рабочей разности температур. Необходимо ограничивать рабочую разность температур при переменной нагрузки для соблюдения условий воздухораспределения.

13. Ограничение по экономическим соображениям.

5.5.3 Снижение затрат энергии на перемещение воздуха

Как уже отмечалось, нагнетатели в системах жизнеобеспечения зданий играют незаменимую роль и являются значимыми потребителями энергии. Снижение расхода энергии на перемещение воздуха в СВ и СКВ может осуществляться за счет использования новых энергоэффективных электроприводов и нагнетателей, а также за счет оптимизации конструктивного решения системы воздуховодов. В настоящее время показателем энергетической эффективности работы нагнетателя в системе является показатель удельной мощности SPF (SpecificFanPower), отражающий потребляемую электродвигателем мощность, необходимую для создания единичного расхода в системе, Вт·с/м^3. Он вычисляется по формуле

$$\mathrm{SFP} = \frac{N}{L_v} = \frac{\Delta \mathrm{p}}{\eta_{\mathrm{tot}}}, \tag{5.53}$$

где N – потребляемая мощность электродвигателя вентилятора, Вт; L_v– номинальный расход воздуха через вентилятор, м^3/с; Δр - перепад давления воздуха на вентиляторе, Па; η_{tot} - общий КПД вентилятора, электродвигателя и тракта прохождения воздуха.

Европейский стандарт EN 13779, определяющий энергоэффективные нормы проектирования установок вентиляции и кондиционирования дает следующую классификацию удельной мощности вентиляторов

Таблица 5.5

Категория	SFP, Вт·с/м^3
SFP 1	< 500
SFP 2	500 – 750
SFP 3	750 – 1250
SFP 4	1250 – 2000
SFP 5	2000 – 3000
SFP 6	3000 – 4500
SFP 7	> 4500

Как следует из формулы (5.53) проектировщикам следует стремиться к возможно меньшим значениям удельной мощности.

5.5.4 Снижение затрат энергии в результате утилизации теплоты вытяжного воздуха

Утилизация теплоты вытяжного воздуха является достаточно действенным средством повышения энергетической эффективности СВ и СКВ. Как уже отмечалось в п. 3, для этих целей используют теплоутилизаторы различной конструкции. Там же рассмотрены конструкция, режимы работы и основы расчета теплоутилизаторов. Поэтому здесь мы остановимся на сравнительной характеристике устройств, которая поможет осуществить обоснованный выбор теплообменного аппарата.

Эффективность рекуператора, характеризующая работу устройства, вне зависимости от особенностей его установки и работы в составе системы характеризуется, как уже отмечалось, коэффициентом эффективности, который определяется отдельно по явной η_t или полной η_h теплоте:

- по явной теплоте

$$\eta_t = \frac{t_{1.к} - t_{1.н}}{t_{2.н} - t_{1.н}}, \tag{5.54}$$

- по полной теплоте

$$\eta_h = \frac{h_{1.к} - h_{1.н}}{h_{2.н} - h_{1.н}}, \tag{5.55}$$

где $t_{1.н}$, $t_{1.к}$ – соответственно начальная и конечная температура приточного (нагреваемого) воздуха; $t_{2.н}$ - начальная температура удаляемого воздуха; $h_{1.н}$, $h_{1.к}$ - соответственно начальная и конечная энтальпия приточного воздуха; $h_{2.н}$ - начальная энтальпия удаляемого воздуха.

Пластинчатые теплообменники

Основные преимущества:

1. Пластинчатые теплообменники компактны, имеют простое устройство и не содержат движущихся частей.

2. При надлежащей аппаратурной обвязке (вытяжной вентилятор установлен после теплообменника, приточный – до) исключено загрязнение приточного воздуха за счет утечек на вытяжке.

3. Практически отсутствует необходимость технического обслуживания, кроме случаев установки оборудования в условиях особо загрязненной воздушной среды (например, покрасочные камеры), что предполагает периодическую чистку теплообменников путем их промывки в растворителях и приводит к необходимости использования теплообменников с увеличенным расстоянием между пластинами.

4. Применение теплообменников приводит к незначительным дополнительным потерям напора на притоке и вытяжке и, как следствие, в связи с отсутствием дополнительных потребителей электрической энергии, незначительному увеличению энергии, потребляемой вентилятором.

Основные недостатки:

1. Использование возможно при условии пересекающихся между собой потоков приточного и вытяжного воздуховодов.

2. При условиях, способствующих обмерзанию теплообменников в зимний период необходимо периодически на притоке осуществлять автоматическую остановку вентилятора либо использовать байпас.

3. Отсутствует влагообмен между притоком и вытяжкой.

Роторные теплообменники

Основные преимущества:

1. Возможность использования ротора различного типа позволяет реализовать различные процессы обработки воздуха.

2. Благодаря тому, что процесс тепломассообмена осуществляется с боковой поверхности насадки, агрегат в целом имеет минимальную протяженность.

3. Регулирование скорости вращения ротора позволяет управлять общей эффективностью регенератора.

Основные недостатки:

1. Использование возможно при условии параллельного расположения приточного и вытяжного воздуховодов в непосредственной близости друг от друга.

2. Имеет место дополнительный расход электроэнергии, потребляемой вентиляторами на притоке и вытяжке на преодоление добавленной потери напора на плохообтекаемой поверхности ротора.

3. Загрязненный воздух частично переносится из вытяжки в приток. Загрязнение может быть уменьшено за счет использования ряда мероприятий конструктивного характера, таких как устройство «зоны очистки» и др., но не может быть устранено полностью, в связи с чем использование роторных теплообменников в условиях присутствия токсичных и дурно пахнущих веществ недопустимо.

Теплообменники с промежуточным теплоносителем

Основные преимущества:

1. Отсутствует необходимость смежного расположения приточного и вытяжного воздуховодов, что исключает надобность изменения их трассировки и весьма привлекательно для применения в существующих системах вентиляции и кондиционирования.

2. Перетекание загрязненного воздуха из вытяжки в приток полностью отсутствует, поскольку потоки разделены промежуточным теплоносителем.

Основные недостатки:

1. Высокий дополнительный расход электроэнергии, потребляемой циркуляционным насосом, который в сумме со сравнительно небольшим дополнительным расходом электроэнергии, потребляемой вентиляторами на притоке и вытяжке, при определенных обстоятельствах делает рекуперацию теплоты экономически нецелесообразной.

2. Наличие циркуляционного насоса и большого количества запорно-регулирующей арматуры обуславливает необходимость эксплуатационно-технического обслуживания в больших объемах.

3. Отсутствует влагообмен между притоком и вытяжкой.

Выбор рекуператора производят на основе комплексного технико-экономического анализа. Методы анализа рассмотрены в п. 6.

5.6 Повышение энергетической эффективности в системах теплоснабжения

К основным направлениям энергосбережения при распределении тепловой энергии относятся:

- оптимальные с точки зрения затрат на теряемую тепловую энергию и затрат на изоляцию, толщина и материал изоляции трубопровода
- наличие влагоизолирующего слоя на внешней поверхности изоляции, предотвращающего попадание капельной влаги в изоляцию;
- снижение увлажнения изоляции за счет адсорбции водяных паров из окружающей среди;
- снижение прямых утечек теплоносителя за счет негерметичиости трубопроводов и их соединений;
- изоляция арматуры и фланцевых соединений на трубопроводах;
- снижение гидродинамических сопротивлений водяных тепловых сетей за счет снижения отложений на внутренних стенках трубопроводов.

Около 80% всех теплотрасс в России выполнено канальным способом с применением мягких отечественных материалов — матов из стекловаты или минваты с гидроизоляцией (бризолом, изолом, полимерными лентами). Помимо того, что перечисленные материалы обладают недостаточными теплоизолирующими свойствами, они имеют весьма высокое влагопоглощение, что значительно уменьшает срок службы самой изоляции и увеличивает скорость коррозии металла труб.

Переход к использованию в тепломагистралях современных теплоизоляционных материалов позволяет не только снизить теплопотери в трубопроводах в 2-3 раза, но и увеличить срок службы труб за счет многократного замедления коррозии.

Применение теплоизоляции не может ограничиваться магистралями централизованного отопления. Изоляция внутридомовых тепловых сетей для уменьшения теплопотерь имеет не меньшее значение.

В зависимости от диаметра изолируемых труб, используются жесткие формованные изделия (цилиндры и скорлупы) или маты.

Для изоляции труб небольшого диаметра применяются цилиндры и скорлупы из полимерных или минераловатных теплоизолирующих материалов. Для трубопроводов тепловых сетей горячего и холодного водоснабжения диаметром от 18 до 273 мм предпочтительны формованные минераловатные изделия (цилиндры или скорлупы) с толщиной теплоизоляционного слоя от 20 до 80 мм.

Они обеспечивают весьма высокое термосопротивление, негорючи, имеют малое водопоглощение, высокую механическую прочность и точные геометрические размеры. Использование подобных изделий позволяет обеспечить высокую эффективность теплоизоляционных конструкций без дополнительных затрат на ремонт в течение времени, сопоставимого со сроком службы изолируемых конструкций.

Для теплоизоляции труб большего диаметра, а также обширных поверхностей используются маты. К примеру, для изоляции трубопроводов тепловых сетей, а также систем вентиляции и кондиционирования диаметром более 273 мм предпочтительны гидрофобизированные маты из минеральной ваты на синтетическом связующем.

В России до сих пор весьма популярна изоляция теплосетей и внутридомовых инженерных коммуникаций матами из стекловолокна. Но при таком кажущемся преимуществе, как относительная дешевизна, решения на основе стекловолокнистых матов менее эффективны и долговечны, нежели аналогичные решения на основе материалов из базальтовых горных пород.

Основные мероприятия программ развития и модернизации тепловых сетей можно разбить на пять укрупненных групп:

1. Проведение обследования объектов теплоснабжения;
2. Строительство новых источников тепловой энергии;
3. Модернизация и реконструкция ТЭЦ, котельных, тепловых сетей и ЦТП;
4. Строительство тепловых сетей;
5. Внедрение ресурсосберегающих технологий.

Для максимизации эффекта программ их следует реализовать в комплексе с модернизацией системы теплозащиты жилых и общественных зданий, совершенствованием их инженерных систем, мерами по утеплению квартир, оснащению их приборами учета и эффективной водоразборной арматурой.

5.6.1 Целевые индикаторы повышения энергоэффективности в системах теплоснабжения

Система целевых индикаторов повышения эффективности в жилищной сфере может выглядеть, как это показано в таблице 5.6, а со временем стать более развитой [46].

Таблица 5.6 Целевые значения основных индикаторов повышения энергетической эффективности в системах теплоснабжения

Индикаторы эффективности	Уровень		
	2000 года	2007 года	2020 года
Теплоемкость ВВП*, %	167	100	50
Удельный расход топлива на отпуск / Производство тепла на ТЭЦ,кг.у.т/ Гкал	155,4/-	152,5/156,6	152,3/156,4
Удельный расход топлива на котельных, Кг.у.т./Гкал	180,8	181,5	169,0

Продолжение таблицы 5.6

Удельный расход электроэнергии на котельных, кВт·ч,Гкал	12,4	26,0	12,0
Доля потерь в тепловых сетях, %	13,4	14,7	10,7
Доля замены тепловых сетей, %	-	2,2	4,0

(*) За 100% принят уровень 2007 года

Частными индикаторами могут быть показатели, часть из которых уже сейчас наблюдается статистикой, но точность оценки которых требует повышения:

- имеющийся резерв мощности;
- относительная материальная характеристика;
- доля ТЭЦ и других когенерационных источников в выработке тепла;
- удельное потребление электроэнергии в системах транспорта тепла;
- подпитка в системах централизованного теплоснабжения;
- доля тепловых источников, оснащенных приборами учета топлива и тепла;
- доля ЦТП, оснащенных приборами учета топлива и тепла;
- доля тепловой энергии, отпускаемой по приборам учета;
- число когенерационных источников на котельных и производство электрической энергии на них.

5.6.2 Основные мероприятия и механизмы реализации энергосбережения

1. Формирование перспективных муниципальных энергетических планов и схем теплоснабжения, включая определение рациональной степени централизации отдельных зон теплоснабжения, резервирования мощности и направлений изменения топливного баланса систем теплоснабжения населенных пунктов. Важнейшим направлением реализации программы реконструкции и развития систем теплоснабжения должны стать:

инвентаризация и уточнение баланса нагрузок потребителей и мощностей источников;

консервация или демонтаж избыточных мощностей;

модернизация централизованных систем теплоснабжения с высокой плотностью тепловой нагрузки;

частичная децентрализация систем, находящихся в зоне предельной эффективности централизованного теплоснабжения;

полная децентрализация многих локальных систем теплоснабжения с очень низкой плотностью тепловой нагрузки.

2. Разработка типовых моделей рынка теплоснабжения, изменение институциональной структуры и системы договорных отношений участников рынка в рамках выбранной муниципалитетом модели, максимальное внедрение механизмов конкуренции на рынках тепла.

3. Изменение принципов управления системами теплоснабжения за счет изменения подхода к планированию (зонирование и индикативное планирование) и тарифообразованию, введение и отслеживание выполнения требований муниципальных стандартов предоставления услуг теплоснабжения и изменение схемы дотирования теплоснабжения.

4. Изменение схемы организации населения как конечного покупателя тепловой энергии и развитие энергосервисного бизнеса. Выделение двух видов услуг теплоснабжения – обеспечение

ресурсами тепла и теплового комфорта: температуры, влажности, бесперебойного функционирования водоразборных приборов и др.

5. Формирование источника покрытия привлекаемых инвестиций на модернизацию элементов системы теплоснабжения и повышение энергетической эффективности зданий преимущественно за счет экономии при обеспечении параметров комфорта и соблюдении требований муниципальных стандартов предоставления услуг теплоснабжения.

6. Переход к расчетам за реально потребленную тепловую энергию и уточнение на этой основе нормативов их потребления для потребителей, не обеспеченных приборами учета.

7. Изменение принципов менеджмента муниципальных систем теплоснабжения за счет акционирования муниципальных предприятий теплоснабжения и активного привлечения в качестве операторов частных компаний, организаций сервисного обслуживания систем теплоснабжения в сельской местности.

8. Совершенствование тарифообразования. Введение сезонных тарифов на тепло для стимулирования производства летом тепловой энергии на ТЭЦ. Ликвидация перекрестного субсидирования. Переход от тарифообразования на основе принципа «затраты плюс» к определению устойчивых предельных уровней тарифов, корректируемых по установленной «формуле цены», и к формированию «тарифного меню» на тепловую энергию для конечных потребителей.

9. Создание интеллектуальных систем теплоснабжения за счет развития автоматизации технологических процессов выработки, транспорта и распределения энергоресурсов в соответствии с требованиями потребителя и обеспечением надежности и качества услуги; дистанционного контроля и управления технологическими процессами на распределенных по территории города коммунальных объектах; информатизации всех процессов, составляющих бизнес теплоснабжения

Рычагами государственного управления процессом теплоснабжения становятся:

- определение форматов и процедур утверждения перспективных муниципальных энергетических планов и схем теплоснабжения;
- определение минимальных уровней стандартов качества, надежности и эффективности предоставления услуг теплоснабжения, мониторинг соблюдения этих стандартов и определение правил наложения штрафных санкций за нарушение их требований в договорах на аренду муниципальной инженерной инфраструктуры теплоснабжения;
- определение правил формирования верхнего предельного тарифа и «формулы цены» на тепловую энергию, а также определение устойчивых предельных тарифов на производство и передачу тепловой энергии, корректируемых по установленной «формуле цены», и формирование «тарифного меню» на тепловую энергию для конечных потребителей;
- определение правил подключения независимых производителей и новых потребителей тепловой энергии к единой тепловой сети;
- введение схемы бюджетных дотаций на компенсацию разрыва в уровнях эффективности производства и транспорта тепловой энергии и в уровнях платежной способности;
- увязка процедур выделения бюджетных капитальных вложений со снижением разрыва в уровнях эффективности производства и транспорта тепловой энергии.

Ключевыми вопросами регулирования отношений муниципалитетов с операторами рынка теплоснабжения являются:

- программы комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры и муниципальные энергетические планы с зонированием территории по уровню централизации теплоснабжения;
- конкретные значения муниципальных стандартов предоставления услуг теплоснабжения в договорах на привлечение операторов системы теплоснабжения и технических заданиях на разработку инвестиционных программ, по которым будет осуществляться мониторинг их деятельности;
- сроки и условия договоров аренды, включая уровень арендных платежей за пользование муниципальным имуществом и «меню договоров» для различных схем привлечения компаний в качестве операторов рынка теплоснабжения или отдельных его фрагментов;
- определение способов и источников финансирования мер по развитию и модернизации систем теплоснабжения, а также процедур и способов возмещения этих затрат;
- определение нормативов потребления для покупателей, не имеющих приборов учета;
- внедрение новых схем взимания платежей (биллинга) и организация взаимодействия с конечными потребителями – энергосервисный бизнес; разработка правил работы биллинговых и энергосервисных компаний.

5.7 Энергосберегающие мероприятия в системах водоснабжения и водоотведения

Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения зданий также имеет большой потенциал для снижения потерь и нерационального расходования ресурсов и энергии. Первый шаг в данном направлении - это введение учета потребления воды. Установка водомеров технически сама по себе не сокращает расход воды, однако создает условия для оценки уровня водопотребления и приводит к более осознанному отношению потребителей. В учреждениях образования учет расхода воды - это также элемент контроля уровня потребления, позволяющий увидеть скрытые утечки воды, когда они становятся значительными.

Для снижения расхода воды используются такие простейшие устройства как аэраторы (см. п. 4), которые создают вместо струи воды из кранов поток водо-воздушной смеси с преимущественной долей воздуха. Они позволяют существенно экономить ресурсы. Установка регулируемых аэраторов может производиться путем замены крана или присоединения таких устройств к изливу существующих санитарных приборов.

Снижение непроизводительных расходов воды может обеспечиваться гидравлической оптимизацией во внутреннем водопроводе зданий, которая осуществляется установкой редукционных клапанов на отводящих трубопроводах от стояков к приборам. Они поддерживают в трубопроводах давление на уровне оптимальных значений. Поскольку расход воды из приборов пропорционален давлению в подводящих трубопроводах, то снижение избыточного давления трубопроводах на нижних этажах здания уменьшает расход воды.

Теплоизоляция трубопроводов водоснабжения в здании - как горячих, так и холодных - также позволяет добиться более рациональной эксплуатации технических систем здания. Если при теплоизоляции трубопроводов горячего водопровода предотвращаются потери тепла и остывание воды, то теплоизоляция труб холодной воды позволяет минимизировать конденсацию влаги на них и нагревание воды в них. Кроме того, повышение температуры воды

в холодном водопроводе выше 25°С и снижение температуры воды в горячем водопроводе ниже 40°С увеличивает риск возникновения микробиологических загрязнений в воде, например, легионелеза. В связи с этим в нормативных документах, регламентирующих устройство систем водоснабжения зданий, содержатся требования по термоизоляции трубопроводов.

Использование современной насосной техники для водоснабжения и водоотведения зданий, как и для систем отопления, позволяет значительно снизить потребление электроэнергии для работы повысительных насосных станций, циркуляционных насосов горячего водоснабжения, установок водоотведения. Более подробно с эффективным применением насосов можно ознакомиться в главе 4 данного пособия о системах отопления зданий.

Еще одно направление, позволяющее снизить расходы питьевой воды, - это использование дождевой воды в тех случаях, когда это возможно. Перспективность данных мероприятий традиционно относят к категории, не заслуживающей серьезного рассмотрения. Принято считать, что наша страна достаточно обеспечена водными ресурсами и в отличие, например, от Африки здесь нет необходимости заниматься сбором и использованием дождевой воды. Хотя очевидно, что в отличие от пустыни Сахары дождей на территории Беларуси, Украины, России, выпадает больше, и этим пользуются владельцы дачных участков, собирая дождевую воду для полива посадок [19].

Более широкое использование дождевой воды для хозяйственно-бытовых целей в европейских государствах обуславливается высокой ценой питьевой воды из централизованного водоснабжения. В таких условиях применение дождевой воды для смывных бачков туалетов, полива и других потребностей, где может быть использована вода не питьевого качества, выгодно экономически. Кроме того, в рамках программ по сокращению потребления питьевой воды стимулируются мероприятия по использованию дождевой воды через льготы по налогам или компенсации для приобретения соответствующего оборудования.

Обычно рациональность использования дождевой воды в наших условиях рассматривается только с позиций ресурсосбережения как возможность сокращения забора воды из централизованных систем водоснабжения или из природных источников. Следует отметить, что ряд дополнительных преимуществ не принимается во внимание, в частности снижение затрат энергии на подачу воды, уменьшение объемов отводимых сточных вод. Известно, что любой ресурс - это также и энергия, затраченная на его получение. Питьевая вода - ресурс, который требует значительных затрат энергии на его добычу и доставку к потребителям. При использовании классической схемы водоснабжения с подачей воды из подземных источников затраты энергии на 1 $м^3$ воды в два раза выше нежели при использовании заводских установок для сбора и применения дождевой воды.

При снижении забора воды из централизованных систем водоснабжения и использовании определенного объема дождевых вод, на этот же объем снижается суммарное водоотведение в системы хозяйственно-бытовой и дождевой канализации. Таким образом, уменьшается потребление энергии на перекачку и обработку сточных вод. Особенно ощутимый результат может дать промышленным предприятиям, занимающим большие площади, где использование дождевой воды может быть весьма эффективно для снижения платежей за водоотведение. Как известно, предприятия оплачивают услуги по водоотведению в системы дождевой канализации

на основе данных инструментального учета объемов водоотведения или при отсутствии такого учета в зависимости от площади территории предприятия.

К тому же для промышленных предприятий в большинстве случаев существует больше возможностей для применения дождевой воды на технические нужды. Помимо смывных бачков, она может использоваться для подпитки оборотных систем охлаждения, установок для мойки транспорта и других потребностей.

Существуют возражения в части сложности обустройства и эксплуатации санитарно-технических систем производственных зданий с питанием водой из различных источников, однако уже сейчас известны примеры использования речной воды на белорусских предприятиях для водоснабжения туалетов с устройством раздельной подачи воды питьевого и технического качества во внутреннем водопроводе зданий. Мотивом такого решения становится снижение оплаты за питьевую воду из централизованной системы водоснабжения города.

Для технической реализации сбора и использования дождевой воды к настоящему времени на рынке предлагается ряд установок и систем для применения в жилых домах, административных и производственных зданиях. В состав установок входят:

- сборные резервуары для хранения запаса воды, - насосы для подачи воды в сеть,
- приборы контроля и автоматики,
- фильтры для очистки собираемой дождевой воды, смонтированные в виде установок заводской комплектации или в виде функциональных блоков для систем большой производительности.

На рис. 5.19 приведен пример [19] оборудования системы использования дождевой воды с насосной установкой, которая выполнена в виде компактного модуля подачи воды из емкостей или водоемов с помощью погружных насосов.

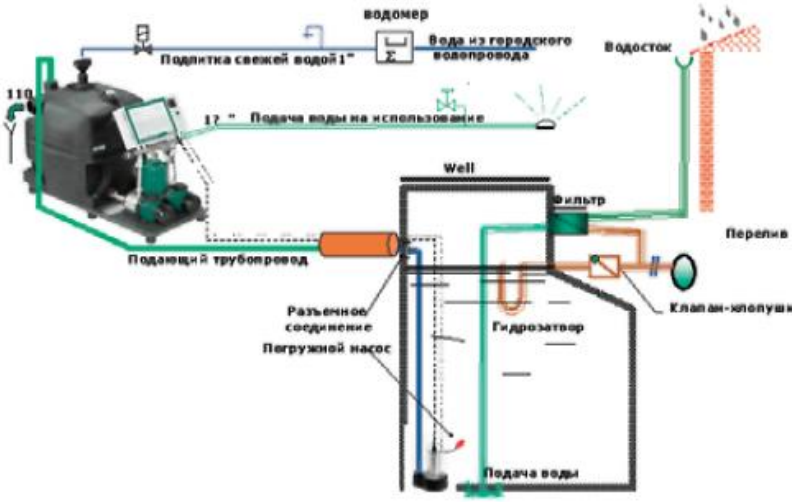


Рис. 5.19 Пример оснащения системы сбора и использования дождевой воды с помощью насосной установки [19]

Установка включает от двух до четырех бесшумных, многоступенчатых, центробежных насосов высокого давления, снабженных шаровыми кранами и обратными клапанами со стороны всасывающего и напорного патрубков, и мембранный бак для поддержания давления в сети. Резервуар большой емкости оборудован системой подпитки свежей водой из централизованной системы водоснабжения в случае отсутствия воды в емкости для сбора и

хранения дождевой воды. Все элементы, контактирующие с перекачиваемой средой, устойчивы к воздействию коррозии. Установка оснащена системой электронного управления насосами с возможностью ручного и автоматического включения каждого насоса или каскадного попеременного включения насосов. Также есть функция тестовых пусков при простое установки, автоматического переключения на насос пиковой нагрузки или на резервный насос при неисправности.

Система сбора и использования дождевой воды кроме насосной установки включает емкость для аккумуляции воды, фильтры для очистки дождевой воды, погружной дренажный насос для подачи воды из аккумулирующей емкости, переливные клапаны, трубопроводы (рисунок 6.4). Такая система может обеспечить потребности в технической воде различных предприятий, например, станций техобслуживания автомобилей, мотелей и т.д. Рентабельность таких установок определяется ценами на воду и электроэнергию, а также размерами платежей за водоотведение дождевых сточных вод.

Водоснабжение населенных пунктов производится от водозаборных скважин, водозаборов из открытых источников (водоемов и рек) через систему водозаборных узлов с системой водоочистки.

Вода забирается насосами первого подъема, при необходимости проходит систему водоочистки и накапливается в резервуарах второго подъема. Насосом второго подъема подают воду в систему городского водоснабжения. Каждый водозаборный узел обычно имеет не менее двух скважин (водозаборных насосов первого подъема). Производительность насосов первого подъема больше среднего значения подачи воды от водозаборного узла в систему. Буферные емкости второго подъема сглаживают график подачи насосов первого подъема. Насосы первого подъема работают в постоянном, по подаче воды, режиме. Объем подаваемой воды регулируется продолжительностью их работы. Насосы второго подъема работают в соответствии с режимом водопотребления, который в течение суток, дней недели, времени года сильно меняется.

Снабжение водой промышленных предприятий осуществляется либо от системы водоснабжения ближайшего населенного пункта, либо от собственного водозаборного узла. Сброс сточных вод производится либо в городскую канализационную сеть и городские очистные сооружения, либо на собственные очистные сооружения, а после них в водоемы.

Перерасход энергии в системах водоснабжения (в том числе оборотного) и водоотведения вызывается следующими причинами:

1) нарушение или несоблюдение правил эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения;

2) износ сетей и оборудования;

3) просчетами, допущенными при подборе и установке насосов;

4) нарушениями или выбором нерациональных режимов эксплуатации;

5) утечками воды из системы через уплотнения насоса, через свищи в стенках труб, образующиеся под действием коррозии, через неисправную запорно-регулирующую арматуру;

6) увеличением гидростатического сопротивления сетей в результате зарастания трубопроводов отложениями;

7) колебаниями нагрузки систем водоснабжения и водоотведения;

8) отсутствием стимулов экономичного расходования воды персоналом предприятий, жителями населенных пунктов;

9) отсутствием средств автоматизации, учета и диспетчеризации водопотребления и водоотведения;

10) в системах ГВС – вследствие застаивания и остывания воды в тупиковых участках системы при низких уровнях водозабора, в результате чего потребитель вынужден сливать её значительное количество до тех пор, пока не пойдет горячая вода.

Все рекомендуемые энерго- и ресурсосберегающие мероприятия могут быть разделены на беззатратные, малозатратные, среднезатратные и высоко затратные [30].

5.7.1 Беззатратные и малозатратные мероприятия

На осуществление беззатратных и малозатратных мероприятий не требуется дополнительных затрат, или же дополнительные затраты окупаются в течение нескольких месяцев вследствие снижения эксплуатационных затрат. К числу таких мероприятий относятся следующие [19, 30].

1. Соблюдение правил эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения и применяемого в них оборудования.

2. Замена морально устаревших ламп освещения помещений насосных на более совершенные.

3. Применение современных материалов уплотнений насосов (например, на основе тефлона).

4. Применение современной арматуры.

При наличии емкостей второго подъема для накопления необходимых запасов воды в ночное время имеется возможность отказаться от работы насосов первого подъема в часы пик. Это позволяет использовать льготы по двухтарифным ставкам системы учета электропотребления.

5.7.2 Среднезатратные мероприятия

К числу мероприятий, затраты на проведение которых окупаются преимущественно за 2-3 года, относятся следующие [30].

1. Обеспечение экономичных режимов эксплуатации насосов. Для этого рекомендуются следующие организационные мероприятия:

- замена группы малопроизводительных насосов более производительными, имеющими, как правило, более высокие КПД в рабочем диапазоне расходов жидкости;
- замена насоса, если гидравлическая характеристика сети не соответствует его паспортным данным;
- повышение КПД насосов до их паспортных значений установкой новых уплотнений в сочетании с тщательной балансировкой рабочих колес;
- замена агрегатов с редукторами или клиноременной передачей на агрегаты с непосредственным соединением рабочего колеса с валом двигателя;
- осуществление автоматизированного управления работой насосного оборудования для максимально возможной загрузки насосов;
- применение насосов с частотным регулированием подачи;

- при отсутствии регулятора частоты регулирование производительности насосной установки или станции может производиться не только с помощью дроссельных заслонок, но и путем ступенчатого включения – выключения параллельно установленных насосов меньшей производительности;

- в системах водоснабжения с насосными агрегатами, рассчитанными на максимальную подачу воды при максимальном напоре, целесообразно устанавливать емкости-накопители (аккумуляторы) воды на высоте требуемого напора с устройством автоматического отключения насосного агрегата при заполнении емкости водой. При этом учитывается, что потребность в максимальной мощности на практике бывает кратковременной.

Если насосы второго подъема работают по сильно меняющемуся графику водопотребления, минимум которого приходится на ночной период, а на городскую сеть водоснабжения работают несколько водозаборных узлов, следует использовать системы автоматического переключения подачи воды на менее мощные (по производительности) насосы, либо отключать часть водозаборных узлов – при развитии кольцевой системы водораспределения. Объясняется это тем, что электрическая мощность, потребляемая насосами второго подъема на холостом ходу (по характеристикам водонасосных агрегатов) составляет 40-60% номинальной. Для этого необходимо проанализировать изменение КПД водозаборных узлов в системе водоснабжения ($\eta = G\Delta p/\rho N$ в течение суток и времени года, выявить периоды наиболее экономичной работы и учитывать это в выборе режимов эксплуатации системы. Необходима автоматизированная система управления водозаборными узлами с датчиками управления, расположенными в критических, по давлению, точках системы водораспределения, которая в совокупности с частотными регуляторами оптимизирует режимы работы насосов.

Применение частотного регулирования скорости вращения рабочих колес насосов, позволяет поддерживать экономичные режимы работы всей системы. Экономия энергии при этом может достигать 30% и более.

2. Изменение диаметров трубопроводов, принципиальной схемы, конструктивного исполнения систем водоснабжения и водоотведения, применение труб из полимерных материалов. Потери от трения жидкости в трубах можно уменьшить на 50-75% при увеличении диаметра трубы.

Аналогичного результата удается добиться заменой труб из традиционных материалов на трубы из полимеров, отличающиеся значительно меньшей шероховатостью. Так же они обладают повышенной стойкостью к воздействию агрессивных сред, т. е. меньше подвержены коррозии. Кроме того, в трубах из полимерных материалов значительно медленней происходит нарастание отложений на стенках. В результате такой замены срок службы сетей увеличивается с 3-10 до 30 лет и более. Гидравлическое сопротивление и затраты мощности на привод насосов при том же диаметре трубопровода и неизменном расходе воды снижаются примерно на 25%. Уменьшение гидравлических потерь в системах горячего водоснабжения, значительных при использовании кожухотрубных (секционных) теплообменных аппаратов при их замене на пластинчатые теплообменники, отличающиеся меньшими гидравлическими сопротивлениями самих теплообменников и более простой обвязкой трубопроводов, приводит к дополнительной экономии затрат электроэнергии на прокачку теплоносителя по системе на 5-10 %.

3. Экономия электроэнергии и воды при переходе к оборотным системам водоснабжения. Недостаточное использование систем оборотного водоснабжения приводит к дополнительной нагрузке на очистные сооружения и на насосное оборудование систем водоснабжения и водоотведеиия. Поэтому, например, переход от прямоточного к оборотному водоснабжению в системах охлаждения энергетического и технологического оборудования снижает потребление воды от внешних источников и, соответственно, нагрузку на насосное оборудование системы водозабора и на очистные сооружения. Однако возможность реализации подобных решений сдерживается спецификой работы систем охлаждения. Например, во многих химических производствах, процессы которых протекают под вакуумом, температура охлаждающей воды в любое время года не должна превышать 10 °С. Указанное условие не может быть обеспечено в оборотных системах с градирнями, брызгальными бассейнами, или прудами-охладителями в летнее время, поэтому переход к системе оборотного водоснабжения возможен только при встраивании в неё холодильной установки (парокомпрессионной, абсорбционной или пароэжекторной). Выбор типа установки зависит от наличия дешевого источника электроэнергии или теплоты. Возможность получения пара от котлов-утилизаторов или других теплоутилизационных установок делает предпочтительным выбор абсорбционной или пароэжекторной установки, ввод в действие которых окупается обычно в течение нескольких лет в основном за счет снижения затрат на воду от внешних источников и сокращения её сброса в промышленную канализацию.

4. Борьба с отложениями в системах водоснабжения и водоотведения. Состояние систем водопользования оказывает существенное влияние на гидравлические потери. Зарастание трубопроводов камнем в результате отложений приводит к уменьшению их проходного сечения и, следовательно, к увеличению гидравлического сопротивления.

Водогрейные котлы систем горячего водоснабжения через 3-4 месяца зарастают водным камнем, их КПД падает с 85% до 50%, водогрейные трубы быстро прогорают. Все это приводит к значительному перерасходу топлива и финансовых затрат [25].

Образование отложений в трубках теплообменных аппаратов систем горячего водоснабжения ведет к увеличению гидравлического и термического сопротивлений теплопередающих поверхностей. В результате возрастают затраты электроэнергии на прокачку теплоносителей и потребление теплоты на нагрев воды. В системах вследствие повышения средней температуры греющего теплоносителя и потерь теплоты в окружающую среду.

В системе оборотного водоснабжения при использовании в ней для подпитки жесткой воды, также возможно зарастание обратной линии камнем и возникновение ненормальных режимов эксплуатации циркуляционного насоса (увеличение гидравлических потерь в системе и увеличение подачи воды на подпитку системы).

Использование воды из водозаборных скважин в качестве питательной воды для небольших котельных сельскохозяйственных усадеб, небольших промышленных предприятий и городов приводит к тому, что котлы и теплообменные аппараты, особенно в сетях горячего водоснабжения, быстро покрываются внутри накипью, снижается их коэффициент полезного действия. бывают случаи, когда через 3-4 месяца эксплуатации коэффициент полезного действия котла горячего водоснабжения снижается до 50-60% и система нуждается в промывке. Следует иметь ввиду, что потери давления при турбулентном режиме возрастают обратно

пропорционально внутреннему диаметру трубы в пятой степени. Это приводит к значительному перерасходу энергии насосными системами.

Борьба с отложениями является сложной технической проблемой. Она проводится как механическим, так и химическим способами и требует остановки сетей на ремонт.

В настоящее время созданы и начали широко внедряться в системах отопления, горячего и оборотного водоснабжения дешевые автономные автоматизированные установки для обработки воды присадками типа «комплексонов», которые после добавления их в малых дозах (около 0,6 г/м^3) в подпитывающую воду, и не меняя жесткости воды, препятствуют образованию отложений. Действие присадки основано на нарушении центров кристаллообразования. Разложившиеся при нагреве соли временной жесткости агрегатируются и остаются в воде во взвешенном состоянии. В осадок они выпадают в зонах с низкой скоростью движения воды. При концентрации присадки, превышающей равновесное значение, начинается процесс отмывки системы от ранее образовавшихся отложений.

5. Устранение утечек воды. При наличии утечек воды в системе потери энергии равны величине утечек, умноженных на удельные энергозатраты подачи воды в систему. Кроме видимых утечек воды через неплотности в системах водопользования важно определение величины потерь в подземных частях водопроводов и емкостей для хранения воды. В системе водоотведения дополнительные потери могут возникнуть при нарушении технологии очистки сточных вод.

6. Организация учета водопотребления. Значительный ущерб предприятиям и другим потребителям наносят неконтролируемые технологические расходы воды. Эффективным средством борьбы с перерасходом воды в этом случае является организация учета водопотребления. Для этого необходимо составить водный баланс предприятия, проанализировать схемы водопользования и расходы воды, экономически оптимизировать систему водопользования.

Существенное снижение затрат энергии и финансов дают, как правило, быстрое выявление и ликвидация утечек воды в системе. Известны случаи снижения водопотребления и, соответственно, затрат до 100%.

Утечки воды в теплотрассе определяются по расходу подпиточной воды либо по балансу расхода воды в прямой и обратной трубах. Для выявления мест утечек в подземных теплотрассах используются акустические течеискатели, в том числе корреляционные течеискатели, указывающие расположение мест утечек между двумя датчиками.

7. Диспетчеризация и АСУ в сочетании с применением частотно регулируемых электроприводов позволяет значительно увеличить экономию за счет оптимизации режимов эксплуатации системы, более оперативного и точного определения утечек.

8. Стимулирование заинтересованности населения и персонала предприятий в снижении расхода воды возникает после оснащения вводов зданий и квартир водосчетчиками. В первую очередь следует оборудовать узлами учета крупные потребители воды, в том числе отдельные здания. Введение ежемесячной оплаты за воду по фактическому расходу воды с разбросом оплаты пропорционально численности жильцов в квартирах является первым шагом включения населения в кампанию за экономию. Оснащение узлами учета квартир будет способствовать большей их заинтересованности в энергосбережении.

Введение оплаты за коммунальные услуги по фактическим затратам с разъяснением жильцам соответствия стоимости услуг фактическим затратам теплоты пробуждает желание экономить теплоту. Регуляторы и приборы учета должны использоваться вместе. Индивидуальный учет потребления эффективен тогда, когда потребитель имеет возможность регулировать рас. код теплоты в зависимости от своих собственных потребностей.

9. Анализ режимов работы системы водоотведения. Анализ режимов системы водоотведения сводится, в основном, к анализу режимов работы насосного оборудования станций перекачки и очистных сооружений.

10. Использование избыточной температуры стоков, химической энергии горючих веществ, загрязняющих стоки. Дополнительные резервы энергосбережения в системах водоотведения связаны с возможностью использования избыточной температуры, химической энергии горючих веществ, загрязняющих стоки. Примером энергосберегающей технологии обезвреживания стоков может служить огневое обезвреживание сточных вод с высоким (порядка 50%) содержанием горючих веществ (спиртов, бензина, керосина, ацетона, масел и др.). Такие стоки являются фактически топливом и обезвреживать их можно, подавая в топки котлов через форсунки. При этом дополнительные затраты необходимы для организации системы сбора и подачи стоков в котел, проведения более частых чисток поверхностей нагрева котла, содержания дополнительного персонала. Компенсируются указанные затраты тем, что подаваемые на сжигание стоки замещают часть топлива, использовавшегося ранее для выработки пара или горячей воды.

В случае получения стоков с других предприятий появляются дополнительные затраты на их перевозку. Они компенсируются платежами по стоимости и ниже суммы затрат на оплату очистки или сброса стоков в городские очистные сооружения или промышленную канализацию. Лимитирующим фактором реализации указанной технологии является повышенное содержание минеральных примесей стоков. Оно не должно, как правило, превышать нескольких процентов. При более высоком содержании минеральных примесей необходимо сооружать специальные печи и данное техническое решение из разряда среднезатратных перейдет в разряд высокозатратных.

5.7.3. Высокозатратные энергосберегающие мероприятия

1. Возможности экономии электроэнергии в электрохозяйстве систем водоснабжения и водоотведения связны в значительной мере с внедрением АСКУЭ с последующим переходом с двухставочного тарифа оплаты электроэнергии на одноставочный.

2. Основные резервы энергосбережения в системе горячего водоснабжения подразумевают:

- замену секционных (кожухотрубчатых) водоподогревателей пластинчатыми, имеющими меньшие габаритные размеры, следовательно, меньшие потери в окружающую среду и более простую обвязку трубопроводами. Эксплуатационные затраты снижаются примерно на 30%.

- оснащение циркуляционных и подпитывающих насосов в тепловых пунктах частотнорегулируемыми электроприводами, позволяющими изменять расход воды в системах, не прибегая к дросселированию, что ведет в конечном итоге к экономии 10-30% электроэнергии;

- оснащение вводов зданий подмешивающими насосами, балансировочными клапанами, водосчетчиками, имеющими выходы для передачи информации в компьютерную сеть; создание на этой основе системы диспетчеризации потребления теплоты, холодной и горячей воды и переход к регулированию расхода тепловой энергии на горячее водоснабжение - по разбору горячей воды, к поддержанию давления воды в системах в пределах допустимых значений, снижению утечек воды вследствие разгерметизации систем при превышении допустимых давлений. Срок окупаемости от 2,5 до 5 лет при экономии 5-10% тепловой энергии за отопительный период.

3. Строительство очистных сооружений, оборудованных утилизационным оборудованием. Экономическая эффективность определяется не только получением пара или воды для целей теплоснабжения, но и извлечением ряда веществ, используемых в дальнейшем в качестве вторичного сырья.

4. Значительные резервы энергосбережения имеются в оборотных системах водоснабжения. Через них сбрасывается в окружающую среду более 30% теплоты топлива на ТЭЦ, более 60% теплоты топлива на КЭС, до 30% использованной теплоты топлива, пара, других энергоносителей на многих промышленных предприятиях. Проблема использования данного резерва принципиально решается с помощью тепловых насосов. Они нашли широкое применение в странах западной Европы, в США, Японии и др.

5.8 Использование тепловых насосов для повышения энергетической эффективности систем жизнеобеспечения

Принцип действия теплового насоса и его основные технических характеристики рассмотрены в п. 3. Здесь мы рассмотрим некоторые схемные решения и методические вопросы применения ТН в системах жизнеобеспечения зданий.

5.8.1 Тепловые насосы в системах отопления зданий

Для рационального использования энергии в системах отопления зданий целесообразно, как и при электрическом отоплении применять тепловой насос. Предпосылкой эффективного использования теплонаносных установок (ТНУ) является всесторонний учет всех внутренних и внешних условий протекания процесса отопления здания.

Энергетическая эффективность теплового насоса оценивается с помощью коэффициента преобразования энергии ε_T (см. 3.25). Коэффициент использования энергии $\varepsilon_и$ тепловых насосных установок зависит от разности температуры $\Delta T = T_k - T_и$ (T_k - температура конденсации, $T_и$ испарения) и совершенства конструкции установки:

$$\varepsilon_и = \beta_р \varepsilon_C, \tag{5.56}$$

где ε_C - коэффициент преобразования идеального цикла Карно

$$\varepsilon_C = \frac{T_и}{T_к - T_и}, \tag{5.57}$$

$\beta_р$ – степень термодинамического совершенства реального процесса в теплонасосной установке.

На рис. 5.20 представлены приблизительные соотношения коэффициентов идеального цикла Карно и $\varepsilon_и$ действующих теплонасосных установок [29]. Тепловые насосы (компрессионные,

сорбционные, термоэлектрические, газовые, струйные, комбинированные) работают на различных источниках энергии, поэтому базой для сравнения их энергетической эффективности может служить первичная энергия, полученная в установках на органическом или ядерном топливе.

Коэффициент использования первичной энергии $\eta_{пэ}$ находят как отношение полезной энергии, поступающей в распоряжение потребителя, к подведенной первичной энергии, не подверженной никаким энергетическим преобразованиям,

$$\varepsilon_{п.э} = \varepsilon_и \eta_к, \tag{5.58}$$

где $\eta_к$ - коэффициент полезного действия электростанции, котла или другого источника первичной энергии.

Например, коэффициент использования первичной энергии компрессионными и сорбционными тепловыми насосами будет в двух случаях приблизительно равен 0,9, если в первом случае $\varepsilon_и = 3$ на базе электростанции ($\eta_к = 0{,}3$), а во втором $\tau_и = 1{,}4$ при кпд котла $\eta_к = 0{,}65$ [29].

В целях экономии энергии следует применять в системах отопления ТНУ, обеспечивающие высокую степень использования первичной энергии.

Сезонный расход первичной энергии при эксплуатации отопительной системы равен

$$Q_{п.э} = \frac{Q_{от}}{\varepsilon_{п.э}}, \tag{5.59}$$

где $Q_{от}$ - сезонная потребность системы отопления в тепловой энергии.

Коэффициент использования, превышающий единицу, может быть достигнут в системе отопления только с помощью теплового насоса.

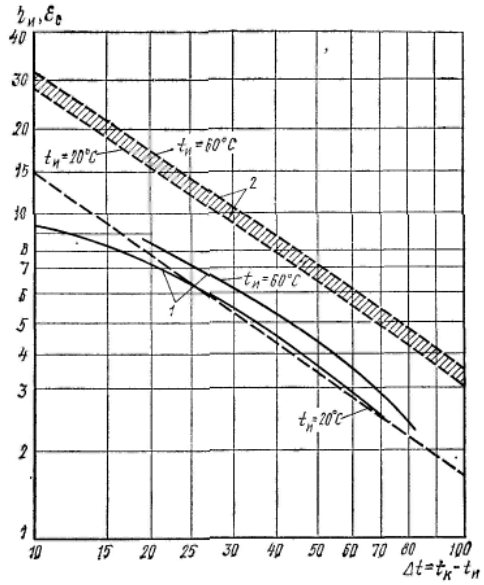


Рис. 5.20 Соотношение показателей идеального цикла Карно и коэффициента использования энергии действующих теплонасосных установок [29]

1 – коэффициент использования энергии; 2 – коэффициент преобразования энергии

Таблица 5.7 Значения коэффициента использования первичной энергии для некоторых видов отопления $\varepsilon_{п.э}$ и $\varepsilon_{и}^{мин}$ [29]

Вид отопления	$\varepsilon_{п.э}$	$\varepsilon_{и}^{мин}$
Электрическое отопление	0,28	0,28/0,28 = 1
Отопление от котлоагрегата на городском (искусственном) газе	0,35	0,35/0,28 = 1,35
То же с угольной топкой (бурый уголь)	0,56	0,56/0,28 = 2
То же с угольной топкой мощностью более 10 МВт	0,7	0,7/0,28 = 2,5

Высокая эффективность использования первичной энергии в отоплении с ТНУ достигается тогда, когда коэффициент $\varepsilon_{И}$ и превышает минимальные значения, приведенные в табл. 5.6. Из рис. 5.20 видно, что коэффициент преобразованная реально действующих теплонаносных установок превышает минимальные значения при ΔT < 60-70 °С. При понижении ΔT значения $\eta_{и}$ заметно возрастают.

Температура испарения $T_{И}$ зависит от температуры источника окружающей среды, а температура конденсации определяется рабочей температурой у потребителя (например, температурой теплоносителя в подающей линии системы отопленная). Таким образом, использование теплоты окружающей среды с помощью теплового насоса при небольшой разности температуры ΔT (50-60 °С и ниже) не требует большого расхода первичной энергии.

Источники теплоты

Для рационального использования теплоты из окружающей среды в распоряжении имеются такие источники теплоты как грунт, вода и воздух.

Все они аккумулируют солнечную энергию, так что вместе с ними косвенно используется солнечная энергия. Для практического использования этих источников теплоты следует учитывать следующие критерии:

- достаточная доступность;
- как можно более высокая аккумулирующая способность;
- как можно более высокий температурный уровень;
- достаточная для круглогодового использования регенерация;
- выгодная в финансовом плане разработка;
- небольшие расходы на техобслуживание.

Грунтовые коллекторы

Грунт имеет свойство сохранять солнечное тепло в течение длительного времени, что ведет к относительно равномерному уровню температуры источника теплоты в течение всего года, это обеспечивает эксплуатацию теплового насоса с высоким коэффициентом мощности.

Тепло окружающей среды передается теплоносителем, температура замерзания которого должна находиться примерно на уровне -15 °С. Тем самым обеспечивается надежная работа в процессе эксплуатации.

Забор теплоты из грунта осуществляется с помощью, проложенной в грунте, системы пластиковых труб большой площади. Пластиковые трубы укладываются в грунт на глубину 1.2 – 1,5 м и, в зависимости от выбранного поперечного сечения трубы, на расстоянии приблизительно 0,5 – 0,7 м параллельно друг другу, так чтобы на каждый м^2 площади забора теплоты было проложено приблизительно 1,4 – 2,0 м труб. Длина каждой плети трубопроводов

не должна превышать 100 м, иначе потери давления и требуемая мощность насоса будут слишком велики.

Трубы на концах соединены в распределительные гребенки обратной и подающей магистралей, которые должны находиться немного выше, чем сами трубы, чтобы воздух мог удаляться изо всей системы. Рекомендуется, чтобы каждая плеть могла перекрываться грунтом отдельно.

Рассол прокачивается циркуляционным насосом по трубам, забирая при этом накопленное грунтом тепло. С помощью теплового насоса утилизируется тепло для отопления помещений.

Временное замерзание грунта непосредственно в зоне пролегания труб (в большинстве случаев во второй половине отопительного сезона) не оказывает отрицательного воздействия на работоспособность установки и на рост растений. Но все же в зоне прокладки труб не следует сажать растения с глубокими корнями.

Регенерация остывшего грунта происходит уже во второй половине отопительного сезона благодаря возросшему солнечному излучению и осадкам, так что к новому отопительному сезону грунт, как «аккумулятор теплоты» опять пригоден для отопительных целей.

Количество теплоты, забираемой из грунта, зависит от различных факторов. По имеющимся сведениям, в качестве источника теплоты особенно подходит суглинок, сильно насыщенный водой. Опытные данные показывают, что при круглогодичной эксплуатации можно рассчитывать на тепловой поток $q_э = 10 - 35$ Вт на каждый квадратный метр поверхности грунта.

В случае грунта с большим содержанием песка мощность теплопоглощения меньше. В сомнительных ситуациях рекомендуется проконсультироваться у экспертов по грунтам.

Использование горизонтально расположенных грунтовых поглотителей (плоские коллекторы) часто сопряжено со значительными проблемами даже в новостройках, поскольку требует, прежде всего, наличия достаточной площади. По этой причине сейчас устанавливают преимущественно вертикальные грунтовые зонды на глубину 50 – 150 м. При этом возможны различные технические исполнения и технологии монтажа. Как правило, зонды изготавливают из полиэтиленовых труб.

В большинстве случаев параллельно устанавливают четыре трубы (зонд в форме двойной U-образной трубы). Рассол по двум трубам течет из распределителя вниз, а по двум другим трубам возвращается наверх к распределителю. Другой вариант – коаксиальные трубы («труба – в трубе») с внутренней пластиковой трубой для подачи теплоносителя и внешней пластиковой трубой для возврата.

Грунтовые тепловые зонды (в зависимости от исполнения) забиваются копром или устанавливаются с помощью бурильной установки.

Предпосылкой для проектирования и установки грунтовых тепловых зондов является точное знание свойств грунта, последовательности слоев, сопротивление грунта, а также наличие грунтовых или почвенных вод, информация об уровне воды и направлении её потока.

В случае установки с грунтовыми тепловыми зондами можно исходить из средней мощности 50 Вт на метр длины зонда при стандартных гидрогеологических условиях (согласно VDI4640). В зависимости от свойств конкретного горизонта грунтовых вод, могут реализовываться и более высокие мощности по отбору теплоты.

Массивные поглотители

Массивные поглотители изготавливаются из бетона и, как правило, имеют связь с воздухом и грунтом, т. е. они поглощают не только теплоту солнечного излучения, но и теплоту воздуха и грунта. Связь с грунтом осуществляется через небольшой траншейный коллектор. Он предназначен для соединения с тепловым насосом рассол/вода.

Для расчета параметров определяющее значение имеет мощность в ночное время, т. е. для надежной эксплуатации массивные поглотители не должны освещаться солнцем. Впрочем, поглощенная солнечная радиация дополнительно повышает эффективность. Это необходимо учитывать при выборе местоположения массивного поглотителя. Массивные поглотители можно без проблем засадить растениями. Массивный поглотитель поглощает энергию окружающей среды (солнечная радиация, тепло воздуха и грунта), накапливает её и, при необходимости, передает (как источник теплоты) зданию через контур рассола и тепловой насос.

Грунтовые воды

Грунтовые воды – хороший аккумулятор солнечной энергии. Даже в холодные зимние дни грунтовые воды сохраняют постоянную температуру +7 – +12 °С. В этом их преимущество. По причине неизменного температурного уровня источника теплоты коэффициент мощности теплового насоса остается высоким в течение всего года. К сожалению, не везде имеется достаточное количество грунтовых вод надлежащего качества. При использовании грунтовых вод следует обращать пристальное внимание к их качеству (содержание и состав органических веществ, солей, металлов, сероводорода). На использование грунтовых вод должно быть получено разрешение соответствующего ведомства.

Для использования теплоты грунтовых вод необходимо построить поглощающий колодец и водоподающий (инфильтрационный) колодец. Для работы тепловых насосов при определенных условиях могут использоваться озера и реки, так как они тоже выступают в роли аккумуляторов теплоты. В этом случае следует предусматривать промежуточный контур.

Схемные решения и режимы эксплуатации

Температура в помещении может незначительно отличаться от температуры источников окружающей среды, поэтому низкотемпературные системы отопления являются особенно подходящими объектами для использования ТНУ. При соответствующем расчете и технико-экономическом обосновании в низкотемпературных системах отопления могут использоваться практически все виды отопительных приборов, а также агрегаты воздушного отопления. Подходящими для низкотемпературных систем являются панельно-лучистые приборы, совмещенные с ограждающими конструкциями.

В системах отопления здания необходимо целенаправленное распределение потоков энергии с применением различного вида энергетических сопряжений [29]. Они могут быть в виде последовательного и параллельного соединения, с помощью смесителей, теплообменников и посредством теплового насоса (рис. 5.21).

Благодаря действию теплового насоса эффективность системы отопления возрастает при снижении поступления энергии извне. Следует иметь в виду, что тепловые насосы требуют комплексного территориального использования с возможно большей продолжительностью работы в течение года. Целесообразное размещение тепло- и холодопотребителей и их

присоединение в системе с тепловыми насосами и холодильными машинами позволяют получить значительный экономический эффект.

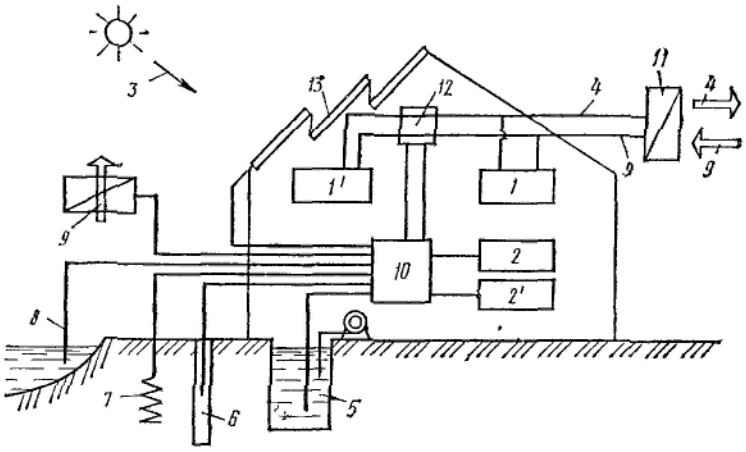


Рис. 5.21 Сопряжение потоков энергии различных сред внутри и вне здания [29]: 1, 1' – отапливаемые, кондиционируемые и вентилируемые помещения; 2, 2' – прочие потребители теплоты и холода; 3 – солнечные лучи; 4 – внутренний удаляемый воздух; 5 – бытовые и технологические воды; 6 – грунтовые воды; 7 – геотермальные источники; 8 – водоемы; 9 – наружный воздух; 10 - холодильная машина и тепловой насос; 11 – регенераторы, рекуператоры, и другие теплоутилизаторы; 12 – смесители; 13 – солнечные коллекторы и абсорберы

Наряду с оценкой энергетической целесообразности определяют также общий экономический народнохозяйственный эффект от перехода к отоплению с ТНУ. Для этого наряду с эксплуатационными (в основном энергетическими) затратами устанавливают дополнительные капитальные затраты на устройство ТНУ и оценивают общий экономический эффект сроком окупаемости дополнительных первичных капитальных вложений за счет экономии энергии в процессе эксплуатации системы. Расчеты показывают, что срок окупаемости ТНУ всегда мал (1,5-3 года) и ниже нормативного срока окупаемости, принятого для систем отопления.

В существующих системах центрального теплоснабжения, особенно при их вынужденном расширении, отмечают рост затрат на транспортирование тепловой энергии. Значительно увеличиваются удельные затраты на теплопроводы относительно среднегодовой стоимости тепловой энергии. В связи с этим целесообразно повышение удельной пропускной способности тепловых сетей, в том числе путем снижения температуры воды в обратных магистралях. Это может быть достигнуто за счет прямого использования воды из обратных линий в низкотемпературных системах отопления, работающих с нетрадиционными параметрами. При этом неизбежно потребуются увеличение площади отопительных приборов, дополнительные мероприятия по повышению теплозащиты зданий, что не везде обеспечит экономичность решения.

В этих условиях с экономической точки зрения целесообразным может оказаться использование тепловых насосов для централизованного (рис. 5.22) и децентрализованного (рис. 5.23) понижения температуры в обратных линиях тепловых сетей. Для этой цели предпочтительными оказываются сорбционные тепловые насосы, в которых используется тепловая энергия системы теплоснабжения.

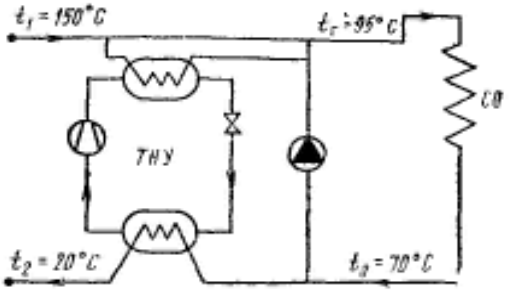


Рис. 5.22 Схема централизованного охлаждения воды системы отопления в обратном теплопроводе центрального теплоснабжения с помощью теплового насоса [29]

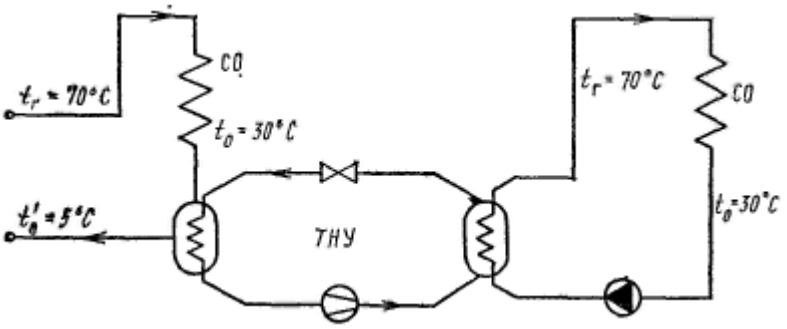


Рис. 5.23 Схема децентрализованного отбора теплоты из обратной магистрали системы центрального отопления (теплоснабжения) с помощью теплового насоса [29]

При проектировании новых систем центрального теплоснабжения возможно использование комбинированных схем с тепловыми насосами. Целесообразным в этом случае является не только понижение температуры обратной воды, но и общее понижение температурного уровня, например, с традиционного 150-70 до 120-20 °С и ниже [29].

При энергоснабжении от теплоэлектроцентралей применение компрессионных тепловых насосов с дополнительным подводом электрической энергии часто оказывается экономически невыгодным. Целесообразной будет система центрального отопления, в которой разновременно или в параллельном режиме используются тепловой насос и энергоаккумуляционная система. В период пиковой нагрузки в электросети тепловой насос отключается. В это время отопление полностью обеспечивается энергией от аккумулятора. В остальное время работает тепловой насос, а при большом расходе теплоты тепловой насос в сочетании с энергоаккумуляционной системой.

В качестве источника теплоты для теплоснабжения могут использоваться геотермальные воды из скважин В этом случае целесообразна двухступенчатая схема, когда на первой ступени отбор теплоты происходит непосредственно, и только на второй ступени, когда температура становится примерно равной температуре в обратной линии системы отопления, отбор теплоты осуществляется с помощью теплового насоса.

Тепловые насосы могут успешно применяться для отопления одноквартирных отдельно стоящих домов. Обязательными условиями их успешного применения являются низкотемпературная система отопления и значительное (примерно в 2 раза) усиление теплозащиты для снижения теплопотерь здания. В качестве источников низкопотенциальной теплоты могут использоваться все выше перечисленные носители энергии окружающей среды. В идеальном случае при дополнительной усиленной теплоизоляции, использовании солнечных

коллекторов и аккумуляторов в схеме с тепловым насосом расход первичной энергии по сравнению с традиционным решением может быть сокращен в 3 … 4 раза.

Режимы эксплуатации

Режим эксплуатации теплового насоса зависит, прежде всего, от системы распределения теплоты, имеющейся в существующих зданиях. Если требуемая температура подачи выше максимальной температуры подачи теплового насоса (55 °С), то тепловой насос может эксплуатироваться только в качестве дополнения к обычному генератору теплоты. В новом здании система распределения теплоты может, как правило, свободно выбираться. Принимая во внимание максимально высокие годовые рабочие коэффициенты, следует выбирать систему распределения теплоты с максимальной температурой подачи 35 °С.

С технической точки зрения можно различать следующие режимы эксплуатации.

Автономный режим эксплуатации означает, что тепловая насосная установка, как единственный генератор теплоты, обеспечивает покрытие всей отопительной нагрузки здания в течение всего отопительного сезона.

Предпосылкой для этого служит подключение системы распределения теплоты, рассчитанной на температуру подачи ниже максимальной температуры подачи теплового насоса. Однако высокие годовые рабочие коэффициенты достигаются только в сочетании с системой распределения теплоты с максимальной температурой подачи около 35 °С.

Двойной режим эксплуатации подразумевает наличие двух генераторов теплоты. Тепловой насос с электрическим приводом комбинируется по крайней мере еще с одним генератором теплоты, работающем на традиционном топливе (твердом, жидком, газообразном).

Моноэнергетический режим – это двойной режим эксплуатации, при котором второй генератор теплоты эксплуатируется на том же виде энергии, например, в качестве второго генератора используется прямоточный подогреватель сетевой воды в подающем теплопроводе системы отопления или электронагревательная вставка емкостного водонагревателя и/или буферный нагреватель сетевой воды.

5.8.2 Тепловые насосы в системах вентиляции и кондиционирования

Тепловые насосы в системах вентиляции и кондиционирования воздуха применяют, в основном для нагревания приточного воздуха в ХП года. Принципиально могут быть использованы те же схемы, что и для систем отопления. Однако имеются и специфические для СВ и СКВ схемы.

Тепловые насосы могут применяться в системах рекуперации теплоты вытяжного воздуха с повышением потенциала передаваемой теплоты. Для этих целей весьма эффективны воздухо – воздушные ТН. В настоящее время производители центральных установок вентиляции и кондиционирования выпускают секции поверхностных теплообменников, включенных в холодильный контур парокомпрессионной холодильной машины, работающей в режиме ТН. Один теплообменник выполняет функцию испарителя и устанавливается в канале вытяжного воздуха, а второй – функцию конденсатора и устанавливается в канале приточного воздуха.

Весьма эффективны многозональные сплит-системы с переменным расходом холодильного агента. В этих системах к одному внешнему компрессорно-конденсаторному блоку может быть подключено до 48 внутренних вентиляторно-испарительных блоков. При этом характерно, что ряд блоков может работать в режиме охлаждения, а другая группа – в режиме нагревания (ТН).

В этом случае теплота из помещений с теплоизбытками «перекачивается» в помещения с недостатками теплоты. Такая система может быть очень эффективной в переходные периоды года.

5.9 Использование солнечной энергии в системах жизнеобеспечения зданий

Лучистая энергия Солнца, поступающая на Землю, – практически неисчерпаемый источник. Огромная энергия образуется на Солнце за счет синтеза легких элементов – водорода и гелия.

Радиационное излучение характеризуется также числом часов солнечного сияния, которое для Беларуси и среднеевропейской части России составляет от 1750 до 1850 ч в год в зависимости от региона. Такая же величина характерна, например, и для Швеции, где солнечная энергетика имеет достижения и поддерживается государством [19].

Минимальное число солнечных дней приходится на декабрь. По данным многочисленных наблюдений, таких дней бывает один или два. Напротив, в июле наибольшее количество солнечных дней – 19–22.

Известно два направления использования солнечной энергии. Наиболее реальным, находящим относительно широкое распространение в таких странах, как Австралия, Израиль, США, Япония, является преобразование солнечной энергии в тепловую и использование в нагревательных системах. Второе направление – системы непрямого и прямого преобразования в электрическую энергию. Второе направление относится к области солнечной электроэнергетики и здесь мы его рассматривать не будем.

5.9.1 Пассивное использование солнечной энергии в зданиях

Одно из направлений пассивного использования энергии солнца в зданиях - это поглощение изучения стенами и через остекленные участки. Для усиления эффекта поглощения солнечного излучения зданиями разработаны специальные покрытия для наружных стен, которые представляют собой слой из волокнистого материала. Стенки волокон являются оптически проницаемыми для солнечного света, а подложка обладает высоким поглощающим эффектом. Использование такого рода покрытий позволяет увеличить поглощение и повысить долю использования энергии солнца.

Такой же принцип применяется при строительстве зданий с теплоаккумулирующей стеной, расположенной за остеклением. Значительная тепловая инерционность строительных материалов позволяет использовать накопленное тепло в ночное время и при снижении солнечной активности. Аналогичным образом устройство термоизолирующих элементов на крышах зданий позволяет снизить тепловое воздействие на здание летом в дневное время и использовать часть теплоты в ночное время и таким образом выровнять перепады температур в помещениях (рис. 5.24).

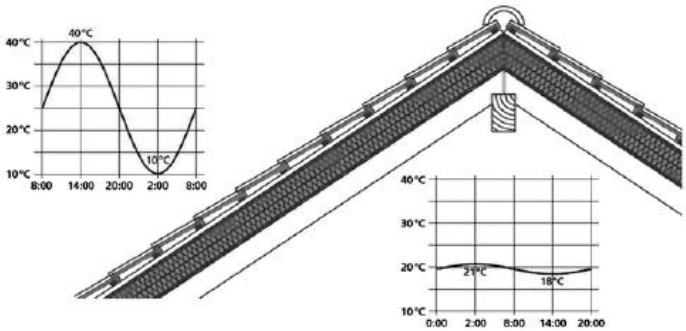


Рис. 5.24 Сдвиг температуры в помещениях по сравнению с температурой окружающего воздуха при использовании термоизолирующих элементов [19]

Еще большая часть солнечного тепла используется при устройстве в теплоаккумулирующих стенах конвекционных каналов и подключении их к системе вентиляции.

5.9.2 Использование солнечной энергии для систем кондиционирования микроклимата и горячего водоснабжения

Солнечная энергия, кроме, так называемого пассивного использования, при инсоляции зданий может использоваться в специальных установках для получения электроэнергии или тепловой энергии. В последнем случае полученная тепловая энергия используется для нагрева воды в системе горячего водоснабжения или отопления, либо для выработки холода в СКВ. Второе является наиболее целесообразным способом использования теплоты солнечной радиации, так как максимум потребления энергии в СКВ совпадает с максимумом с максимумом прихода солнечной радиации.

Среди многообразия возможных способов использования солнечной радиации для целей кондиционирования воздуха наиболее предпочтительным является ее преобразование в тепловую энергию. Исходя из этого, установка для выработки тепла или холода должна включать в себя следующие основные элементы: гелиоприемник, аккумулятор тепла, а также, при недостаточно высоком температурном потенциале теплоносителя, тепловой насос. Для выработки холода в качестве теплового насоса может применяться абсорбционная машина.

В качестве гелиоприемников в настоящее время применяются два основных типа конструкций: плоский коллектор и плоский абсорбер (абсорбционный гелиоприемник).

Солнечный коллектор (рис. 5.25) представляет собой металлическую или пластмассовую пластину с каналами для транспортировки теплоносителя. Для предотвращения потерь тепла пластина изолируется путем устройства остекления (иногда в несколько слоев) со стороны, обращенной к солнцу, и устройства теплоизоляции с обратной стороны. Для достижения более высоких температур теплоносителя поверхность пластины с каналами покрывают спектрально-селективными слоями, активно поглощающими коротковолновое излучение солнца и снижающими собственное тепловое излучение пластины в длинноволновой части спектра. Общим критерием, определяющим свойства данной селективной поверхности, является отношение направленной интегральной поглощательной способности в диапазоне длин волн солнечного излучения, а к интегральной степени черноты этой поверхности е в диапазоне инфракрасного излучения а/в.

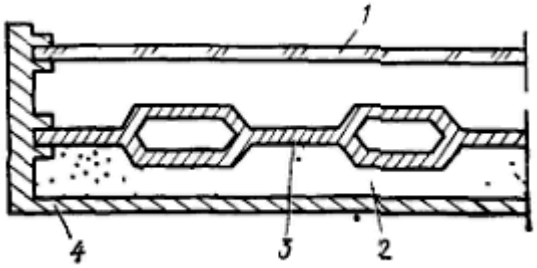


Рис. 5.25 Конструкция солнечного коллектора [14]

1 – остекление; 2 - теплоизоляционный материал; 3 – абсорбционная пластина из стали; 4 – алюминиевый корпус

В разрабатываемых в настоящее время коллекторах нового поколения для достижения более высоких температур поверхности, кроме того, выкачивают воздух из межстекольного пространства. Все эти мероприятия, однако, приводят к значительному удорожанию коллекторов [14].

Для оценки степени термодинамического совершенства (см. п. 6) гелиоприемника вводят параметр η, представляющий собой отношение полезно используемого тепла солнечной радиации к приходу солнечной радиации на наклонную поверхность гелиоприемника $Q_{н.п}$:

$$\eta \approx a_{гел}\overline{K} - \frac{K_{об}\left(t_{w.ср} - t_{н}\right)}{Q_{н.п}}, \tag{5.60}$$

где $a_{гел}$ - коэффициент поглощения гелиоприемника; $K_{об}$- коэффициетн теплопередачи от жидкости к наружному воздуху; $t_{w.ср}$ - средняя температура жидкости; $t_{н}$ - температура наружного воздуха; $\overline{K}$ - коэффициент совершенства конструкции гелиоприемника:

$$\overline{K} = \frac{K_{об}}{K'}, \tag{5.61}$$

где K' - коэффициент теплопередачи от теплопоглощающей поверхности к наружному воздуху.

Из уравнения (5.60) видно, что η является примерно линейной функцией отношения перепада температур к тепловому потоку солнечной радиации, поглощенному гелиоприемником.

Зависимость общего коэффициента теплопередачи от температуры теплопоглощающей панели несколько нарушает линейность. Многие авторы предлагают вводить квадратичную зависимость η

$$\eta = \eta_0 - A_1\frac{\Delta t}{Q_{н.п}} - A_2\left(\frac{\Delta t}{Q_{н.п}}\right)^2, \tag{5.62}$$

где $\Delta t = t_{w.ср} - t_{н}$; A_1, A_2 – эмпирические коэффициенты.

Величина η_0, определяет совершенство гелиоприемника при условии, когда теплопотери его равны нулю: $\eta_0 \approx a_{гел}\overline{K}$.

В паспорте выпускаемых различными заводами-изготовителями гелиоприемников приводятся данные о η, получаемые экспериментально в лаборатории.

Выпускаемые в настоящее время солнечные коллекторы обладают в среднем высокой мгновенной эффективностью, но относительно низкими суточной ($\eta_{сут}$ = 0,5) и годовой ($\eta_{год}$ = 0,25) эффективностями. Это позволяет нагревать теплоноситель в коллекторе до температуры

30 — 40 °С зимой при солнечном освещении и до 80 - 90 °С в теплый период года. В связи с относительно низкими суточной и годовой эффективностями работы солнечного коллектора наиболее целесообразно его использование в районах с высокой среднегодовой интенсивностью солнечной радиации (не ниже 300 Вт/м^2) или количеством приходящего за год тепла солнечной радиации 800 кВт год/м^2.

Конструкция солнечного коллектора обладает тремя существенными недостатками: 1) высокой стоимостью; 2) неравномерностью выработки тепла, требующей применения емких аккумуляторов тепла; 3) необходимостью постоянной очистки стекол от пыли [14].

Другая конструкция гелиоприемника, позволяющая более эффективно использовать солнечную радиацию, представляет собой абсорбционный гелиоприемник, который в отличие от коллектора не имеет остекления, а часто и теплоизоляции с обратной стороны. Он позволяет использовать не только прямую и рассеянную солнечную радиацию, но и тепло атмосферного воздуха, осадков, а также теплоту фазовых превращений при конденсации влаги и инееобразования на его поверхности, а также трансмиссионные теплопотери через ограждения здания (рис. 5.26).

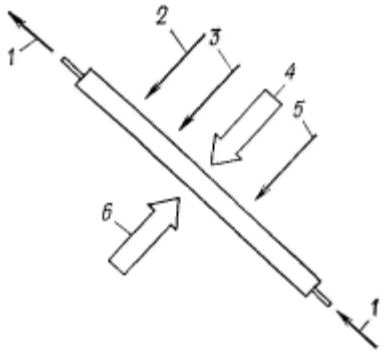


Рис. 5.26. Составляющие теплового баланса абсорбционного гелиоприемника [14]: 1 — теплоноснтель; 2 — ветер; 3 — осадки; 4 — солнечная радиация; 5 — тепло атмосферы; 6 — теплопотери через строительные конструкции.

Абсорбционные гелиоприемники более равномерно загружены в течение года и обладают меньшей мгновенной эффективностью ($\eta_{мгн} = 0{,}4$), но большими суточной ($\eta_{сут} = 0{,}7$) и годовой ($\eta_{год}$ до 0,85) эффективностями. Они не требуют очистки от пыли, так как пыль, осевшая на поверхность, увеличивает коэффициент поглощения радиации с $a_{гел} = 0{,}92$ до $a_{гел} = 0{,}98$. Низкий же температурный уровень теплоносителя, температура которого должна быть постоянно ниже температуры окружающего воздуха, требует его применения, особенно в холодный период, в сочетании с тепловым насосом и обязательно в двухконтурных системах. В качестве теплоносителя в контуре гелиоприемника рекомендуется глизантин (40%-ный водный раствор глицерина), который предохраняет металлы от коррозии.

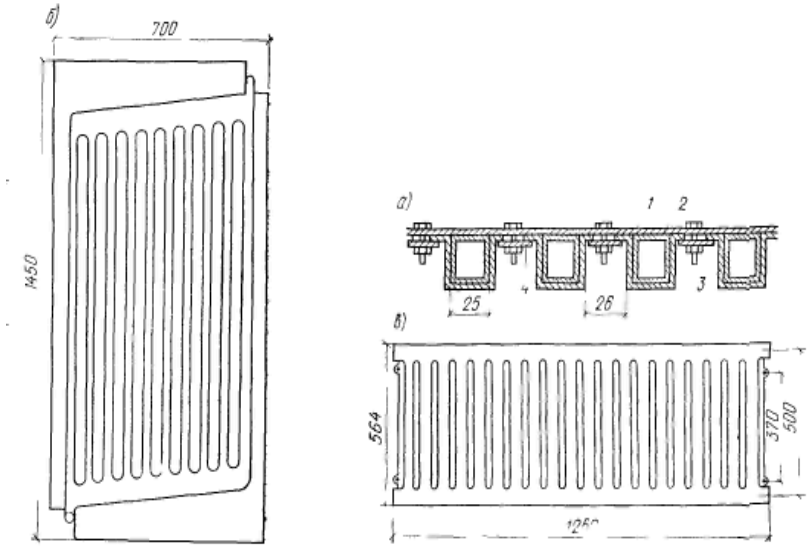


Рис. 5.27. Типы абсорбционных гелиоприемников [14]:
а — стальной конструкции типа лист-труба; 1 — Стальной лист $\delta = 1{,}5$ мм;
2 — труба квадратного сечения $d_{экв} = 25$ мм; 3 — прижимная скоба; 4 — прижимная пластина; б — алюминиевый; в — стальной штампованный радиатор

В настоящее время в качестве абсорбционных гелиоприемников используют стальные нагреватели типа лист-труба или штампованные алюминиевые либо стальные панели (рис. 5.27).

Гелиоприемники устанавливаются на кровле здания или служат ее конструктивным элементом, а также применяются в виде облицовки стен, балконных ограждений или элементов ограды. Количество теплоты, воспринимаемого гелиоприемником, описывается уравнением

$$Q_a = a_{гел} F_a (S_{н.п} + D_{н.п}) + K' F (t_н - t_a), \qquad (5.63)$$

где $S_{н.п}$, $D_{н.п}$ - соответственно интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей на поверхность абсорбера, Вт/м^2; F_a - площадь обращенной к солнцу поверхности абсорбера, м^2; F - площадь всей тепловоспринимающей поверхности абсорбера; t_a - температура поверхности абсорбера, °С.

На основе теоретических и экспериментальных исследований рекомендуется для более эффективной эксплуатации устанавливать гелиоприемники при эксплуатации в зимний период под углом 60 — 80° к горизонту, а в летний период под углом 20 — 30°. При круглогодичной эксплуатации оптимальным будет угол наклона к горизонту, равный приблизительно широте местности. При этом отклонение от южного направления не должно превышать 20 - 30°

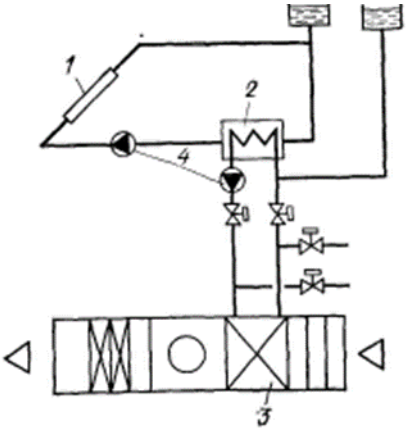


Рис. 5.28 Непосредственное включение гелиоприемника в СКВ [14]
1 – гелиоприемник; 2 – аккумулятор теплоты; 3 – калорифер первого подогрева; 4 – циркуляционный насос

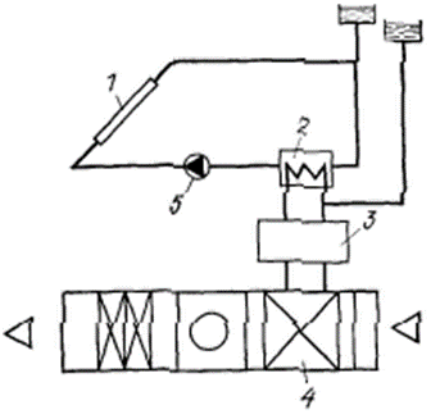


Рис. 5.29 Подключение гелиоприемника к СКВ через постоянно работающий тепловой насос [14]
1 – гелиоприемник; 2 – аккумулятор теплоты; 3 – тепловой насос; 4 – калорифер первогоподогрева; 5 – циркуляционный насос

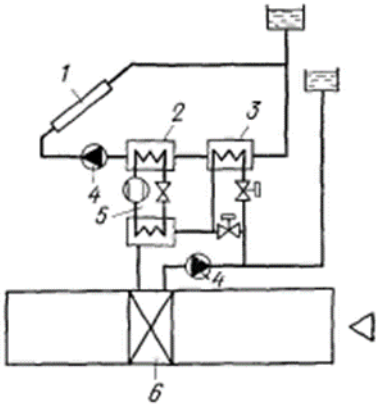


Рис. 5.30 Комбинированная схема включения гелиоприемника в СКВ [14]
1 – гелиоприемник; 2 – аккумулятор теплоты; 3 – теплообменник; 4 - циркуляционный насос; 5 – тепловой насос; 6 – калорифер первого подогрева

Исходя из вышеизложенных свойств гелиоприемников, они могут включаться в гелиоустановки кондиционирования воздуха по трем основным схемам (рис. 5.28 – 5.30).

В качестве теплового насоса может быть использована компрессионная холодильная машина установки 'кондиционирования воздуха. В холодный и переходный периоды она работает для выработки тепла в режиме теплового насоса, а в теплый период года в режиме холодильной машины. Режим работы холодильной машины можно аппроксимировать линейной зависимостью:

$$Q_к = a_0 + a_1 t_и; \quad (5.64)$$

$$Q_и = b_0 + b_1 t_и; \quad (5.65)$$

$$N = c_0 + c_1 t_и; \quad (5.66)$$

где $Q_к$, $Q_и$ - соответственно тепловая нагрузка на конденсатор и испаритель ТН; N - мощность, затрачиваемая на привод ТН; $t_и$ - температура испарения, °С.

Холодильную машину, работающую в режиме теплового насоса, рекомендуется включать в цикл работы установки согласно рис. 5.31.

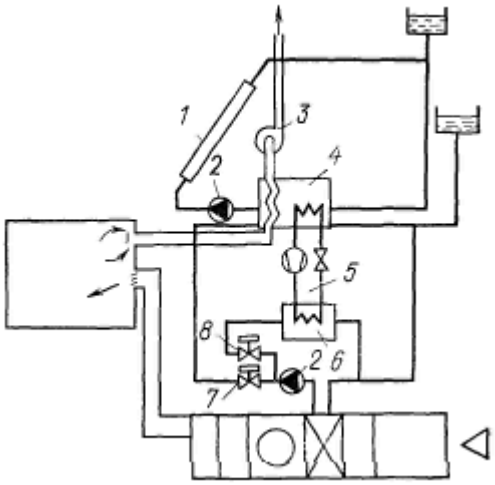


Рис. 5.31 Использование компрессионной холодильной машины для выработки теплоты и холода в СКВ [14]
1 – гелиоприемник; 2 – циркуляционный насос; 3 – теплообменник; 4 - испаритель холодильной машины; 5 – холодильная машина; 6 конденсатор холодильной машины; 7, 8 – магнитные вентили

В холодный период года холодильная машина работает в режиме теплового насоса. Для этого вентиль 8 должен быть открыт, а вентиль 7 закрыт. Через теплообменник 8 дополнительно проходит удаляемый из помещений воздух, отдавая свое тепло и подогревая теплоноситель, циркулирующий в контуре 1.

В теплый период года магнитный вентиль в контуре 7 открывается, а вентиль 8 закрывается. Охлаждаемая вода проходит через испаритель, охлаждается, а затем поступает в поверхностный воздухоохладитель. Поток удаляемого воздуха при этом минует испаритель холодильной машины.

Расчет необходимой площади поверхности гелиоприемников и выбор холодильной машины следует осуществлять в такой последовательности [14].

1. Определяют тепловую нагрузку на систему для теплого и холодного периодов года $Q_х$,$Q_т$.

2. В качестве расчетного выбирают холодный период года.

3. По тепловой нагрузке на систему, примерно равной теплоотдаче конденсатора $Q_т = Q_к$ при расчетной температуре для отопления 45 — 50 °С, выбирают холодильную машину из типового ряда, сравнивая ее холодильную мощность для теплого периода года с потребностью в холоде (выбирается по меньшей мощности).

4. По характеристике холодильной машины при заданной температуре конденсации (45 — 50 °С) и температуре испарения на 3°С ниже, чем расчетная наружная температура воздуха для отопления, $t_и = t_н - 3$ определяют тепловую нагрузку на испаритель по формуле (5.65).

5. По тепловой нагрузке на испаритель определяют необходимую площадь поверхности гелиоприемника

$$F_a = \frac{Q_и}{3К' + I_{ср} a_a}, \qquad (5.67)$$

где $I_{ср}$ - средняя интенсивность суммарной солнечной радиации за наиболее холодную пятидневку; a_a - коэффициент поглощения абсорбера.

6. Определяют необходимый объем бака-аккумулятора для покрытия суточной неравномерности поступления тепла, так как режим работы компрессионного теплового насоса устанавливается в зависимости от среднесуточной температуры наружного воздуха.

В баке-аккумуляторе существует температурная стратификация: в нижней части бака находится наиболее холодная вода, а в верхней — наиболее теплая, поэтому для потребления следует забирать воду из верхней части бака, а к гелиоприемнику — из нижней. Это позволяет получать для потребления горячую воду, не дожидаясь прогрева всего бака. Для укрупненных расчетов можно рекомендовать принимать объем аккумулятора равным 50 — 100 л на 1 м' площади абсорбера.

Как показали экономические расчеты МИСИ, выполненные для систем солнечного отопления, спроектированных для одноквартирного и административного зданий, в годовом режиме работы удается сэкономить до 40% затраченного топлива, причем 25% за счет тепла окружающего воздуха и,15% за счет солнечной радиации.

Значительную экономию топлива можно получить также при применении в качестве теплового насоса абсорбционной машины рассмотрен в п. 3. Применительно к кондиционированию воздуха, схема показана на рис. 5.32.

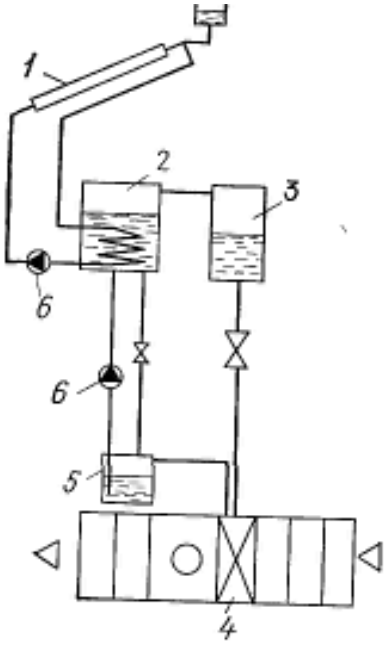


Рис. 5.32 Схема солнечного абсорбционного охлаждения [14]

1 – солнечный коллектор; 2 – регенератор; 3 – конденсатор; 4 – испаритель – поверхностный воздухоохладитель; 5 – абсорбер холодильной машины; 6 – циркуляционный насос

Как видно из рисунка, тепло солнечной радиации используется в холодильном цикле для выпаривания хладагента (LiC1, LiBr, аммиака) из раствора. Производимый же в испарителе холод используется для охлаждения воздуха в поверхностном воздухоохладителе установки кондиционирования воздуха. Основная трудность при этом заключается в том, что солнечные коллекторы не обеспечивают высокого уровня температур, необходимого для эффективной регенерации раствора.

Разработаны системы абсорбционного охлаждения с открытым регенератором (рис. 5.33). В этих установках хладагентом является хлористый литий, а абсорбентом вода, которая в

открытых коллекторах выпаривается из раствора под действием солнечной радиации. К сожалению, распространение таких установок ограничено сухим и жарким климатом.

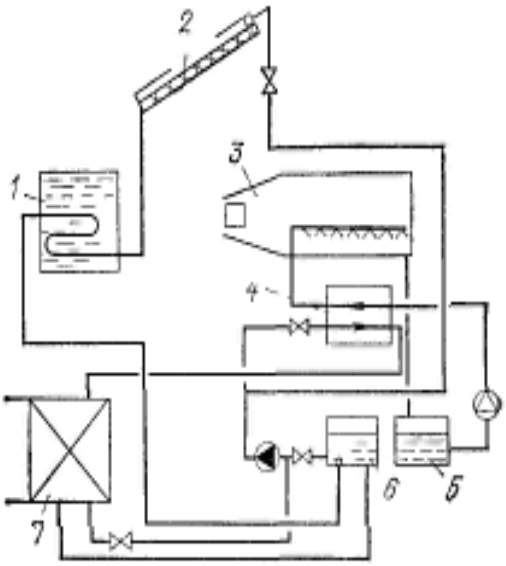


Рис. 5.33 Установка солнечного абсорбционного охлаждения с открытым регенератором [14]
1 – бак-аккумулятор; 2 – открытый регенератор; 3 – вентиляторная градирня; 4 – противоточный теплообменник; 5 – охлаждающая вода; 6 – сборный бак раствора; 7 - испаритель

Выпускаемые до настоящего времени абсорбционные холодильные машины требуют для работы с высокой эффективностью температур регенерации 120 — 175 °С. Коллекторы же способны эффективно обеспечивать температуру 65 — 95°С.

В настоящее время уже разработаны малые абсорбционные холодильные машины мощностью от 3 до 15 кВт, которые требуют для своей работы температуру в регенераторе 80 °С. Эти машины могут быть применены в широком масштабе для выработки холода и тепла с помощью энергии солнечной радиации. Солнечные коллекторы при этом должны иметь конструкцию, выдерживающую высокое давление теплоносителя и обладать высокой прозрачностью покрытий. Теплоприемники должны иметь специальные селективные покрытия. Такие установки позволяют сэкономить в годовом режиме работы до 80% затрачиваемой энергии для выработки холода и до 30% затрачиваемой энергии для выработки тепла по сравнению с традиционными системами выработки тепла и холода на нужды кондиционирования воздуха. Установки рассчитывают по предложенной схеме, только в качестве расчетного выбирают теплый период года и бак-аккумулятор предназначают для аккумулирования тепла на четырех-пятидневный срок. Для аккумулирования тепла чаще всего используют водяные баки-аккумуляторы, так как вода является наиболее доступным, дешевым и хорошим с теплотехнической точки зрения теплоаккумулирующим материалом. Вода помещается в металлические баки, облицованные теплоизоляционным материалом, например, легким бетоном. Баки заглубляются в грунт для увеличения их аккумулирующей способности. Обычно баки-аккумуляторы устанавливают на высокотемпературной стороне теплового насоса.

В теплый период года возможно также их непосредственное подключение к гелиоприемникам. Основное внимание при этом следует уделять защите бака от коррозии. Долговременное аккумулирование тепла, например, при солнечном охлаждении или при непосредственном включении гелиоприемников в систему кондиционирования, требует

применения аккумуляторов большого объема, сопоставимого в случае сезонного аккумулирования с объемом здания. В этом случае рекомендуется использовать для аккумулирования тепла грунт вблизи здания путем закладки в него пластмассовых труб на глубину от 1 до 1,5 м с расстоянием между ними 1,5 — 2 м, подземные резервуары, скальные выработки, подземные озера или эффективные аккумуляторы, высокая теплоемкость которых обусловлена теплом фазовых превращений аккумулирующего материала. В качестве фазовых аккумуляторов обычно применяют расплавы солей с низкой температурой плавления. Так, если теплоемкость воды составляет 4,187 кДж/(кг К), то глауберова соль, имеющая температуру плавления 32,2 С, аккумулирует в процессе плавления 253 кДж/кг. Это позволяет уменьшить объем аккумулятора (при работе, например, в диапазоне температур аккумулирования 40—30°С при разности температур аккумулятора и теплоносителя 10°С) на 80% по сравнению с водяным.

Наибольшее применение из перечисленных солей в фазовых аккумуляторах получила глауберова соль ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) из-за ее невысокой стоимости и доступности (глауберова соль является отходом химического производства). Другие соли имеют более высокую стоимость, значительно удорожающую систему солнечного кондиционирования в целом.

Целесообразность применения системы солнечного кондиционирования определяется экономическим расчетом и сравнением с традиционными системами. При этом необходимо учитывать, что строительные конструкции нельзя рассматривать в отрыве от проектируемой системы кондиционирования, так как увеличение теплоизоляции зданий ведет к снижению капитальных и эксплуатационных затрат на систему солнечного кондиционирования и наоборот.

Исходя из вышеуказанного, при проектировании зданий с системами солнечного кондиционирования необходимо, прежде всего выбрать оптимальное конструктивно-планировочное решение здания, а также оптимальную толщину теплоизоляционного слоя, и лишь затем проектировать один из предложенных выше вариантов систем гелиокондиционирования. При оптимальном сочетании всех параметров СКМ удастся достичь значительной экономии топлива и превратить проектируемое здание в современное здание с эффективным использованием энергии.

5.10 Повышение эффективности систем газоснабжения

Системы газоснабжения (ГСН) низкого и среднего давления не относятся к энергозатратным. К энергозатратным относятся магистральные газопроводы, в которых давление газа повышается на газоперекачивающих станциях до 5 – 7 МПа. Однако магистральные газопроводы – это энергетические объекты, и мы их здесь не рассматриваем. Интересующемуся читателю можно порекомендовать работу [47], посвященную энергосбережению при транспорте газа.

Повышение эффективности систем низкого и среднего давления связано с повышением пропускной способности путем перехода на трубопроводы из полиэтилена, с повышением надежности систем за счет использования современных технологий и оборудования и оптимизацией газораспределительных систем. К энергосберегающим мероприятия следует отнести внедрение повсеместного учета расхода газа, применение газового оборудования (плиты, газовые котлы и др. с высоким КПД).

Еще один из способов повышения эффективности систем ГСН – это использование электронных моделей схем газоснабжения. Сегодня уже начинают активно использоваться электронные модели схем теплоснабжения и водоснабжения. И даже пока неширокое распространение подобной практики получает очень высокую оценку специалистов: управление столь непросто территориально распределенными схемами становится едва ли не единственно возможным лишь при автоматизировании процессов управления. Конечно, только в том случае, если речь идет об адекватном управлении, учитывающем все возможные возникающие в процессе эксплуатации сетей ситуации. Все это в полной мере касается и эксплуатации сетей газоснабжения.

Электронные модели схем газоснабжения делаются специалистами на основе графического представления сетей газоснабжения в привязке к плану территории. Этот инструментарий не ограничивается чисто графическим «рисованием» сетей на плане местности с привязыванием описательной информации к элементам «картинки», он обязательно включает в себя все алгоритмы и программы, необходимые для расчетно-аналитической модели сетей газоснабжения.

Широкое внедрение электронных моделей позволит увидеть картину в целом, вне зависимости от имевшихся описаний, а именно в необходимом масштабе.

Подобная схема дает очень большие возможности:

- гидравлический расчет и моделирование сетей газоснабжения
- формирование и выдачи рекомендаций по локализации аварийных участков
- автоматического построения продольного профиля трассы трубопроводов вдоль выбранного пути
- ведение и обработка архива повреждаемости сетей.
- автоматическое внесение в журнал повреждений конкретных участков или узлов сети
- ведение электронного журнала переключений на сети.
- диспетчеризация контроля над выполнением плановых и аварийных ремонтно-восстановительных работ
- оперативный мониторинг параметров режима, дает чрезвычайно удобный и эффективный инструмент для калибровки математической расчетной модели сетей, без которой невозможно получить адекватный ответ на вопрос "Что будет, если...?"
- создание специального механизма автоматизированного регламентного обмена "абонентской" информацией с обособленными информационными системами, эксплуатируемыми в соответствующих службах предприятия. Этот механизм позволяет, в соответствии с согласованным регламентом, обновлять нагрузочные и описательные характеристики потребителей.

В итоге, все это страхует пользователей системы от незаконных врезок в трубопровод, показывает, на каком конкретно участке имеются потери, позволяет определять давление в любой точке в режиме реального времени, показывает реальные направления и перспективы развития сети.

Очевидно, что, казалось бы, значительные затраты на создание модели и внедрение ее в эксплуатацию в конечном итоге позволит значительно сэкономить, благодаря наладке гидравлического режима работы сетей (снижаются затраты на транспорт газа по трубам),

отсутствию потерь при незаконных врезках, при сверхнормативных потерях на сетях. Отдельно отметим и такой немаловажный момент, что именно при использовании модели становится возможным максимально использовать возможности трубопроводов, загружать их на полную мощность; изначально будет известно, какая максимальная нагрузка безопасна.

Польза от внедрения электронных моделей касается не только технических моментов. Появляется возможность в режиме реального времени определять возможности подключения новых абонентов, а это, в свою очередь, упрощает выдачу технических условий. Таким образом, сроки подключения сокращаются, количество абонентов увеличивается.

В конечном итоге при массовом внедрении в масштабе района, области, и целой страны, использования электронных моделей сетей газоснабжений приведет к обеспечению высоких темпов социально-экономического развития; повышению эффективности использования энергоресурсов; увеличение количества городских и сельских потребителей газа; обеспечение надежности поставок газа потребителям.

Практические вопросы и решения

1. Что понимают под энергоэффективным зданием?
2. Как определяются показатели тепловой защиты ограждающих конструкций здания?
3. Что понимают под оптимизацией теплового режима здания?
4. Что понимают под зданием с нулевым потреблением энергии?
5. Что понимают под оптимизацией проектного решения инженергой системы (на примере систем водоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования)?
6. Способы повышения энергетической эффективности систем холодного и горячего водоснабжения?
7. Как может быть использована солнечная энергия для повышения энергетической эффективности инженерных систем здания?
8. Приведите схемы использования солнечной энергии для систем жизнеобеспечения зданий.
9. Перечислети спрсобы и приведите схемы повышения энергетической эффект ивности систем вентиляции.
10. Приведите схемы утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования с использованием различных теплоутилизаторов.
11. Приведите схемы использования грунтовых тепловых насосов для целей теплоснабжения и охарактеризуйте их.
12. Приведите схему, позволяющую использовать потенциал атмосферного воздуха для климатизации здания.
13. Охарактеризуйте перспективы использования тепловых насосов для систем жизнеобеспечения здания.
14. По каким техническим данным подбирают тепловые насосы?

Студент может также найти вопросы самоконтроля по видео (см.: электронные бизнес видео) и задачи, которые должны быть решены с помощью калькуляторов (см.: электронные бизнес-калькуляторы)по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_Energyefficiency KSTUTU.

Рекомендуемая литература(интелектуальная библиотека)

1) Burroughs, H. E., Hansen, S. ManagingIndoorAirQuality. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2008. 359 p.

2) Sioros, D.; Building for the 21st Century : Energy and the Environment. Fairmont Press. 2000, 477 p.

3) Patrick, D., Patrick, S. Energy Conservation Guidebook. Lilburn, GA : FairmontPress. 2007, 513 p.

4) Utrick, Joseph B. Energy and Buildings : Efficiency, Air Quality and Conservation. New York : Nova Science Publishers. 2009, 451 p.

5) Bansal, R., Zobaa, A. Handbook of Renewable Energy Technology. Singapore : WorldScientific. 2011, 851 p.

6) White, L. Solar Energy Technologies : From Research to Deployment. In Energy Policies, Politics and Prices.New York : Nova Science Publishers. 2010, 214 p.

7) Gupta, H., Roy, S. Geothermal Energy : An Alternative Resource for the 21st Century. Amsterdam, the Netherlands : Elsevier. 2007, 280 p.

8) Kiljunen, O., Hästesko, T. Air Conditioning Systems : Performance, Environment and Energy Factors. In Energy Science, Engineering and Technology Series.New York : Nova Science Publishers. 2010, 399 p.

9) Moore, D., Harris, R. Indoor Work and Living Environments : Health, Safety and Performance. New York : Nova Science Publishers. 2009, 413 p.

10) Cho, V. G., Lee, W. H. Handbook of Sustainable Energy. In Energy Science, Engineering and Technology Series.New York : Nova Science Publishers. 2010, 803 p.

11) Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В.М. Фокин. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 256 с.

12) Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Теплоэнергетика" / О. Л. Данилов [и др.] ; под ред. А. В. Клименко. – 2-е изд., стер. – М. : МЭИ, 2011. – 424 с.

Тема лекции 6: Общий анализ энергетической эффективности и технико-экономической целесообразности проектных решений инженерных систем зданий и сооружений.

Введение в лекцию

Тема знакомит с принципами термодинамического, эксергетического и технико-экономического анализа энергосберегающих мероприятий.

Цель и основные результаты обучения

Целью обучения по этой теме является изучение следующих вопросов: Основные показатели эффективности систем. Термодинамические и термоэкономические показатели. Термоэкономический анализ. Методика определения экономической целесообразности применения энергосберегающих мероприятий при оптимизации теплового режима здания. Метод минимальных приведенных затрат. Метод сопоставления приведенных затрат по сравнению с базовым вариантом. Метод приведения разновременных затрат. Метод сравнительной окупаемости по срокам. Методика расчета общей экономической эффективности. Определение коэффициента удорожания энергоресурсов оценочным методом.

Расчет энергетической эффективности энергосберегающего мероприятия по программе «Ключевые числа»

Предполагаемые основные результаты обучения соответствуют выше предусмотренным целям.

Конспект лекции и раздаточные материалы

Все материалы, видео, калькуляторы и программное обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом вы можете найти по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTUTU.

Одним из важнейших направлений сокращения текущих затрат на предприятиях и в организациях является модернизация основных средств с одновременным осуществлением энергосберегающих мероприятий (ЭСМ). Такие проекты связаны либо с установкой дополнительного энергосберегающего оборудования (теплообменники, автоматические регуляторы энергопотребления и т.п.) либо с заменой старого оборудования на новое менее энергоемкое. Сюда же относятся проекты затратного характера, связанные со строительством и монтажом объектов инженерной инфраструктуры (отопление и вентиляция, водоснабжение, освещение зданий ит. п.).

Разработка проекта ЭСМ осуществляется в несколько этапов и завершается анализом проектного решения. При этом в начале производится анализ энергетической (лучше эколого-энергетической) эффективности, а затем производится технико-экономическое обоснование. Рассмотрим основные показатели энергетической и эколого-энергетической эффективности оборудования и процессов, применяемых в системах жизнеобеспечения зданий, уделив основное внимание системам обеспечения микроклимата (СОМ) в широком смысле этого термина.

6.1 Основные показатели эффективности систем утилизации и преобразования теплоты

В зависимости от теплофизических особенностей решаемой задачи и располагаемой технико-экономической информации для оценки по основным признакам применяют

термодинамические, термоэкономические и технико-экономические показатели эффективности. Эти показатели используют для оценки всей системы теплоутилизации, отдельных теплообменников, отдельных элементов теплообменников, процессов тепломассообмена в них.

В предыдущих параграфах показано, что теплофизические характеристики аппаратов и систем теплоутилизации в СОМ изменяются при изменении параметров наружного климата, внутренних воздействий, специфики технологии и т. д., поэтому перечисленные показатели эффективности по временному признаку могут быть мгновенными, срочными, для расчетных условий, сменными, среднесуточными, сезонными, годовыми, за нормативный срок окупаемости, за весь период эксплуатации системы.

Следует иметь в виду, что понятие эффективность как комплексный собирательный показатель качества СОМ включает в себя такие понятия, как надежность (безотказность работы, долговечность, ремонтопригодность), обеспеченность внутренних условий (расчетная вероятность отказов и частичных отказов), устойчивость (регулируемость, управляемость системы). Учитывая изменчивость, неравномерность и случайность многих сопутствующих работе СКМ явлений, в постановке задачи оценки эффективности при выборе комплексных критериев оценки наряду с детерминированными необходимо использование стохастических — вероятностных показателей.

Далее в данном параграфе рассматриваются основные показатели эффективности, которые могут быть использованы при оценке по всем трем перечисленным выше признакам. В предыдущих главах рассмотрение отдельных процессов и аппаратов СКВ сопровождалось определением их энергетической эффективности. В п. 5 рассмотрены отдельные вопросы оценки эффективности СКМ в годовом и суточном периоде их работы.

Определение и использование комплексных показателей эффективности с учетом их вероятностного характера для всей совокупности инженерных решений и систем обеспечения микроклимата (СКМ) является предметом специального рассмотрения и относится к области системного анализа [48].

6.1.1 Термодинамические показатели.

Коэффициент термодинамического совершенства. Для оценки качества реального процесса в термодинамике широко используют прием, который состоит в сопоставлении его с аналогичным процессом, обеспечивающим максимальную эффективность при преобразовании или передаче энергии. Подобного рода показатели именуют коэффициентом термодинамического совершенства (КТС), определяя их как:

$$\eta_T = \frac{Q}{Q^{max}}, \tag{6.1}$$

где Q — энергия, получаемая в реальном процессе; Q^{max} — максимальная энергия, которая может быть получена в идеальном процессе-эталоне.

Например, при анализе работы тепловых насосов и холодильных машин в качестве эталонов принимают обратимые циклы Карно, Лоренца. В данном случае КТС определяет степень отклонения реального процесса от обратимого. Для тепловых процессов в теплообменниках и

отдельных его элементах КТС определяют как отношение полезно используемой тепловой мощности к величине, максимально возможной в данном процессе.

В частности, при передаче теплоты в ребре КТС $\eta_р$ представляет собой отношение тепловой мощности, проходящей через основание ребра, к максимальной тепловой мощности, когда температура всего ребра была бы равна температуре его основания, т. е. при бесконечной теплопроводности материала ребра (см. 2.94). При теплообмене между двумя движущимися средами, разделенными твердой стенкой, максимальная величина переданной тепловой мощности будет в случае, если конечная температура одной из теплообменивающихся сред достигнет предельной равновесной температуры. При противоточной схеме это будет среда, обладающая меньшей теплоемкостью $(Gc)^{min}$

$$\eta_T = \frac{(Gc)^{max}\,|t_{к.1} - t_{н.1}|}{(Gc)^{min}\,|t_{н.2} - t_{\infty}|}, \tag{6.2}$$

Этот показатель называют эффективностью процесса теплообмена. В настоящее время в теории кондиционирования воздуха широко распространены всякого рода так называемые коэффициенты эффективности, которые являются по физическому смыслу параметрическими показателями, определяющими относительные значения рабочего перепада какого-либо параметра процесса к возможному предельному его значению в принятой условной (обычно упрощенной) интерпретации сложного тепломассообменного процесса в аппарате.

Коэффициент использования энергии. Практически во всех термодинамических системах преобразование тепловой энергии или ее передача связаны с затратами других видов энергии (электрической, механической и т. д.).

Коэффициент использования энергии (КИЭ) представляет собой отношение величины получаемой тепловой мощности Q к величине затрачиваемой при этом мощности N:

$$\varepsilon_и = \frac{Q}{N}. \tag{6.3}$$

Для тепловых насосов и холодильных машин КИЭ определяют как отношение тепловой мощности, получаемой в конденсаторе или холодильной мощности, получаемой в испарителе, к затрачиваемой в компрессоре электрической или механической мощности. Его часто называют тепловым (холодильным) коэффициентом.

При сопоставительной оценке теплообменных поверхностей КИЭ определяют как отношение тепловой мощности, получаемой при работе данного аппарата, к мощности, затрачиваемой на просачивание теплообменивающихся сред при прочих равных условиях.

Эксергетический КПД. Эксергетический метод термодинамического анализа преследует две цели - учет степени термодинамического совершенства рабочих процессов энергетических установок и указание путей увеличения экономии энергии, подведенной к установке. Использование эксергии как количественной характеристики обратимых процессов и эксергетических потерь как количественной характеристики необратимых (реальных) процессов составляет сущность данного метода.

Напомним, что эксергией называется свойство термодинамической системы или потока энергии, определяемое количеством работы, которое может быть получено внешним приемником энергии при обратимом взаимодействии с окружающей средой до установления полного равновесия.

Конечной целью термодинамического анализа, основанного на использовании понятия эксергии, является расчет эксергетического КПД [49]

$$\eta_e = \frac{\sum E_к}{\sum E_н}, \tag{6.4}$$

где $\sum E_к$ – сумма эксергий в конечный момент (отведенная эксергия); $\sum E_н$ – сумма эксергий в начальный момент (подведенная эксергия).

Эксергетический метод имеет две разновидности: метод эксергетических потоков и метод вычитания эксергетических потерь (энтропийный метод) [49].

Эксергетический метод основан на подсчете всех потоков эксергии и их ответвлений и учитывает как увеличение, так и уменьшение потоков эксергии в рабочих процессах энергетических установок. При этом рассчитывается эксергетический КПД каждого элемента (группы элементов) установки, а затем определяется их связь с общим эксергетическим КПД посредством использования так называемых структурных коэффициентов. Установление связи между коэффициентами является достаточно сложной задачей.

В рамках метода вычитания эксергетических потерь (энтропийный метод), располагая информацией об эксергии на входе в установку (первичной эксергии), необходимо учитывать в дальнейшем только эксергетические потери. Последние суммируются и позволяют рассчитывать продукцию эксергетической установки как разность между первичной эксергией и эксергетическими потерями. В отличие от метода эксергетических потоков, энтропийный метод устанавливает связь общего эксергетического КПД с потерями эксергии во всех элементах установки. В общем случае потери эксергии в каждом элементе могут быть представлены, как

$$D_i = T_{OC} \Delta s_i, \tag{6.5}$$

где T_{OC} – температура окружающей среды; Δs_i - суммарное изменение энтропии всех рабочих веществ, участвующих в процессе.

Достоинства и недостатки эксергетического метода анализа. В отличие от анализа циклов, данный метод учитывает возрастание энтропии изолированной системы при протекании в ней реальных процессов, т.е. учитывает энергетическую ценность теплоты. Вычисляемые коэффициенты эффективности компрессорной системы могут служить количественной характеристикой необратимости реальных процессов. Полный термодинамический анализ системы связан с большими, чем при проведении анализа циклов, трудностями. Кроме того, в нем не учитываются экономические и экологические факторы [49].

Следует заметить, что любой из приведенных термодинамических показателей дает лишь представление о степени термодинамического совершенства процесса и не может служить основанием для принятия технического решения. Для обоснования необходимо выполнить технико-экономический анализ.

6.1.2 Термоэкономические показатели.

Основным экономическим показателем качества работы СКВ являются приведенные затраты, учитывающие капитальные и эксплуатационные расходы. В условиях возрастающего дефицита органического топлива прейскурантные цены на тепловую, электрическую и другие виды энергии не всегда отражают их фактическую общественную ценность, поэтому наряду с приведенными затратами рассматривают термоэкономические показатели.

Часто определяющими могут быть затраты материальных и трудовых ресурсов. Для оценки расхода материала (а косвенно и труда) в теплообменных аппаратах применяют коэффициент расхода металла [14]:

$$\varepsilon_{\text{м}} = \frac{M}{Q}, \tag{6.6}$$

где M — масса металла, идущего на изготовление аппарата; Q — тепловая мощность аппарата.

Для оценки степени использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) применяют коэффициент использования ВЭР (КИВ):

$$\eta_{\text{ВЭР}} = \frac{Q}{Q_{\text{ВЭР}}}, \tag{6.7}$$

где Q — фактически используемая тепловая мощность ВЭР; Q – общая тепловая мощность ВЭР.

6.2 Технико-экономическое обоснование энергосберегающих мероприятий

Любое энергосберегающее мероприятие является затратным. Поэтому необходим технико-экономический анализ или технико-экономическое обоснование. При проведении такого анализа должны учитываться сопутствующие факторы и определенные принципы, о которых и пойдет речь ниже.

6.2.1 Методологические основы оценки эффективности энергосберегающих проектов

Для достижения максимальной эффективности ЭСМ необходимо произвести сравнение нескольких альтернативных вариантов технических решений с точки зрения их экономической целесообразности. Эффективность ЭСМ характеризуется системой показателей отражающих соотношение затрат и результатов проекта применительно к интересам его участников.

Экономическое обоснование представляет собой план финансирования инвестиционной деятельности и многовариантные расчеты соотношения результатов и затрат инвестора, которые ожидаются при реализации проекта. Соотношение результатов и затрат характеризует эффективность проекта и является основной информацией для лиц, принимающих решения о целесообразности инвестиций.

Методика ориентирована на использование методов экономической оценки эффективности инвестиций, базирующихся на современной международной и отечественной практике [30]. В ней содержится система показателей и методов оценки эффективности энергосберегающих мероприятий, рекомендации по их применению в различных хозяйственных ситуациях. Отличительная особенность этих расчетов состоит в том, что они позволяют учесть:

- сроки службы и надежность оцениваемого оборудования, что весьма важно при сравнительной оценке вариантов технических средств (ТС);
- цену капитала инвестора и изменение ценности денег во времени, что характерно для рыночной экономики.

Методика опирается на сложившиеся в мировой практике основные принципы оценки эффективности инвестиционных проектов. Главными являются следующие пять принципов.

1. Принцип сопоставления полезных результатов проекта, выраженных в стоимостной форме (доходов, прибыли), с другими альтернативными возможностями вложения инвестиций.

2. Принцип моделирования потоков продукции, ресурсов и денежных средств. Все потоки должны быть привязаны к конкретным временным периодам.

3. Принцип соизмеримости результатов путем дисконтирования будущих поступлений разновременных денежных средств. Реализация этого принципа обеспечивает соизмерение результатов и затрат, осуществляемых в различные моменты времени. Используемая при этом ставка дисконтирования выбирается исходя из конкретных альтернатив помещения капитала.

4. Принцип определения интегральных результатов и затрат предполагает учет всех положительных и отрицательных потоков денежных средств за расчетный период. Это означает, что при расчетах экономической эффективности определяется интегральной экономический эффект за весь период функционирования объекта (расчетный период). Аналогичным образом в основе расчета экономической эффективности должны лежать полные затраты за расчетный период.

5. Принцип учета неопределенности и рисков, связанных с осуществлением проекта.

Анализ эффективности проекта предполагает четкое определение решаемой задачи. Проекты можно оценивать с позиции пользы для страны (национальном оценка), предприятия (коммерческая оценка), отдельных участников проекта и т. д.

В связи с этим в методике рассматриваются следующие показатели эффективности инвестиций в ЭСМ:

- показатели коммерческой эффективности, учитывающие последствия реализации проекта для предприятия или непосредственных участников;

- показатели национальной (общественной) эффективности, учитывающие связанные с проектом затраты и результаты, выходящие за пределы экономических интересов предприятия, реализующего проект, и его участников. Для крупномасштабных (существенно затрагивающих Интересы города, региона или всей России) проектов рекомендуется обязательно оценивать общественную эффективность.

На практике в большинстве случаев требуется оценка проекта с позиции предприятия. В пособии основное внимание уделено коммерческой оценке проектов на уровне предприятия, выполняемой при предположении, что их реализует один участник.

В зависимости от базы сравнения различают оценку абсолютной эффективности проекта (ЭСМ), оценку эффективности замены техники, оценку эффективности при сравнении проектов, оценку эффективности дополнительных затрат. Проект оценивается или методом сопоставления капиталовложений с получаемым доходом, или методом сопоставления затрат по проекту с затратами базы сравнения.

Абсолютный эффект показывает результаты проекта при отсутствии замены техники аналогичного назначения, а также при нецелесообразности дальнейшего использования заменяемой техники. Использование старой техники будет прекращено независимо от осуществления проекта.

Эффект замены аналогичной по назначению техники показывает результаты проекта при условии, что заменяемый (базовый) вариант конкурентоспособен. Он будет реализован при отказе от проекта. Оценка проекта выполняется в чистом виде.

Сравнительный эффект позволяет определить лучший вариант из проектов аналогичного назначения. Проекты сравниваются в чистом виде.

Эффект дополнительных затрат показывает целесообразность увеличения затрат для достижения большего полезного результата.

Оценка предстоящих затрат и результатов при определении эффективности Инвестиционного проекта осуществляется в пределах расчетного периода, длительность которого (горизонт расчета) принимается с учетом:

- продолжительности создания, эксплуатации и (при необходимости) ликвидации объекта;
- средневзвешенного нормативного срока службы основного технологического оборудования;
- требований инвестора.

Горизонт расчета измеряется количеством шагов расчета. На практике за шаг расчета в большинстве случаев принимается год (иногда квартал или месяц).

При оценке эффективности ЭСМ соизмерение разновременных показателей осуществляется с помощью специального приема, называемого дисконтированием [30]. Под дисконтированием понимается приведение всех будущих доходов и расходов к первоначальному моменту времени (началу рвали проекта). Для приведения разновременных затрат, результатов и эффектов используется процентная ставка (норма дисконта) Е. Она определяется из приемлемой и реально достижимой для инвесторов нормы дохода на капитал. Норма дисконта играет роль базового уровня, в сравнении с которым оценивается эффективность ЭСМ. Так, при ставке 10% и расчетном периоде 1 год капиталовложения в 10 млн. руб. должны быть возвращены инвестору с нормативным доходом 1 млн. руб.

К основным показателям эффективности инвестиционных проектов относятся:

- чистый дисконтированный доход (интегральный эффект, чистая нынешняя стоимость, чистая текущая стоимость и т.д.); ЧДД, (ЧНС, NPV);
- индекс доходности инвестиций (коэффициент эффективности проекта), ИД, (PI);
- внутренняя норма дохода, ВНД, (IRR);
- срок окупаемости капиталовложений: динамический:
- динамический, T_0 (DPB);
- статический, $T_0^{ст}$ (PB).

Существуют также критерии «совокупные дисконтированные затраты» и «годовой эффект» проекта за расчетный период, которые применимы в специфических ситуациях, а которых будет сказано ниже.

6.2.2 Ситуационный анализ энергосберегающих мероприятий (проектов)

Оценка проекта в чистом виде и в конкретных условиях его реализации. Оценка в чистом виде заключается в анализе собственно проекта, как генератора дохода при схеме финансирования за счет собственных средств [30]. При этом обеспечивается унификация оценки и сопоставимость проектов, исключается влияние схемы финансирования, возможных налоговых льгот и других особенностей реализации проекта на конкретном предприятии.

Анализ проекта в условиях конкретного предприятия позволяет учесть все особенности соответствующей практической ситуации. Возможен учет изменения схемы финансирования, деятельности предприятия в целом, имеющихся долгов, получения налоговых льгот, продажи ненужного оборудования и т. д.

Основные задачи анализа эффективности проектов представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 Задачи анализа эффективности проектов

Задачи анализа проектов	Особенности оценки проекта
1. Оценка абсолютной эффективности проектов	Возможна оценка проекта как в чистом виде, так и с учетом особенностей его реализации на конкретном предприятии. Проект не предусматривает замену техники. Проект оценивается без базы сравнения.
2. Оценка эффективности замены техники	Эффект замены техники оценивается в чистом виде. Базу сравнения представляет техника (существующий вариант деятельности) аналогичного назначения.
3. Сравнение проектов	Сопоставляемые проекты (виды техники) оцениваются в чистом виде. Сравниваемые проекты должны быть аналогичны по назначению. За базу сравнения принимается один из проектов.

Оценка проектов по затратам. Оценка проектов по требующимся затратам во многих случаях существенно упрощает экономический анализ. Такая оценка целесообразна при выборе эффективных видов оборудования, анализе проектов снижения себестоимости, проектов энерго- и ресурсосбережения и т. д. Сравнение проектов, технологий, видов оборудования по затратам предполагает тождественность получаемого результата. Проекты рассматриваются как альтернативные способы достижения заданного результата. Проект с меньшими затратами является лучшим. Критерием эффективности являются приведенные затраты ПЗ, в общем виде определяющиеся как сумма

$$ПЗ = З_{ЭКС} + Е_{Н}К, \tag{6.8}$$

где $З_{ЭКС}$ - годовые эксплуатационные затраты на выработку теплоты или холода; $Е_{Н}К$ - приведенные к году капитальные вложения; $Е_{Н}$ - нормативный коэффициент.

В качестве критерия для определения приоритета использования теплоты различных теплоносителей ВЭР рекомендуется принимать показатель экономической эффективности $R^{(i)}$, характеризующий полученную экономию средств в системе утилизации на единицу утилизированной теплоты

$$R^{(i)} = \frac{Q_{ут}^{(i)}C - З_{ЭКС}^{(i)} - E_{Н}K^{(i)}}{Q_{ут}^{(i)}}, \tag{6.9}$$

где $Q_{ут}^{(i)}$ - возможная годовая экономия тепловой энергии за счет утилизации теплоты i-го теплоносителя ВЭР, ГДж/год; C – цена тепловой энергии теплоносителя первичного источника теплоты, руб; $З_{ЭКС}^{(i)}$ – эксплуатационные затраты, связанные с утилизацией теплоты *i*-го теплоносителя ВЭР, руб.; $K^{(i)}$ – капитальные затраты, необходимые для строительства теплоутилизационной системы, использующей теплоту i-го теплоносителя ВЭР (включая стоимость здания, занятого дополнительным оборудованием), руб.; E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Вариант использования теплоты теплоносителя ВЭР, обеспечивающий наибольшую экономию средств на единицу утилизированной теплоты, является предпочтительным.

При выполнении технико-экономического сопоставления необходимо соблюдать условия сопоставимости рассматриваемых альтернативных вариантов проектных решений: обеспечение одинаковых расходов и параметров приточного воздуха; выбор оптимального решения по каждому варианту.

Если результаты проектов тождественны не полностью, то дополнительно выполняется стоимостная оценка имеющимся отличий.

Приростные показатели используются для определение оптимальных параметров проекта (техники, процесса) и для оценки целесообразности дополнительных затрат на действия (мероприятия), увеличивающие полезный результат. В частности, оценка проекта на основе приростных показателей необходима для определения выгодности дополнительных мероприятий по энергосбережению (например, усиления теплоизоляции, использования вторичных энергоресурсов, целесообразности вовлечения в производство худших ресурсов и т. д.).

Эффективность дополнительных затрат определяется исходя из соотношения прироста затрат и прироста продукции (другого полезного результата). Такие мероприятия по сути не отличаются от обычных проектов и сопоставимы с ними. Отбор лучшим проектов производится в обычном порядке, без выделения проектов с приростными показателями.

6.2.3 Формулы совмещенного расчета прибыли и денежного потока

Принципиальные формулы для различных видов оценок эффективности проектов (капиталовложений) представлены ниже. Формулы основаны на расчете денежного потока в результате осуществления проекта [30].

Абсолютный эффект. Пример формулировки задания по оценке абсолютной эффективности проекта: «Определение эффективности ввода в действие оборудования для энергосбережения. Ранее аналогичное оборудование на предприятии не использовалось.

Абсолютный эффект показывает результаты проекта при отсутствии замены техники аналогичного назначения, а такие в случае если продолжение использования заменяемой техники нецелесообразна и будет прекращено.

Абсолютный эффект проекта ($Э_а$) определяется по формуле:

$$Э_а = Д_н – К_н, \tag{6.10}$$

где: $Д_н$ – соизмеримый доход по проекту за расчетный период, руб.; $К_н$ - капиталовложения по проекту, руб.

Доход может исчисляться как результат основной деятельности (прибыль плюс амортизационные отчисления), так и как снижение себестоимости в результате мероприятий по энергосбережению и уменьшению других операционных расходов.

Эффект замены техники. Пример формулировки задания по оценке эффективности замены действующей техники: «Определить эффективность замены действующего оборудования для энергосбережения (существующего варианта производства) новым оборудованием аналогичного назначения.

Эффект замены действующей техники аналогичного назначения показывает результаты проекта при условии, что базовый (заменяемый) вариант конкурентоспособен. При отказе от проекта будет реализован базовый вариант. Оценка проекта выполняется в чистом виде.

Эффект замены действующей техники ($Э_т$) определяется по формуле:

$$Э_Т = Д_н – Д_б – К_н, \tag{6.11}$$

где: $Д_н$ и $Д_б$ – соизмеримый доход за расчетный период соответственно по новому и базовому вариантам, руб.; $К_н$ - капиталовложения по проекту, руб.

В вышеприведенной формуле эффект проекта определяется на основе разности дохода по вариантам.

Если базовый и новый варианты отличаются только затратами, то эффект замены действующей техники ($Э_т$) можно определить по формуле:

$$Э_Т = С_б – С_н – К_н, \quad (6.12)$$

где: $С_б$ и $С_н$ – соизмеримые операционные расходы за вычетом амортизационных отчислений за расчетный период соответственно по базовому и новому вариантам, руб.; $К_н$ - капиталовложения по проекту (новому варианту), руб.

Использование старой техники предполагает база вый вариант, не требующий капиталовложений, однако возможны расходы на ремонт.

При расчете эффекта замены техники следует учитывать затраты и прибыль, связанные с ликвидацией старой техники или с ее использованием новым способом.

Базовый вариант может продолжаться без начисления износа, в частности, при аренде техники, услугах сторонней организации, использовании техники, по которой полностью начислен износ.

Эффект при сравнении проектов. Пример формулировки задания оценке эффективности при сравнении проектов: «Определить, насколько эффективнее ввод е действие (использование) одного вида энергосберегающей техники в сравнении с другим».

Сравнение проектов аналогичного назначения позволяет определить лучшим вариант. Базой сравнения всегда является проект с меньшей величиной капиталовложений. Проекты сравниваются в чистом виде.

Сравнительный эффект проекта ($Э_с$) определяется формуле:

$$Э_с = Э_2 – Э_1 = Д_2 – К_2 – Д_1 + К_1, \quad (6.13)$$

где: $Э_2$ и $Э_1$ – абсолютный эффект соответственно варианта 2 и варианта 1, принятого за базу сравнения, руб.; $Д_2$ и $Д_1$ – соизмеримый доход за расчетный период соответственно варианта 2 и варианта 1, принятого за базу сравнения, руб.; $К_2$ и $К_1$ - капиталовложения соответственно варианта 2 и варианта 1, руб.

Сравнительный эффект проекта в вышеприведенной формуле определяется на основе разности абсолютных эффектов. Сравнительный эффект проекта можно также рассчитать, используя показатели разности выручки, себестоимости и капиталовложений по вариантам.

Если проекты различаются только затратами, то для их сравнения можно использовать формулу:

$$Э_с = К_1 + С_1 – К_2 – С_2, \quad (6.14)$$

где: $К_2$ и $К_1$ – капиталовложения соответственно варианта 2 и варианта 1, руб.; $С_2$ и $С_1$ – соизмеримые операционные расходы за вычетом амортизационных отчислений за расчетный период соответственно варианта 2 и варианта 1, руб.

Сравнительный эффект проекта можно также рассчитать, используя показатели разности капиталовложений и себестоимости по вариантам.

6.2.4 Оценка проектов с учетом инфляции

С целью учета влияния инфляции на эффективность ЭСМ на практике возможны два метода расчета.

Первый метод - расчет в текущих ценах - предполагает, что специалист, разрабатывающий ТЭО, имеет возможность прогнозировать будущие цени на энергоресурсы, которые будут сэкономлены в результате данного проекта, и их изменение будет учтено в расчетах. В этом случае в качестве ставки дисконта используют номинальную ставку доходности, т.е. ту ставку, которая учитывает существующий темп инфляции. Она может быть принято на уровне действующей банковской ставки рефинансирования.

Второй метод - расчет в постоянных ценах - применяется в тех случаях, когда разработчикам ТЭО трудно прогнозировать будущие инфляционные тенденции. Тогда в расчет закладываются доходы и расходы в постоянных, действующих на сегодняшний момент, ценах. При этом ставка доходности берется в реальном измерении, т.е. очищается от инфляции. Формула для определения реальной ставки:

$$E_{\text{р}} = \frac{1 + E_{\text{н}}}{1 + E_{\text{и}}} - 1, \qquad (6.15)$$

где: $E_{\text{н}}$ – номинальная ставка в относительных единицах; $E_{\text{и}}$ – среднегодовой темп инфляции.

На практике в основном применяют реальную ставку, равную 10%, что соответствует расчетам в постоянных ценах и обеспечивает сопоставимость проектов.

6.2.5 Показатели коммерческой эффективности энергосберегающих мероприятий

Для всестороннего анализа эффективности инвестиций в ЭСМ требуется комплекс расчетов взаимосвязанных показателей, к которым относятся: ожидаемая годовая экономия энергоресурсов в натуральном исчислении; исходные стоимостные показатели, критерии экономической эффективности технических решений.

Исходные стоимостные показатели. Исходные стоимостные показатели являются базой для последующего расчета критериев эффективности инвестиций в ЭСМ. К ним относятся инвестиционные затраты, годовой потенциал энергосбережения при реализации проекта, экономия текущих издержек (прирост прибыли) и доход от инвестиций.

В общем случае в состав полных инвестиционных затрат вводят капиталовложения и потребность в оборотном капитале:

$$К_{\text{полн}} = К + К_{\text{об}}, \qquad (6.16)$$

где: К – вложения в основной капитал; $К_{\text{об}}$ – потребность создаваемого производства в оборотном капитале или ее изменение в соответствии с изменением масштабов производства или других факторов.

Потребность в оборотном капитале следует учитывать для проектов, связанных с выпуском продукции; для энергосберегающих проектов в качестве инвестиций выступают капиталовложения в приобретение, модернизацию и реконструкцию основных средств.

В общем виде в состав капиталовложений могут включаться следующие виды затрат:

$$К = К_{стр} + К_{об} + К_{соп}, \quad (6.17)$$

где: $К_{стр}$ – капиталовложения в строительные конструкции; $К_{об}$ – капиталовложения в рабочие машины и оборудование, включающие затраты на их приобретение и монтаж; $К_{соп}$ – сопутствующие капиталовложения, включающие предпроизводственные расходы на прединвестиционные исследования, проектирование и разработку ТЭО; нематериальные активы (приобретение лицензий, ноу-хау, патентов и т.д.).

Для разрабатываемых (создаваемых) основных средств стоимость устанавливается согласна калькуляции стоимости работ, для закупаемых - по цене приобретения. Для расчета капиталовложений при необходимости составляются сметы на приобретение и монтаж основных средств, включающие стоимость оборудования с транспортными расходами и стоимость строительно-монтажных работ (СМР). Сметная стоимость СМР включает следующие элементы затрат:

$$С_{смр} = ПЗ + НР + ПН, \quad (6.18)$$

где: ПЗ – прямые затраты, куда входит основная заработная плата рабочих, расходы на материалы и расходы на эксплуатацию машин и механизмов ($ПЗ = З_о + М + Э$); НР – накладные расходы строительно-монтажной организации; ПН – плановые накопления, или нормативная сметная прибыль строительно-монтажной организации.

Накладные расходы и плановые накопления определяются по утвержденным нормативам для разных видов СМР по формулам:

$$НР = 0{,}01\alpha_1 (З_о + Э), \quad (6.19)$$

$$ПН = 0{,}01\alpha_2 (З_о + Э), \quad (6.20)$$

где: α_1, α_2 – соответственно норматив накладных расходов и плановых накоплений, %.

При отсутствии проектно-сметной документации капиталовложения в оборудование можно рассчитать в укрупненном виде по формуле:

$$К_{об} = С_{об}(1 + К_{тр}/100 + К_м/100), \quad (6.21)$$

где: $К_{тр}$ - коэффициент, учитывающий затраты на упаковку и транспортировку, он составляет примерно 10 - 13% от отпускной цены (контрактной стоимости); $К_м$ - коэффициент, учитывающий затраты на монтаж оборудования и пусконаладочные работы, зависящий от вида технических средств (обычно составляет 10 - 20 % от отпускной цены оборудования, требующего монтажа, однако в некоторых случаях, например, для крупных источников теплоснабжения, это цифра может достигать 50%).

Размер сопутствующих капиталовложений ($К_{соп}$) определяется на договорной основе между заказчиком (инвестором) и исполнителями соответствующих работ (проектно-изыскательских, научно-исследовательских и т. п.).

Годовой потенциал энергосбережения в общем виде определяется суммарной экономией всех энергоресурсов при реализации ЭСМ:

$$ΔЭ = ΔЭ_т + ΔЭ_Q + ΔЭ_W + ΔЭ_В =$$
$$= Ц_т\, ΔВ_н + Ц_Q\, ΔQ + Ц_W\, ΔW + Ц_В\, ΔV_в, \quad (6.22)$$

где: $\Delta Э_т$, $\Delta Э_Q$, $\Delta Э_W$,$\Delta Э_В$ – соответственно стоимость сэкономленного топлива, тепловой, электрической энергии и воды; $\Delta В_н$, ΔQ, ΔW, $\Delta V_в$ – соответственно годовая экономия топлива, тепловой, электрической энергии и воды в натуральном исчислении; $Ц_т$ – цена за единицу натурального топлива, $Ц_Q$ – цена единицы теплоты, $Ц_W$ – тариф на электроэнергию, $Ц_в$– стоимость 1 куб. м. воды.

При оценке конкретного ЭСМ в расчетах следует учитывать только те виды энергозатрат, которые претерпевают изменения при реализации донного проекта. Так, при реконструкции котельных это могут быть затраты на топливо, электроэнергию и воду. Для проектов, связанных с модернизацией отопления и вентиляции объектов, использующих покупную тепловую энергию, экономия суммарных энергозатрат может выражаться изменением расхода типовой и электрической энергии. Следует отметить, что в отдельных проектах наряду с экономией тепловой энергии и топлива может иметь место увеличение расхода энергии. В этом случае в выражении составляющая $\Delta Э_W$ принимает отрицательное значение.

Расчет прибыли, получаемой предприятием в результате реализации проекта, зависит от специфики проекта. Так, если проект связан с приобретением новых энергосберегающих технических средств (ТС), которые ранее на объекте не применялись, прибыль определяется из выражения:

$$П = \Delta Э – С_э, \tag{6.23}$$

где: $\Delta Э$ – стоимость сэкономленных энергоресурсов; $С_э$ – текущие затраты, связанные с эксплуатацией новых ТС (без учета энергопотребления).

Как правило, прирост текущих затрат связан с дополнительными издержками на амортизацию (А), а также на техобслуживание и ремонт (Р):

$$С_э = А + Р, \tag{6.24}$$

Экономия текущих затрат в случае замены действующего оборудования на более совершенный аналог определяется по формуле:

$$П = \Delta Э – \Delta С_э = \\ = \Delta Э – [(А_н + Р_н) – (А_с + Р_с)], \tag{6.25}$$

где: ΔСэ – изменение текущих затрат, связанных с эксплуатацией технических средств, при их замене; $А_н$, $А_с$ – соответственно амортизация нового и заменяемого оборудования; $Р_н$, $Р_с$ – соответственно затраты на техобслуживание и ремонт нового и заменяемого оборудования.

В отдельных случаях внедрение ЭСМ может сопровождаться изменением затрат труда основных рабочих (например, при замене котлов, работающих на твердом топливе, на котельные установки, работающие на газе, сокращаются трудозатраты рабочих-котельщиков). В этом случае показатель ΔСэ определяется по формуле:

$$\Delta С_Э = [(А_н + Р_н + ЗП_н + ОС_н) — (А_с + Р_с + ЗП_с + ОС_с)], \tag{6.26}$$

где: $ЗП_н$ и $ЗП_с$ – соответственно заработная плата основных рабочих после и до внедрения ЭСМ; $ОС_н$ и $ОС_н$ – отчисления на социальные нужды от фонда заработной платы до и после внедрения ЭСМ.

В отдельных случаях в составе текущих издержек следует также учитывать прочие затраты, связанные со спецификой проекта. Так, например, для энергосберегающих мероприятий,

связанных с реконструкцией систем теплоснабжения, в составе издержек следует учитывать ущерб, причиняемый выбросами котельных. Он определяется исходя из дифференцированных ставок платы за загрязнение атмосферы, а также дополнительных затрат на здравоохранение.

Расчет затрат на амортизацию выполняется на основе данных о балансовой стоимости основных фондов, вводимых по кондому варианту энергосберегающей технологии, и единых нары амортизационных отчислений:

$$A = 0{,}01(H_A{*}K), \tag{6.27}$$

где: H_a – норма годовых амортизационных отчислений, %; К – капиталовложения (для действующего оборудования балансовая стоимость группы основных средств).

Затраты на ремонт и обслуживание технических средств (ТС) рассчитываются по формуле:

$$P = 0{,}01(H_P{*}K), \tag{6.28}$$

где: H_P – норма годовых затрат на ремонт и техобслуживание данного вида ТС, %.

Затраты на ремонт и техническое обслуживание энергетического оборудования в зависимости от его вида могут также определяться по формулам:

$$P = C_{p*}N_{p*}K, \tag{6.29}$$

$$P = C_{уэ*}N_{уэ}, \tag{6.30}$$

где: C_p- среднегодовые затраты на ремонт и техническое обслуживание основных средств, приходящегося на единицу ремонтной сложности; $C_{уэ}$ - среднегодовые затраты на ремонт и техническое обслуживание условной единицы электрооборудования в электросетях; N_p - количество единиц ремонтной сложности по донному виду основных средств; $N_{уэ}$ - количество условных единиц электрооборудования на электросетевом участке; К - коэффициент, учитывающий затраты на ремонт энергетической части данного вида основных средств.

Фонд заработной платы рабочих определяется исходя из часовых тарифных ставок членов трудового коллектива и затрат труда:

$$ЗП = \sum C_{Ti}\, T_i\, k_Д, \tag{6.31}$$

где: C_{Ti} – часовая тарифная ставка рабочих i-го разряда, Ti – затраты труда рабочих i-го разряда; $k_д$ – коэффициент, учитывающих дополнительную оплату труда.

Отчисления на социальные нужды от фонда заработной платы определяются по формуле:

$$ОС_н = К_{c*}ЗП, \tag{6.32}$$

где: $К_c$ – коэффициент, учитывающих отчисления на социальные нужды.

Прирост чистой прибыли (ЧП) предприятия определяется с учетом налога на прибыль и на имущество:

$$ЧП = (П - НИ)*(1- C_{НП}/100), \tag{6.33}$$

где:$C_{НП}$ – действующая ставка налога на прибыль, %; НИ – налог на имущество.

Следует отметить, что в большинстве случаев налог на имущество при оценке проектов можно не учитывать, поскольку его величина незначительна и находится в пределах допустимой погрешности расчетов.

Доход от инвестиций (Д) в случае приобретения дополнительного энергосберегающего оборудования определяется по выражению:

$$Д = ЧП + А_н, \quad (6.34)$$

В случаях замены действующего оборудования на более совершенный аналог годовой доход определяется по формуле:

$$Д = ЧП + (А_н - А_с), \quad (6.35)$$

6.2.6 Формулы расчета показателей эффективности ЭСМ

Чистый дисконтированный доход (чистая нынешняя стоимость), ЧДД (ЧНС), показывает весь эффект (прирост богатства) инвестора, приведенный во времени к началу расчетного периода. Прирост богатства определяется в сравнении с нормативным приростом на уровне базовой ставки. Так, ЧДД в 500 тыс. у. е. означает, что за расчетный период инвестор, во-первых, возвращает вложенный собственный капитал, во-вторых, получает нормативный доход на уровне базовой ставки и, в-третьих, дополнительно получает сумму, эквивалентную 500 тыс. у. е. в начале расчетного периода.

Чистый дисконтированный доход определяется из выражения:

$$ЧДД = \sum_{t=1}^{T} \frac{Д_t}{(1+Е)^t} - К_н \quad (6.36)$$

Если в расчете необходимо учесть ликвидационную стоимость объекта в конце расчетного периода, ЧДД рассчитывается по формуле:

$$ЧДД = \sum_{t=1}^{T} \frac{Д_t}{(1+Е)^t} + \frac{Л}{(1+Е)^T} - К_н \quad (6.37)$$

В формулах: $Д_t$ –доход, получаемый в год t; Т – расчетный период в годах; $К_н$ – капиталовложения, приведенные во времени к началу расчетного периода; Л - ликвидационная стоимость; Е – принятая процентная ставка.

Дисконтирование капиталовложений осуществляется в тех случаях, когда строительство предусмотренного проектом объекта превышает один год (строительный лаг), а также, если в проекте задействовано оборудование, требующее замены в течение расчетного периода, т. е. укоторого $Т_{сл} < Т$. При этом число замен определяется из выражения:

$$N_{зам} = Т/Т_{СЛ} - 1, \quad (6.38)$$

где: Т - расчетный период; $Т_{сл}$ – срок службы отдельных недолговечных ТС.

В общем случае дисконтирование капиталовложений осуществляется по формуле:

$$К_н = \sum_{t=0}^{T_{стр}} \frac{К_t}{(1+Е)^t} + \sum_{t=T_{сл}}^{T_{сл}N_{зам}} \frac{К_t}{(1+Е)^t}, \quad (6.39)$$

где: $К_t$ – капиталовложения в год t; $Т_{стр}$ – строительный лаг в годах.

При $Т_{сл} \geq Т$ и отсутствии строительного лага капиталовложения равны первоначальным единовременным капиталовложениям К, осуществляемым в год $t=0$, т. е. в этом случае $К_н = К$.

Проект целесообразен при ЧДД ≥ 0.

Если ЧДД < 0, необходимо проанализировать возможность уменьшения нормы дисконта, снижения капиталовложений, увеличения годового дохода и факторов, его определяющих.

Индекс доходности инвестиций (коэффициент эффективности проекта) ИД, показывает, во сколько раз увеличиваются собственные средства за расчетный период в сравнении с нормативным увеличением по уровню базовой ставки. Он представляется в виде выражения:

$$ИД = ЧДД / К_н + 1. \quad (6.40)$$

Проект целесообразен при ИД ≥ 1.

Внутренняя норма дохода, ВНД, (IRR), определяет максимальную базовую ставку, при которой капиталовложения не убыточны. Внутренняя норма дохода соответствует такой норме дисконта, при которой чистый дисконтированный доход обращается в нуль. Она находится из условия ЧДД $= 0$ путем решения уравнения:

$$ВНД = \sum_{t=1}^{T} \frac{Д_t}{(1 + ВНД)^t} - К = 0 \quad (6.41)$$

относительно ВНД.

Внутренняя норма дохода легко может быть рассчитана графоаналитическим методом. Для этого необходимо построить график ЧДД $= f(E)$, задаваясь рядом последовательных значений процентной ставки. Искомая величина находится в том интервале, где меняется знак показателя ЧДД. Ее уточненное значение можно определим методом линейной интерполяции из выражения:

$$ВНД = E_{MIN} + (E_{MAX} - E_{MIN}) \frac{ЧДД_{MAX}}{ЧДД_{MAX} + ЧДД_{MIN}} \quad (6.42)$$

где: E_{min}, E_{max} – минимальное и максимальное значение ставки в интервале; $ЧДД_{min}$, $ЧДД_{max}$ – минимальное и максимальное значение ЧДД в интервале, причем $ЧДД_{min}$ в формуле учитывается по модулю.

Проект целесообразен при $E <$ ВНД.

Различают статический и динамический срок окупаемости капиталовложений.

Статический срок окупаемости показывает, за какой срок инвестор возвращает первоначальные капиталовложения. При постоянном годовом доходе этот срок определяется из выражения:

$$Т_о = К / Д_t. \quad (6.43)$$

Если доводы проекта по годам непостоянны, величина $Т_о$ определяется по кумулятивному доходу, обеспечивающему равенство:

$$\sum_{t}^{T_0} Д_t = К \quad (6.44)$$

Динамический срок окупаемости соответствует времени, за которое инвестор вернет израсходованные средства и получит нормативный доход на уровне принятой ставки. Он рассчитывается исходя из уравнения:

$$\sum_{t=1}^{T} \frac{Д_t}{(1+Е)^t} - К = 0 \qquad (6.45)$$

решаемого относительно $Т_о$.

Показатель $Т_о$, можно рассчитать графоаналитически, построив зависимость ЧДД = f(t). Точка, где график пересекает ось абсцисс, т. е. ЧДД = 0, и будет искомым значением срока окупаемости. Искомая величина находится в том интервале, где меняется знак показателя ЧДД. Ее уточненное значение можно определить методом линейной интерполяции из выражения:

$$Т_0 = Т_{MIN} + (Т_{MAX} - Т_{MIN})\frac{ЧДД_{MAX}}{ЧДД_{MAX} + ЧДД_{MIN}} \qquad (6.46)$$

где: $Т_{min}$, $Т_{max}$ – минимальное и максимальное значение времени в интервале; $ЧДД_{min}$, $ЧДД_{max}$ – минимальное и максимальное значение ЧДД в интервале, причем $ЧДД_{min}$ в формуле учитывается по модулю.

Проект считается целесообразным при сроке возврата капитала в пределах расчетного периода, т.е. при $Т_0 < Т$.

6.2.7 Упрощенные расчеты показателей эффективности ЭСМ.

Упрощенные методы расчета показателей эффективности ЭСМ применимы при постоянном годовом доходе проекта ($Д_t$ = const).

При постоянстве годового дохода и условии, что можно пренебречь ликвидационной стоимостью объекта, ЧДД определяют по формуле:

$$ЧДД = Д_t\alpha_Т - К_н, \qquad (6.47)$$

где: $\alpha_Т$ – дисконтирующий множитель (коэффициент приведения постоянных по величине денежных сумм к началу расчетного периода), лет. Он определяется из выражения:

$$\alpha_Т = \frac{1-(1+Е)^{-Т}}{Е} = \frac{(1+Е)^Т - 1}{Е(1+Е)^Т} \qquad (6.48)$$

При $Д_t$ = const внутренняя норма дохода проекта рассчитывается следующим образом. Из уравнения:

$$Д_t * \alpha_{Т(ПР)} - К = 0. \qquad (6.49)$$

Находим минимальное предельное значение $\alpha_Т$,при котором проект не убыточен:

$$\alpha_{Т(ПР)} = К / Д_t. \qquad (6.50)$$

По известным значениям Т и $\alpha_{Т(ПР)}$ находим искомое значение ВНД

$$ВНД = Е_{MIN} + (Е_{MAX} - Е_{MIN})\frac{\alpha_{MAX} - \alpha_{Т(ПР)}}{\alpha_{MAX} - \alpha_{MIN}} \qquad (6.51)$$

где: E_{min}, E_{max} – минимальное и максимальное значение ставки в интервале; α_{min}, α_{max} – минимальное и максимальное значение дисконтирующего множителя в интервале.

При постоянстве годового расхода и отсутствии временного лага динамический срок окупаемости определяется из выражения:

$$Т_0 = \frac{\lg(1+Е/Р_В)}{\lg(1+Е)} \qquad (6.52)$$

где: $Р_В$ – коэффициент возврата капитала, равный

$$Р_в = Д_t / К – Е. \quad (6.53)$$

При этом уточненное значение срока окупаемости рассчитывается методом линейной интерполяции

$$Т_0 = Т_{MIN} + (Т_{MAX} - Т_{MIN}) \frac{\alpha_{Т(ПР)} - \alpha_{MIN}}{\alpha_{MAX} - \alpha_{MIN}} \quad (6.54)$$

Практические вопросы и решения

1. Приведите и охарактеризуйте основные показатели эффективности систем утилизации теплоты.

2. Опишите последовательность проведения термоэкономического анализа, его цели и задачи?

3. Какие необходимо иметь данные для проведения термоэкономического анализа?

4. Как определяется экономическая целесообразность энергосберегающего мероприятия.

5. Охарактеризуйте метод минимальных приведенных затрат.

6. Охарактеризуйте метод сопоставления приведенных затрат по сравнению с базовым вариантом.

7. В чем заключается суть метода приведения разновременных затрат?

8. Охарактеризуйте алгоритм и возможности программы «Ключевые числа»

Студент может также найти вопросы самоконтроля по видео (см.: электронные бизнес видео) и задачи, которые должны быть решены с помощью калькуляторов (см.: электронные бизнес-калькуляторы) по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTUTU.

Рекомендуемая литература (интеллектуальная библиотека)

1) Doty, S., Turner, W. Energy Management Handbook. Lilburn, GA : FairmontPress. 2009, 850 p.

2) Doty, S. Commercial Energy Auditing Reference Handbook. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2008, 454 p.

3) Norton, D., Isaac, M. Experiments on Energy, the Environment, and Sustainability. InResearchinExperimentalEconomics.Bingely, UK : Emerald. 2011, 222p.

4) Utrick, Joseph B. Energy and Buildings : Efficiency, Air Quality and Conservation. New York : Nova Science Publishers. 2009, 451 p.

5) Cho, V. G., Lee, W. H. Handbook of Sustainable Energy. In Energy Science, Engineering and Technology Series.New York : Nova Science Publishers. 2010, 803 p.

6) Schulz, P.; Nemecek, J. Buildings and the Environment. In Environmental Science, Engineering and Technology Series.New York : Nova Science Publishers. 2009, 309 p.

7) Hordeski, M. Megatrends for Energy Efficiency and Renewable Energy. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2011, 305 p.

8) Capehart, B. L., Kennedy, W., Turner, W. Guide to Energy Management. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2012, 651 p.

9) Cateland, R. Energy Efficiency Solutions. NewYork : Nova Science. 2009, 149 p.

10) Acosta, Morena J. Advances in Energy Research. In Volume 4.New York : Nova Science Publishers, Inc. 2011.

Тема лекции 7: Система управления зданием как основной инструмент повышения энергоэффективности систем жизнеобеспечения.

Введение в лекцию

Тема знакомит с принципами управления системами жизнеобеспечения здания и его влиянием на энергетическую эффективность.

Цель и основные результаты обучения

Целью обучения по этой теме является изучение следующих вопросов: Основные понятия о системе управления зданием. Цели и задачи системы управления. Структура системы управления.

Интеллектуальное здание. Роль математических моделей в системе управления зданием. Модель здания как единой энергетической системы. Самообучающаяся математическая модель. Рекомендации по разработке систем управления зданием. Развитие систем управления на основе информационных и цифровых технологий.

Предполагаемые основные результаты обучения соответствуют выше предусмотренным целям.

Конспект лекции и раздаточные материалы

Все материалы, видео, калькуляторы и программное обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом вы можете найти по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTUTU.

7.1 Управление инженерными системами зданий

Инженерные системы зданий, включающие энергоснабжение, отопление, вентиляцию, водоснабжение, водоотведение и освещение, рассмотренные в предыдущих разделах, по мере повышения требований к их энергоэффективности становились более сложными и требовали соответствующих систем управления. Еще 10-15 лет назад для контроля и управления инженерными системами считалось достаточным наличие простейших контрольно-измерительных приборов, а также устройств регулирования (в большинстве случаев с ручным приводом). По мере усложнения систем жизнеобеспечения зданий совершенствовались и устройства для их управления, например, сегодня управление системой отопления учитывает температуру наружного воздуха, наличие людей в помещении и ряд других параметров. Системы вентиляции и кондиционирования дополнительно учитывают вид освещения, газовый состав внутреннего воздуха, зоны регулирования и др. Современные локальные системы управления должны включать датчики, регуляторы, преобразователи, исполнительные механизмы, устройства защиты и сигнализации.

Учитывая взаимосвязь между отдельными системами жизнеобеспечения зданий, к концу XX века строительная наука пополнилась такими новыми понятиями как «Smart home», «Intelligent Building» («умный дом»), а в дальнейшем «интеллектуальное здание, которые обозначают новое направление в архитектуре и инженерии. Основные принципы таких зданий основаны на рациональном расходовании энергоресурсов, объединении инженерного оборудования и систем жизнеобеспечения в единый управляемый комплекс, наличие программно-аппаратных средств автоматического и дистанционного управления (т.н. интеллектуальное управление).

7.2 Интеллектуальное здание

Будет полезным привести здесь определения интеллектуального здания, данные различными авторами, так как они дополняют и развивают друг друга, рассматривают объект с различных позиций и в результате создают достаточно законченную картину для заинтересованного специалиста [26].

"Понятие "интеллектуальное здание" ("умный дом") родилось в США в начале 1980-х годов и очень быстро стало модным. Пока специалисты ломали головы над его концепцией, строители и инвесторы спешили объявить таковым любую постройку, где установлена система контроля доступа или пожарная сигнализация. Конечно, элементы интеллектуальности сегодня присущи почти любому строению. Но все-таки интеллектуальное здание - понятие совсем иного масштаба. Создание оптимальной среды для бизнеса, обеспечение комфортных условий деятельности, снижение расходов на эксплуатацию - это основные критерии концепции интеллектуального здания" (*www.ecoprog.ru/solutions/concept.htm*).

"Если отвлечься от рекламных лозунгов, то интеллектуальным следует называть здание, оснащенное средствами автоматического контроля над всеми системами жизнеобеспечения" (*www.pcmag.ru/news.asp?ID=576*).

"По мнению специалистов, одним из основных компонентов **интеллектуального здания** является система автоматизированного управления эксплуатацией здания. Автоматизированная система управления эксплуатацией здания - это комплекс программно-аппаратных средств, основной задачей которого является обеспечение надежного и гарантированного управления всеми системами, находящимися в эксплуатации здания, и исполнительными устройствами. Система способна за счет полной неразобщенной информации от всех эксплуатируемых подсистем, будь то пожарно-охранная, система теленаблюдения, ЛВС, телефония, водоснабжение, электропитание, кондиционирование и т. д., принять правильное решение и выполнить соответствующее действие, проинформировать соответствующую службу о событии. Система открыта для дальнейших накладываемых на нее функций и добавления интеллектуальности".

"В настоящее время в компьютерном и телекоммуникационном бизнесе существует понятие "интеллектуальное здание". Сразу необходимо заметить, что "интеллектуальное здание" - не очень точный перевод английского термина "intelligent building". В данном контексте слово "intelligent" (буквально - "разумный") следует понимать скорее в смысле умения распознавать определенные ситуации и каким-либо образом на них реагировать (естественно, степень этого умения может быть различной, в том числе очень высокой)" (*www.oskarsb.ru/news/detail.jsp?000712a.txt=1*).

"Для начала дадим краткое **определение интеллектуального здания** с точки зрения кабельной системы. Это здание с единой кабельной архитектурой, обеспечивающей циркуляцию всего потока информации: телефонию, передачу данных в локальной сети, видео и других данных вплоть до больших систем жизнеобеспечения и управления зданием.

Под системами жизнеобеспечения здания понимаются:

- телефонно-компьютерная сеть;
- контроль доступа в помещения;
- пожарная безопасность здания;

- дозиметрический контроль;
- управление отоплением, кондиционированием и вентиляцией;
- видеонаблюдение в целях безопасности;
- возможность проведения видеоконференций" (*www.apt.ru/ibs.htm*)

"Сразу необходимо заметить, что "интеллектуальное здание" - не очень точный перевод английского термина "intelligent building". В данном контексте слово "intelligent" (буквально - "разумный") следует понимать скорее в том смысле, в каком оно употребляется, например, в словосочетании intelligent port controller. Иными словами, под интеллектом понимается умение распознавать определенные ситуации и каким-либо образом на них реагировать (естественно, степень этого умения может быть различной, в том числе очень высокой). Русский термин имеет более широкое значение, нежели оригинал, поэтому не спешите разочаровываться, узнав, что именно предлагает интегратор" (*www.interbuild.ru/tech/20.htm*)

"Интеллектуальное здание (IB - Intelligent Building) представляет собой комплекс организационных, инженерно-технических мероприятий и программных средств, направленных на создание высокоэффективной экономичной инфраструктуры обслуживания комплекса, максимально отвечающей потребностям пользователей и владельцев этого здания" (*www.armo.ru/system/bms.htm*)

"Интеллектуальным зданием мы будем называть сооружение, в котором при помощи специальных технических средств созданы идеальные климатические и профессиональные условия труда персонала, обеспечивается необходимый уровень защиты от стихийных бедствий и несанкционированного доступа, максимально рациональным образом расходуются имеющиеся энергетические и коммунальные ресурсы" (*www.ci.ru/inform7_98/bcc.htm*).

Понятие "Интеллектуальное здание" еще не имеет точного толкования, но большинство людей, которые используют его, воспринимают это как автоматизированную техническую систему, которая:

- "чувствует", что происходит внутри здания и снаружи;
- "реагирует" таким образом, чтобы наиболее эффективным способом обеспечить безопасное и комфортабельное пребывание в нем, сведя до минимума потребление энергии и энергоресурсов;
- "взаимодействует" с людьми посредством применения простых и легко доступных средств общения.

Термин "здание" обобщает:

- квартиру/жилой коттедж (ЖК);
- жилой дом/гостиницу (ДГ);
- здания общего пользования (03): - офисы, детские, учебные, медицинские, культурно-просветительные заведения, административные здания, места торговли и пр.;
- помещения и сооружения производственного (цех, участок...) и непроизводственного (склад, стоянка...) назначения (ПН).

"Интеллектуальное здание" является продуктом современного развития существующих систем автоматики в зданиях в направлении:

- комплексной оптимизации использования ресурсов; повышения гибкости конфигурирования и снижения общей стоимости владения;

• интеграции с широким спектром технологического и телекоммуникационного оборудования;

• упрощения взаимодействия с пользователем". (*www.siemens.kiev.ua/future.html*)

На рис. 7.1 приведены компоненты интеллектуального здания. Принципиально важным является понимание того, что каждый элемент интеллектуального здания должен являться интеллектуальным элементом, то есть при его проектировании использована методология, которая будет "заставлять" этот элемент стремиться к выбору оптимального решения в эксплуатации, но, конечно, с учетом влияния других элементов на него и его влияния на другие элементы. Понятно, что здесь имеется в виду методология системного анализа. Следствием этого является возможность создания интеллектуальных элементов интеллектуального здания по разным направлениям, а затем их объединения на основе системного анализа.

Рис. 7.1 Компоненты интеллектуального здания [26]

Стоимость здания, оснащенного такими системами управления, может превышать стоимость обычного здания с традиционными системами управления на 30-100%. Однако при эксплуатации экономия может достигать 70% бюджета необорудованного здания. За счет того, что система работает на высоком уровне согласования, появляется возможность существенного снижения затрат на энергопотребление, уменьшается количество обслуживающего персонала и т.д.

Управление может осуществляться диспетчерским центром, размещенным в обслуживаемом здании или группе зданий, а также удаленно путем использования специальных линий связи или интернета.

Весьма перспективны разработки в части использовании интернет технологий для контроля и управления. Интернет вошел в нашу жизнь как глобальная информационная среда, открывающая принципиально новые возможности. Однако до сих пор интернет-технологии не находили широкого применения в промышленности. С появлением сигнальных модемов появилась возможность управлять различными приводами дистанционно, даже на больших расстояниях. Благодаря этим устройствам организовать доступ к управлению теперь можно с любого компьютера, подключенного к сети, или с мобильного телефона. При этом гарантируется такая же безопасность удаленного доступа, как и при электронных операциях с банковским счетом.

Для эффективной реализации системы управления «интеллектуальным зданием необходима его математическая модель.

7.3 Особенности математической модели теплового режима здания для системы управления

Математические модели теплового режима помещений, предназначенные для использования в системах управления, по сравнению с моделью для проектирования имеют определенные особенности [26].

Можно отметить два основных требования к этим моделям (в известной степени противоречивых):

1. Необходимость высокой точности численного моделирования теплового режима. Только на этой основе возможно обеспечение качественного управления тепловым режимом.

2. Ограничения на программу для компьютера по объему вычислений и времени вычислений. Компьютер, на котором реализуется математическая модель, имеет ограниченные характеристики по быстродействию и памяти. Прежде всего, это связано с экономической обоснованностью введения всей системы автоматизированного управления. Затраты на мощный компьютер могут свести на нет эффект от экономии энергии за счет введения системы.

Необходимость одновременного выполнения этих требований заставляет отказаться от универсальной математической модели и перейти к специализированной модели. Такая модель позволяет при сокращении объема вычислений не только не потерять точности моделирования теплового режима, но и в результате использования экспериментальных данных повысить эту точность в сравнении с универсальной моделью.

Исходным материалом для разработки специализированной модели служит универсальная модель. Можно указать несколько направлений, по которым может быть осуществлено ее «сужение» (без потери, а желательно и с ее увеличением):

1. Сокращение числа независимых переменных (в задаче проектирования это исходные данные, в задаче управления — входные параметры) путем перевода их в фиксированные параметры расчетной модели. Например, в модели для управления выпадают группа данных, касающихся геометрических размеров помещений здания, группа данных, характеризующих размеры и теплофизические свойства ограждающих конструкций, и многие другие. Это, пожалуй, наиболее простой и очевидный путь перехода к специализированной модели.

2. Совершенствование алгоритма вычислений в направлении сокращения времени вычислений и повышения точности результатов на основе конкретизации постановки за дачи. Большая определенность постановки задачи в случае специализированной модели во многих случаях дает возможность использовать более эффективные вычислительные методы.

3. Повышение точности моделирования теплового режима за счет использования экспериментальных данных. Здесь очень много возможностей: от простого введения в расчет в качестве параметров характеристик, полученных при натурных измерениях в данном помещении, до уточнения в результате проведения измерений некоторых допущений в исходной модели (например, в универсальной модели делается допущение о равномерности распределения проникающей солнечной радиации по внутренним поверхностям ограждающих конструкций, по результатам измерений в конкретном помещении, накоплению статистики — это положение может быть уточнено). Большое значение имеет введение в расчетную модель уточненных данных, касающихся величин коэффициентов теплообмена на поверхности ограждений. По результатам измерений может быть в значительной мере повышена точность учета теплоаккумулирующей способности оборудования и мебели.

С учетом изложенных выше соображений задача разработки математической модели теплового режима помещения для управления состоит из следующих этапов: сбор и обработка исходных данных, включающая изучение проектной документации и особенностей технологических процессов, происходящих в помещении; разработка «точной» математической модели теплового режима помещения и метода ее реализации на основе использования компьютера; оценка методом численного эксперимента вклада отдельных составляющих теплового баланса помещения и различных теплотехнических параметров на величину целевой функции; разработка с учетом результатов выполненного численного эксперимента предварительной математической модели теплового режима помещения для управления; обоснование математической модели для управления на основе сопоставления результатов расчета по ней с результатами расчета по «точной» модели; идентификация математической модели по результатам натурных экспериментов; повышение адекватности математической модели в процессе ее функционирования.

Теоретические основы построения и реализации «точной» и «упрощенной» модели, а также методика численного эксперимента по этим моделям изложены в [26].

7.4 Самообучающаяся математическая модель

Основными элементами автоматизированной системы управления микроклиматом являются: датчики показателей теплового режима помещения и показателей наружного климата, коммутирующие устройства и аналогово-цифровой преобразователь, связанные

С процессором управляющей вычислительной машины, генерирующей сигналы, поступающие через коммутаторы и цифро-аналоговые преобразователи на исполнительные устройства; управляющая вычислительная машина, имеющая систему программ для управления тепловым режимом помещения; исполнительные устройства. Повышение адекватности математической модели управления тепловым режимом помещения связано не только с идентификацией её к теплотехническим особенностям помещения и технологического процесса в нем, но также и с учетом реакции помещения на внешние климатические воздействия. Так как период повторяемости внешних климатических воздействий составляет годы, то это создает большие трудности в задаче идентификации математической модели. Одним из путей решения этой задачи является создание такой автоматизированной системы, в которой математическая модель была бы самообучающейся [26].

Поставленная цель достигается тем, что автоматизированная система, содержащая датчики показателей теплового режима, датчики параметров, характеризующих формирование теплового режима, датчики показателей наружного климата, связанные через соответствующие коммутирующие устройства и аналогово-цифровой преобразователь с процессором управляющей вычислительной машины, генерирующей сигналы, поступающие через коммутаторы и цифро-аналоговые преобразователи на исполнительные устройства, содержит имитатор датчиков показателей наружного климата и соединенный с ним дополнительный коммутатор, включенный в линию связи датчиков показателей наружного климата с соответствующим коммутирующим устройством.

В начальный период эксплуатации системы время между циклами управления используется для самообучения системы, которое осуществляется следующим образом. В оперативное запоминающее устройство вводится математическая модель формирования микроклимата. На

период между циклами управления процессор управляющей вычислительной машины через коммутатор подсоединяет к групповому преобразователю сигналов имитатор датчиков внешних метеоусловий вместо реальных датчиков внешних метеоусловий.

Работа системы во время обучения происходит так же, как и во время процесса управления, с той лишь разницей, что входную информацию система получает от имитатора датчиков внешних метеоусловий, а выходную – передает программе, моделирующей формирование микроклимата.

После того, как на очередной математической модели формирования микроклимата обучение закончится, в оперативное запоминающее устройство вводится более сложная математическая модель формирования микроклимата, и система, используя накопленный опыт, обучается на этой модели. Как только система начнет достаточно быстро переходить от одной математической модели формирования микроклимата к другой, процесс обучения на моделях заканчивается, и система переводится на режим обучения на реальном объекте. Время обучения сокращается за счет того, что в период обучения на математических моделях частота циклов управления увеличивается в два раза.

7.5 Рекомендации по разработке системы управления

1. Основой для разработки интеллектуального элемента для систем ОВК производственных зданий является структурно-информационная схема, определяющая совокупность объектов управления, датчиков, устройств управления, в том числе вычислительных и других, управляющей вычислительной машины, исполнительных и регулирующих устройств, устанавливающих необходимые информационные связи между ними.

2. При проектировании интеллектуального элемента следует исходить из общих требований автоматизированных систем управления технологическими процессами к точности и скорости выполнения операций ввода с объекта управления измерительной информации, к структуре устройств связи управляющей вычислительной машины с объектом управления, к параметрам аппаратуры нормализации, коммутации, передачи и преобразования сигналов, к методам борьбы с помехами, к алгоритмам и программам процедур передачи и преобразования информации.

3. Для управления тепловым режимом производственного здания наиболее целесообразной является структура управления, при которой отдельные параметры теплового режима регулируются соответствующими автоматическими устройствами, а управляющая вычислительная машина, обрабатывая измерительную информацию, рассчитывает и оптимизирует установки. При такой структуре управления обеспечивается достаточная надежность системы в целом, так как работоспособность системы сохраняется и при отказах управляющей вычислительной машины. Кроме того, при такой структуре может быть использована более простая управляющая вычислительная машина, снижаются требования к ее быстродействию и другим характеристикам, появляется возможность практической реализации более эффективных алгоритмов оптимизации процесса, требующих большего объема вычислений.

4. Измеряемыми нерегулируемыми параметрами окружающей среды являются температура и влажность наружного воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление,

солнечная радиация, температура и давление воды в подающем трубопроводе тепловой сети, температура и давление пара в тепловой сети.

5. Измеряемыми выходными параметрами, характеризующими тепловой режим, являются температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха в рабочих зонах, CO_2 и др.

6. Измеряемые выходные параметры, по которым непосредственно или расчетом можно определить эффективность управления: температура и давление воды в обратных трубопроводах, расход теплофикационной воды, холодной воды и пара, расход электроэнергии.

7. В качестве регулируемых параметров, которые измеряются соответствующими исполнительными механизмами, рассматриваются температура приточного воздуха, температура горячей воды после подмешивающих насосов, количество приточного воздуха.

8. Для помещений, в которых могут выделяться аварийные количества взрывоопасных газов и паров, образующих взрывоопасные смеси, должны устанавливаться газоанализаторы, сблокированные с устройствами световой сигнализации, оповещающей о наличии в воздухе помещения концентрации вещества, достигающей 20% нижнего предела взрываемости, или автоматические газоанализаторы, сблокированные с устройством для пуска систем, используемых для аварийной вентиляции при наличии такой концентрации.

9. Программное обеспечение системы должно состоять из операционной системы ЭВМ, предусматривающей возможность работы в реальном времени, в диалоговом режиме, и программного пакета системы. Программами системы должна быть обеспечена также возможность их трансляции, редактирования, компоновки и отладки. В операционную систему должны быть включены средства, связанные со службой времени, т. е. ожидание заданного момента времени для запуска процесса и управление работой устройств связи с объектом, а также средства работы с файлами, хранящимися во внешней памяти ЭВМ.

10. Программный пакет должен быть представлен в виде отдельных взаимосвязанных подпрограмм. Большие подпрограммы следует сегментировать с целью вмещения их в заданный объем оперативной памяти ЭВМ.

11. Программный пакет предназначен для управления работой всей системы. Он делится на оптимизирующие программы, основные рабочие программы и вспомогательные программы обслуживания системы.

Практические вопросы и решения

1. Что собой представляет система управления зданием, и какие функции она выполняет?
2. Охарактеризуйте иерархию системы управления зданием.
3. С какой целью используют математические модели в системах управления зданием.
4. Какие виды математических моделей зданий Вы знаете?
5. Что понимают под интеллектуальным зданием?
6. От каких факторов зависит система управления зданием?
7. Какие технические средства применяют для создания систем управления зданием?
8. Какие алгоритмы управления применяют и как от этого зависит энергоэффективность?

Студент может также найти вопросы самоконтроля по видео (см.: электронные бизнес видео) и задачи, которые должны быть решены с помощью калькуляторов (см.: электронные бизнес-

калькуляторы) по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTUTU.

Рекомендуемая литература (интеллектуальная библиотека)

1) Capehart, B. L., Kennedy, W., Turner, W. Guide to Energy Management. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2012, 651 p.

2) Timmeren, A., Dobbelsteen, A. Smart Building in a Changing Climate. Amsterdam : Techne Press. 2009, 250 p.

3) Mager, D., Sibilia, J. Street Smart Sustainability : The Entrepreneur's Guide to Profitably Greening Your Organization's DNA. In The Social Venture Network Series.San Francisco, CA : Berrett-Koehler Publishers. 2010, 246 p.

4) Sidwell, A. C., Brandon, P. S., Yang, J. Smart & Sustainable Built Environments. In Smart and Sustainable Built Environments. Oxford : Blackwell Pub. 2005, 346 p.

5) Yudelson, J. Green Building Trends : Europe. Washington, DC : Island Press. 2009, 161 p.

6) Stanford, Herbert W. Effective Building Maintenance : Protection of Capital Assets. Lilburn, Ga : Fairmont Press. 2010, 426 p.

7) Global trends in energy efficiency of buildings / / Power Saver. - 2012. - № 5. - S. 38-42

8) The technology of energy saving in buildings: The European Experience / / AVOK. - 2013. - № 1. - S. 36-45.

9) Utrick, Joseph B. Energy and Buildings : Efficiency, Air Quality and Conservation. New York : Nova Science Publishers. 2009, 451 p.

10) Nugent, C., Augusto, J. Smart Homes and Beyond : ICOST2006, 4th International Conference on Smart Homes and Health Telematics. In Assistive Technology Research Series. Amsterdam : IOS Press. 2006, 380 p.

Темалекции 8: Основы энергоаудита зданий.

Введение в лекцию

Тема знакомит с понятием энергоаудита, его целями и методами проведения.

Цель и основные результаты обучения

Целью обучения по этой теме является изучение следующих вопросов: Понятие энергоаудита. Цели и задачи энергоаудита. Законодательная и нормативно-правовая база для проведения энергоаудита. Способы проведения энергоаудита и его содержание. Приборы и инструментальные измерения для энергоаудита. Энергетический паспорт здания. Порядок планирования и осуществления мероприятий по энергосбережению.

Предполагаемые основные результаты обучения соответствуют выше предусмотренным целям.

Конспект лекции и раздаточные материалы

Все материалы, видео, калькуляторы и программное обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом вы можете найти по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTUTU.

8.1 Энергетический менеджмент

Для повышения эффективности энергосберегающих мероприятий большое значение имеет не только внедрение нового оборудования, передовых технологий, но и грамотно организованное управление энергопотреблением, то есть энергоменеджмент и энергоаудит на предприятиях, в организациях и зданиях.

Энергетический менеджмент представляет собой совокупность технических и организационных мероприятий, направленных на повышение эффективности использования энергоресурсов и являющейся частью общей структуры управления предприятием [19]. Основная задача его состоит в проведении комплексного анализа энергопотребления и на его основе - проведение энергосберегающих мероприятий на предприятии.

Основными функциями энергоменеджмента являются:

- взаимодействие с энергопотребителями предприятия (организации) и с энерго-ресурсоснабжающими организациями;
- обработка и предоставление информации об энергопотреблении по отдельным структурным подразделениям;
- подготовка предложений по энергосбережению; разработка энергосберегающих проектов и управление ими;
- проведение разъяснительно-воспитательной работы о важности и необходимости энергосбережения.

Для реализации этих функций на предприятии или организации организуется единая, распределенная по всем уровням система управления, информационная система для оперативного контроля и управления производством и потреблением энергоресурсов. Информация из этой системы должна поступать в блок информационного обеспечения, что позволяет оперативно выявлять и реагировать на факты необоснованного перерасхода энергоресурсов и проводить анализ причин возникновения таких ситуаций.

Работа по управлению энергосбережением неотделима от общего управления организацией. Создание системы энергоменеджмента начинается с осознания ее необходимости и

закрепления такого понимания документально путем разработки положения об энергосбережении на предприятии. Как правило, такой документ включает:

• Декларацию энергетической политики предприятия, описывающую цели энергосбережения и задачи на каждом этапе;

• Принципы распределения обязанностей и ответственности за проведение работ по энергосбережению и порядок координации при их проведении;

• Перечень мероприятий, с указанием сроков внедрения, объема финансирования, ответственных лиц и исполнителей;

• Принципы финансирования энергосбережения;

• Организация системы контроля и оценки результатов.

Цели энергетического менеджмента должны быть достижимыми, реальными и соответствующими условиям эколого-экономической безопасности. При разработке положения об энергосбережении важным моментом является организация его обсуждения во всех подразделениях. Это поможет облегчить его введение, а само участие в разработке положения является серьезным мотивирующим фактором. Исходя из этого, прямой выход служб энергетического менеджмента к руководству предприятия является основой успешной работы по проведению энергосберегающих мероприятий на предприятии.

Энергосберегающие мероприятия выполняются по следующим направлениям:

• составление энергетического баланса всего предприятия или организации и структурных подразделений-энергопотребителей;

• проведение энергетического обследования (энергоаудита);

• мониторинг и планирование.

8.2 Энергетический аудит

8.2.1 Содержание и основные задачи энергоаудита

Энергетический аудит - это обследование предприятия, организации или здания с целью сбора информации об источниках энергии, ее удельном потреблении на единицу выпускаемой продукции (или на 1 м^3 объема обслуживаемого здания), разработка рекомендаций и технических решений по снижению энергетических затрат [19].

Аудит является основным инструментом энергетического менеджмента. Он проводится для определения путей быстрого и эффективного снижения издержек на энергоресурсы и исключения неоправданных затрат на проведение мероприятий энергосбережения. Он может стать базой, трамплином для качественного рывка в конкурентоспособности. Однако это верно только при правильной организации проведения энергетического обследования. Главным требованием при работе с внешними энергоаудиторскими компаниями является правильная постановка целей и задач, от которых зависит, будут ли реализованы энергосберегающие мероприятия или все закончится оформлением только проектной и отчетной документации. По этим причинам важен контроль качества работы аудитора и ее соответствие целям и задачам обследования.

По результатам энергоаудита руководство предприятия должно получить:

• Оценку текущего энергопотребления с достоверными данными по объемам потребления всех ресурсов и суммам средств, затрачиваемым на них, по предприятию или организации в целом, по отдельным участкам, и их удельные величины на каждый вид продукции.

• Программу мероприятий по энергосбережению, содержащую систему мер организационного, правового и технического характера, направленных на постоянное и планомерное снижение издержек, при улучшении производственных, экономических и экологических показателей предприятия и условий труда персонала.

В программу должны быть включены как энергосберегающие мероприятия, так и меры по созданию системы энергоменеджмента: внедрение системы контроля и поощрение достижений, повышение мотивации и обучение персонала, порядок пересмотра и корректировки программы и положения. Таким образом, энергетическое обследование может указать на перспективные направления деятельности, на основе которых необходимо организовать и проводить практическую работу по повышению энергетической эффективности предприятия.

Практика проведения энергоаудита в нашей стране и за рубежом показала, что при решении проблем энергосбережения и лимита потребления энергоресурсов, энергоаудит достаточно проводить в два этапа: экспресс-обследование и углубленные энергетические обследования.

Предварительно составляется программа энергоаудита, для чего собирают основные характеристики обследуемого предприятия: общие сведения, организационная структура; схема и состав основных потребителей (зданий) по видам энергоресурсов; установленные мощности подразделений, ассортимент выпускаемой или продаваемой продукции (пара, электроэнергии, горячей воды); цены (тарифы) на энергоресурсы. В оценке степени достоверности информации на предварительном этапе участвуют обследующая организация и предприятие.

Источниками информации являются:

• беседы с руководством и техническим персоналом;

• схемы энергосбережения и учета энергоресурсов;

• отчетная документация и счета по учету энергоресурсов;

• суточные, недельные и месячные графики нагрузки;

• данные по объему произведенной продукции, ценам и тарифам;

• техническая документация на технологическое и вспомогательное оборудование (технологические схемы, спецификации, режимные карты, регламенты и т.д.);

• отчетная документация по ремонтным, наладочным, испытательным и энергосберегающим мероприятиям;

• перспективные программы энергосбережения, проектная документация на технологические или организационные усовершенствования, планы развития предприятия.

Предприятие должно предоставить энергоаудиторам всю имеющуюся документальную информацию за последний год (или 24 месяца) и должно отвечать за достоверность предоставленной информации.

В конце предварительного этапа составляется программа основного этапа энергоаудита, которая согласовывается с руководством предприятия и подписывается двумя сторонами. При составлении программы учитывается мнение обследуемого предприятия о порядке и приоритетности проведения работ на различных объектах.

По результатам экспресс-обследования определяют состояние энергетического хозяйства предприятия и нерациональные потери энергии, оценивают по укрупненным показателям

энергетический баланс предприятия, определяют основные направления снижения энергетических затрат.

При проведении углубленных обследований помимо указанного выше проводят сравнение фактических и нормируемых затрат энергии на технологию, отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, собственные нужды, оценивают возможный потенциал энергосбережения при использовании различных энергосберегающих мероприятий.

8.2.2 Цели и этапы энергоаудита

Цель энергоаудита: определение эффективности использования тепловой и электрической энергии, оценка потенциала предприятий, разработки эффективных схем и мероприятий рационального и эффективного использования энергетических ресурсов. Энергоаудит позволяет сделать заключения об эффективности использования различных видов энергии, контролировать или лимитировать потребности в топливно-энергетических ресурсах предприятий и организаций и тем самым реализует идею энергосбережения.

Энергоаудит предполагает следующие методологические этапы:

1) первичный обзор статистической, документальной и технической информации по всем видам энергетической деятельности предприятия и составление программы энергоаудита;

2) метрологическое (инструментальное) и термографическое обследование всех потребителей тепловой и электрической энергии;

3) исследование теплового и эксергетического баланса предприятия;

4) обработка полученной или собранной информации и аналитический обзор по всем видам энергетической деятельности предприятия;

5) оценка энергоэффективности теплотехнического, теплоэнергетического и теплотехнологического оборудования, теплогенерирующих установок, систем отопления и вентиляции, горячего водоснабжения, пароснабжения, сбора и возврата конденсата, холодоснабжения, электроснабжения, использования вторичных энергоресурсов;

6) разработка основных рекомендаций и мероприятий по энергосбережению, учету топлива, воды, электрической и тепловой энергии;

7) оформление отчета и составление энергетического паспорта.

Следует отметить, что каждый методологический этап энергоаудита имеет свои стадии (ступени или периоды).

Обзор статистической, документальной и технической информации всех потребителей тепловой и электрической энергии, углубленное метрологическое (или инструментальное) и термографическое обследование, – энергоаудит может завершаться составлением отчета и составлением или обновлением энергетического паспорта [30].

Отчет по энергосбережению включает в себя информационный и аналитический обзор по всем видам энергетической деятельности предприятия. В пояснительной записке представляется вся информация об обследуемом предприятии, имеющая отношение к вопросам энергоиспользования, а также общая характеристика предприятия.

В аналитической части приводится физический и финансовоэкономический анализ эффективности энергоиспользования, обосновываются энергосберегающие рекомендации и порядок их выполнения. Сводная таблица энергосберегающих рекомендаций выносится в начало или конец отчета и оформляется в виде общих выводов (резюме).

Отчет должен быть кратким и конкретным, все таблицы, расчеты, материалы обследования следует выносить в приложения. Основные числовые данные (состав энергоресурсов, ассортимент выпускаемой продукции, структуру энергопотребления, структуру затрат на энергоносители и ряд других) необходимо представлять в виде таблиц, графиков и круговых диаграмм. Суточные, недельные и годовые графики потребления различных видов энергоресурсов следует представлять в виде линейных или столбчатых графиков.

Энергетический паспорт устанавливает основные требования к построению, изложению и содержанию промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) с целью определения фактического баланса потребления ТЭР, оценки показателей энергетической эффективности и формирования мероприятий по энергосбережению.

Энергетический паспорт потребителя ТЭР включает [30]:

• титульный лист энергетического паспорта потребителя ТЭР;

• общие сведения о потребителе ТЭР;

• сведения об общем потреблении энергоносителей;

• информацию о трансформаторных подстанциях;

• информацию о собственном производстве электрической и тепловой

• энергии, а также годовой баланс потребления электроэнергии;

• сведения о потреблении (производстве) тепловой энергии;

• информацию о составе и работе котельных;

• сведения о теплотехнологическом оборудовании;

• годовой баланс потребления тепловой энергии;

• сведения о потреблении котельно-печного и моторного топлива;

• сведения об использовании вторичных энергоресурсов, альтернативных топлив, возобновляемых источников энергии;

• сведения о показателях эффективности использования ТЭР;

• сведения об энергосберегающих мероприятиях по каждому виду ТЭР.

Типовые формы энергетического паспорта могут быть дополнены и утверждены в составе соответствующего нормативного документа.

8.2.3 Инструментальное обследование потребителей

Метрологическое и термографическое обследование всех потребителей тепловой и электрической энергии проводится для дополнения статистической, документальной и технической информации, недостающей для оценки эффективности энергоиспользования, или при возникновении сомнения в достоверности при обзоре информации.

Метрологическое обследование – измерение требуемых параметров с заданной точностью. Для проведения метрологического обследования могут применяться стационарные или переносные контрольно-измерительные приборы (КИП) с определенными метрологическими характеристиками.

Энергетические и теплотехнологические процессы на предприятиях могут осуществляться различными энергоносителями и сопровождаться многообразными энергетическими процессами: силовыми, тепловыми, электротехническими, электрохимическими, электрофизическими и другими.

1. Измерение освещенности, электрических параметров трехфазных, однофазных и высоковольтных систем. Замеры осуществляются приборами для измерения, регистрации и анализа параметров электрооборудования и электрических сетей, которые могут включать следующие элементы:

• цифровой люксметр – переносной прибор для измерения освещенности с цифровым отсчетом и фиксацией результатов;

• трехфазный анализатор параметров электропотребления – микропроцессорный анализатор параметров одно- и трехфазных электрических сетей, предназначенный для измерения, регистрации и анализа тока, напряжения, частоты, активной мощности, реактивной энергии, cosφ, гармоник тока и напряжения;

• анализатор электропотребления – переносной программируемый прибор для измерения, регистрации и анализа одно- и трехфазных электрических сетей до 850 В, предназначенный для измерения тока, напряжения, активной и реактивной мощности и энергии, частоты, cosφ, спектра гармоник тока и напряжения;

• монитор напряжения сети – прибор для контроля напряжения однофазной (220 В, 50 Гц), трехфазной (220/380 В, 50 Гц) сети с нулевым проводом.

2. Измерение температуры, влажности и скорости. Для измерений температуры, влажности и скорости среды, веществ, теплоносителей, материалов, изделий необходимо иметь измерительный комплекс, функциональная схема которого включает датчики, блок обработки данных, термоэлектродные провода. Датчики находятся в контакте с исследуемой средой (телом) и служат своего рода «преобразователями» температуры, влажности и скорости в иной физический параметр, подлежащий измерению.

Для измерения температуры, влажности и скорости используют:

• термопары определенной градуировки;

• измерители – регуляторы температуры;

• термопреобразователи сопротивления;

• термопреобразователи многоканальные – измерители и регуляторы температуры;

• контроллеры технологического оборудования – регуляторы температуры и влажности, программируемые по времени;

• контроллеры для регулирования температуры в системах отопления и горячего водоснабжения;

• контроллеры для регулирования температуры в системах отопления и приточной вентиляции;

• цифровой измеритель температуры и влажности – комбинированный прибор с цифровой индикацией;

• цифровой миниатюрный термометр – прибор для контактного измерения температуры с цифровой индикацией (от минус 200 до + 1372 °С);

• миниатюрный цифровой дифференциальный термометр – прибор для контактного измерения температуры с цифровым отображением результатов измерений;

• бесконтактные цифровые термометры – приборы для бесконтактного измерения температуры по инфракрасному излучению объектов;

• цифровой термоанемометр – комбинированный прибор с цифровой индикацией измерения скорости и температуры воздушного потока;

• цифровой фотоконтактный тахометр – прибор для бесконтактного измерения частоты и линейной скорости вращения с цифровым отсчетом результатов измерения на дисплее.

Термопары с термочувствительным элементом, термоэлектрические преобразователи или термоприемники подключают к входам прибора – блока обработки данных.

Блок обработки данных может включать в себя регистрирующие или показывающие приборы, цифровые фильтры, вычислители или логические устройства, аналого-цифровые преобразователи, аналоговые модули входа, адаптеры интерфейса, а также ЭВМ.

Действие манометрических и ртутных термометров основано на измерении температуры рабочего тела, когда в трубопровод вваривают гильзу из нержавеющей стали, конец которой должен доходить до центра трубопровода, заполняют ее маслом и опускают в нее термометр.

Действие термометров сопротивления (платиновых ТСП и медных ТСМ) основано на использовании зависимости электрического сопротивления вещества от температуры.

Действие термоэлектрического термометра основано на использовании зависимости термоЭДС термопары от температуры. Термопара как чувствительный элемент термометра состоит из двух разнородных проводников (термоэлектродов), одни концы которых (рабочие) соединены друг с другом, а другие (свободные) подключены к измерительному прибору. При различной температуре рабочих и свободных концов в цепи термоэлектрического термометра возникает ЭДС.

3. Измерение давления. Для измерения давления используются барометры, манометры, вакуумметры, тягомеры и др., которые измеряют барометрическое или избыточное давления, а также разрежение в мм вод. ст., мм рт. ст., МПа, кгс/см^2, кгс/м^2 и др.

Для контроля работы топок (при сжигании газа и мазута) могут быть использованы следующие приборы:

• манометры (жидкостные, мембранные, пружинные) – показывают давление топлива на горелке после рабочего крана;

• манометры (U-образные, мембранные, дифференциальные) – показывают давление воздуха на горелке после регулирующей заслонки;

• тягомеры (ТНЖ, мембранные) – показывают разрежение в топке.

4. Измерение расхода. Для измерения расхода жидкостей (воды, нефтепродуктов), газов и пара применяют расходомеры или ротаметры. Скоростные объемные расходомеры измеряют объем жидкости или газа по скорости потока и суммируют эти результаты. В рабочей камере скоростного объемного расходомера (водомера) установлена крыльчатая или спиральная вертушка, которая вращается от поступающей в прибор жидкости и передает расход счетному механизму.

Объемный ротационный счетчик (РГ) измеряет суммарный расход газа до 1000 м3/ч, для чего в рабочей камере размещены два взаимно перпендикулярных ротора, которые под действием давления протекающего газа приводятся во вращение, каждый оборот которого передается через зубчатые колеса и редуктор счетному механизму.

Ультразвуковые измерители расхода жидкостей (типа FORTAFLOW 204, 208, 300 или MKII-R) – портативные расходомеры жидкостей без нарушения целостности трубопроводов, с выводом информации на цифровой дисплей.

Дроссельные расходомеры с переменным перепадом давления имеют сужающие устройства – нормальные диафрагмы (шайбы) камерные и бескамерные с отверстием, меньшим сечения трубопровода. При прохождении потока среды через отверстие шайбы скорость ее повышается, давление за шайбой уменьшается, а перепад давления до и после дроссельного устройства зависит от расхода измеряемой среды: чем больше количество вещества, тем больше перепад.

Разность давлений до и после диафрагмы измеряется дифференциальным манометром, по данным которого можно вычислить скорость протекания жидкости через отверстие шайбы. Нормальная диафрагма выполняется в виде диска (из нержавеющей стали) толщиной 3…6 мм с центральным отверстием, имеющим острую кромку, и должна располагаться со стороны входа жидкости или газа и устанавливаться между фланцами на прямом участке трубопровода. Импульс давления к дифманометру производится через отверстия из кольцевых камер или через отверстие с обеих сторон диафрагмы.

Для измерения расхода пара на импульсных трубках к дифманометру устанавливают уравнительные (конденсационные) сосуды, предназначенные для поддержания постоянства уровней конденсата в обеих линиях. При измерении расхода газа дифманометр следует устанавливать выше сужающего устройства, чтобы конденсат, образовавшийся в импульсных трубках, мог стекать в трубопровод, а импульсные трубки по всей длине должны иметь уклон к газопроводу (трубопроводу) и подключаться к верхней половине шайбы.

5. Газоанализаторы предназначены для контроля полноты сгорания топлива, избытка воздуха и определения в продуктах сгорания объемной доли углекислого газа, кислорода, окиси углерода, водорода, метана. По принципу действия газоанализаторы делятся на:

• химические, основанные на последовательном поглощении газов, входящих в состав анализируемой пробы – для измерения содержания O_2, CO_2, CO, H_2, CH_4;

• физические – работающие по принципу измерения физических параметров (плотности газа и воздуха, их теплопроводности);

• хроматографические – основанные на адсорбции (поглощении) компонентов газовой смеси определенным адсорбентом (активированным углем) и последовательной десорбции (выделении) их при прохождении колонки с адсорбентом газом.

6. Термографическое обследование проводится с помощью автоматических приборов (или самописцев) для регистрации аналоговых, цифровых и других входных сигналов от датчиков, на которых фиксируются в течение определенного или длительного времени (минут, часов, суток, периода обработки) отдельные параметры: температура, расход или давление теплоносителя, влажность, содержание газов или его компонентов. Термографическое обследование обеспечивает накопление, хранение и обработку параметров и может включать в себя адаптеры и преобразователи интерфейса RS-232/RS-485. Термографическое обследование обеспечивает также супервизорный контроль на дисплее ЭВМ программами типа ОРМ (OWEN PROCESSMANAGER) или SCADA-система (Supervisory, ControlandData Acquisition).

8.2.4 Разработка основных рекомендаций и мероприятий по энергосбережению

Энергетическое обследование предприятий и организаций любой формы собственности является эффективной мерой экономии энергоресурсов. По результатам аудита составляется технический отчет, в котором должны содержаться мероприятия, способствующие рациональному использованию энергоресурсов, сроки окупаемости и количественные параметры экономии, рекомендации и разъяснения по финансированию предложенных мер.

Разрабатываемые мероприятия должны соответствовать нормативным документам в части обеспечения надежности, безопасности, охраны труда, охраны окружающей среды, качества топлива и энергии. При разработке рекомендаций необходимо выполнить следующие мероприятия.

1. Обосновать техническую суть предлагаемого усовершенствования, а также принципы получения экономии тепловой и электрической энергии в денежном эквиваленте.

2. Предопределить состав оборудования, необходимого для реализации рекомендации, его примерную стоимость, стоимость доставки, установки и ввода в эксплуатацию.

3. Рассчитать фактические показатели энергоэффективности и выявить причины их несоответствия нормативным показателям.

4. Рассчитать потенциальную экономию в физическом и денежном выражении на год и, возможно, на несколько лет вперед.

5. Рассмотреть все возможные формы снижения затрат, например, изготовление и монтаж оборудования силами самого предприятия.

6. Найти возможные побочные эффекты от внедрения рекомендаций, влияющих на реальную экономическую эффективность.

7. Разработать организационно-технические мероприятия, направленные на повышение эффективности использования ТЭР по каждому показателю.

8. Провести ранжирование мероприятий по их энергетической эффективности, требуемым затратам и срокам окупаемости.

9. Провести оценку требуемых затрат для реализации энергосберегающих мероприятий, определить их технико-экономическую эффективность, сроки окупаемости.

10. Установить перечень работ, необходимых для реализации конкретных энергосберегающих мероприятий.

11. Дать оценку общего эффекта от предлагаемых рекомендаций с учетом всех вышеперечисленных пунктов.

Этап согласования отчетной документации по энергосбережению включает следующие мероприятия.

1. Акт (отчет) о выполненном энергетическом обследовании.

2. Выбор методики определения потенциала энергосбережения.

3. Результаты определения потенциала энергосбережения.

4. Выбор экономически обоснованной программы, рекомендаций и мероприятий по повышению эффективности использования ТЭР, снижению затрат на топливо и энергоснабжение.

8.2.5 Энергетическая сертификация зданий

В Европейском союзе для стимулирования энергосбережения в зданиях различных форма собственности дополнительно используется такой инструмент как энергетическая сертификация зданий. Применение данного инструмента основано на положениях Директивы 2010/31/ЕС от 19 мая 2010 по энергетическим характеристикам зданий, вступившей в силу с 8 июля 2010 г.

Директива устанавливает требования:

• по общей методологии расчета обобщенной энергетической эффективности зданий и сооружений;

• минимальному уровню энергетической эффективности новых зданий и сооружений;

• минимальной энергетической эффективности существующих зданий и сооружений при реконструкции, капитальном ремонте;

• по национальным планам увеличения числа зданий с практически нулевым потреблением энергии;

• по энергетической сертификации зданий и сооружений;

• по регулярной инспекции систем отопления и кондиционирования зданий;

• по независимой системе надзора при энергетической сертификации.

Сертификация энергетической эффективности здания - регламентированный процесс, во время которого устанавливается потребление энергии, оцениваются энергетические характеристики здания с отнесением здания к классу энергетической полезности и выдачей сертификата энергетической полезности здания. Выделяются 7 классов энергетической полезности (подобно классификации электроприборов): A, B, C, D, E, F, G, где A - самый высший класс (наименьшее потребление), G - самый низкий (наибольшее потребление).

Здания, которые сдаются в аренду или выставляются на продажу в ЕС, обязаны иметь данный сертификат, который дает потенциальному арендатору или покупателю объективную информацию об эксплуатационных расходах здания, связанных с потреблением энергии. Таким образом, присвоенный класс энергетической эффективности здания влияет на стоимость недвижимости и мотивирует владельцев внедрять энергосберегающие технологии.

Положения, установленные в директивах ЕС, не являются обязательными для государств СНГ, однако могут использоваться как методика для оценки и классификации зданий с учетом данных, полученных при энергоаудитах.

Практические вопросы и решения

1. Цель, содержание и основные положения энергоаудита.
2. Какую документацию используют при проведении энергоаудита.
3. Какие инструментальные измерения производят при проведении энергоаудита:
4. Охарактеризуйте основные приборы, используемые при проведении энергоаудита.
5. В каком виде оформляются результаты энергоаудита.
6. Энергетический паспорт гражданского здания.
7. Энергетический паспорт промышленного предприятия.
8. На основе каких данных разрабатываю план внедрения энергосберегающих мероприятий?

Студент может также найти вопросы самоконтроля по видео (см.: электронные бизнес видео) и задачи, которые должны быть решены с помощью калькуляторов (см.: электронные бизнес-

калькуляторы) по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTUTU.

Рекомендуемая литература (интелектуальная библиотека)

1) Thumann, A.,Younger, Wi., Niehus, T. Handbook of Energy Audits. Lilburn GA : Fairmont Press. 2010, 492 p.

2) Doty, S. Commercial Energy Auditing Reference Handbook. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2008, 454 p.

3) Pawlik, K., Capehart, B. L. Solutions Manual for Guide to Energy Management. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2008, 161 p.

4) Doty, S., Turner, W. Energy Management Handbook. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2009, 850 p.

5) Vaillencourt, Richard Simple Solutions to Energy Calculations. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2008.

6) Thumann, A., Mehta, D. Handbook of Energy Engineering. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2012, 442 p.

7) Practical guide to the selection and development of energy-saving projects / under the general editorship. O.L. Danilova, P.A. Kostjuchenko. - JSC "Tehnopromstroy", 2006. - 668 p.

8) Fokin VM Fundamentals of energy conservation and energy audit / VM Fokin. - M.: "Publishing Engine-1", 2006. - 256 p.

9) Samarin OD Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency. - Moscow: Publishing House of the DIA, 2009.

10) Dick van Dijk Overall energy performance of buildings // Rehva Journal. - 2011. – January. – P. 10-15.

11) Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В.М. Фокин. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 256 с.

12) Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Теплоэнергетика" / О. Л. Данилов [и др.] ; под ред. А. В. Клименко. – 2-е изд., стер. – М. : МЭИ, 2011. – 424 с.

Тема лекции 9: Перспективы и тенденции энергосбережения

Введение в лекцию

Тема знакомит с современными проблемами, перспективами и тенденциями развития энергоэффективных систем зданий и сооружений.

Цель и основные результаты обучения

Целью обучения по этой теме является изучение следующих вопросов: Основные тенденции в развитии систем жизнеобеспечения зданий. Климатические и экологические изменения в окружающей среде и их влияние на системы жизнеобеспечения. Внедрение новых материалов и технологий. Совершенствование систем управления зданием на основе цифровых и информационных технологий.

Предполагаемые основные результаты обучения соответствуют выше предусмотренным целям.

Конспект лекции и раздаточные материалы

Все материалы, видео, калькуляторы и программное обеспечение лучших университетов мира с открытым кодом вы можете найти по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTUTU.

9.1 Основные тенденции в развитии систем жизнеобеспечения зданий

Новый век ставит перед инженерным сообществом новые задачи. Если ключевыми вопросами инженерных систем конца прошлого столетия были энергосбережение и качество микроклимата, то в начале XXI века, при сохранении прежних требований, акцент делается на устойчивости среды обитания [51]. Современные инженерные системы должны не только быть энергоэффективными, но и соответствовать принципам устойчивости, в частности не вредить экологии и в максимальной мере использовать возобновляемые источники энергии. В этой связи изменились и требования к проектировщикам. Они обязаны понимать глобальное воздействие проекта на окружающую среду в течение всего жизненного цикла здания, быть готовы вести диалог и давать рекомендации заказчику, архитектору и другим членам проектной команды. Термин «устойчивость» стал ключевым для проектирования систем ОВК в XXI веке.

Указанные цели подразумевают выбросы без возмущающих воздействий на окружающую среду, что может быть достигнуто путем использования только возобновляемых источников энергии для нужд здания и его обитателей. В соответствии с существующими методами экономических расчетов, такие системы являются более дорогими, они применяются, если ставится условие создания "энергоэкономичного здания".

В этом случае технология создания систем микроклимата должна предусматривать:

• Использование средств "строительной теплофизики".

• Повышенные требования к системе автоматики - отслеживание состояния воздушной среды и оперативное управление системой микроклимата в соответствии с потребностями пользователей. При этом уже давно ощущается необходимость беспроводных датчиков.

• Теплоутилизирующее оборудование в комплексе с расширением использования низкопотенциальных энергоресурсов.

Обычные теплоутилизаторы являются весьма полезными устройствами, а добавление функции влагообмена приведет к конструктивному упрощению системы, сведет к минимуму

или вообще устранит необходимость СКВ в зимнем режиме нагрева с увлажнением и снизит продолжительность работы в летнем режиме с охлаждением и осушением. Энтальпийные теплообменники, использующие цеолит как "молекулярное сито", могут служить примером такой технологии; они обладают дополнительным преимуществом - не переносят в приточный воздух бактериологические загрязнения и CO_2.

Использование низкопотенциальных энергоресурсов для нагрева или охлаждения обычно связано с необходимостью большой поверхности теплообмена. Целесообразная область применения этого - здания со встроенными в стены греющими трубами или панелями. При этом стена здания является естественным аккумулятором теплоты, и это свойство может быть усилено путем использования соответствующих материалов [52] или встраивания панелей с газожидкостным наполнением (аккумуляция теплоты происходит при изменении агрегатного состояния наполнителя).

• Применение устройств "статического нагрева и охлаждения", таких как "охлаждаемые потолки и балки" и "охлаждающие/греющие панели".

В этом случае имеет место лучистый обогрев или охлаждение, способствующий повышению комфорта, так как в теплообмене человека с окружающей средой преобладает лучистая составляющая. Такие системы в наибольшей степени приспособлены для использования низкопотенциальных энергоресурсов и природных источников тепла и холода, их перспективность не вызывает сомнений.

• Развитие систем с применением природных ресурсов теплоты и холода, которое приведет к активной разработке этих ресурсов.

Задачей специалистов становится обоснование применения таких ресурсов с экологической точки зрения, следует показать их надежность и отсутствие побочных эффектов [50].

Примером указанной технологии может служить система охлаждения и обогрева здания с использованием теплоты грунта, успешно применяемая в Европе и США.

• Учет фактора качества воздуха (как наружного, так и внутреннего); его влияние на здоровье людей и связанные с этим затраты иллюстрируются таблицей.

Системы вентиляции зданий могут быть усовершенствованы различными способами. Улучшить качество воздуха можно за счет повышения "эффективности" вентиляции. Подача свежего воздуха непосредственно в зону дыхания человека и удаление отработанного воздуха аналогичным образом могут обеспечить "бесконечно большую" эффективность вентиляции, в то время как обычная вентиляция, основанная на разбавлении вредностей, позволяет достигать значения эффективности не более 1 (см. п. 4). Таким образом, резервы усовершенствования систем вентиляции очень велики и не требуют больших затрат энергии. Здесь также имеется перспектива для применения энтальпийных теплообменников и средств регулирования "по требованию пользователей".

Становятся вполне очевидными преимущества глубокой очистки воздуха, позволяющей добиться удаления мельчайших взвешенных частиц, бактерий, вирусов и запахов [54]. По стандартам IAQ наиболее важным показателем, по-видимому, останется норма подачи свежего наружного воздуха.

• Термически адаптируемые материалы для наружных стен и кровли.

Это уже вторжение в традиционную сферу деятельности архитекторов, однако, прогресс в этой области становится нашей задачей. В настоящее время уже известен материал с такими свойствами: "Остекление с заливкой" - прозрачная (или, если желательно, окрашенная) жидкость, обладающая свойствами поглощения инфракрасного (и, возможно, ультрафиолетового) излучения, заполняет пространство между слоями остекления. Дневной свет проходит свободно, а тепловое излучение поглощается и аккумулируется жидкостью и впоследствии может быть утилизировано.

Энергоаккумулирующие материалы с изменением агрегатного состояния (PCM) - материалы, способные аккумулировать теплоту или холод в процессе фазового перехода в некотором рабочем диапазоне температур. Это позволяет системе приводить в соответствие текущие потребности пользователя и располагаемые возможности, что особенно важно для возобновляемых природных энергоресурсов.

• Материалы с переменным термическим сопротивлением - уже имеется ясное представление о том, какими они должны быть; их создание в ближайшем будущем не вызывает сомнений.

Дальнейшее развитие и переход к преимущественному использованию возобновляемых источников энергии.

В настоящее время полное снабжение энергией от возобновляемых источников закладывается в проекты для крупных зданий или небольших населенных пунктов. Кроме того, некоторые энергетические компании также используют возобновляемые неядерные энергоресурсы. Они вкладывают дополнительные средства с целью более широкого распространения таких источников энергии. Каким бы способом не происходило внедрение возобновляемых энергоресурсов, дополнительные ассигнования на них окупаются за счет повышения энергоэффективности зданий.

9.2 Климатические и экологические изменения в окружающей среде и их влияние на системы жизнеобеспечения

Изменение климата в большой степени связано с высоким теплопотреблением зданий, использующих на сегодняшний день почти половину всей вырабатываемой энергии. В связи с этим одной из основных задач ближайшего времени становится поиск путей по повышению эффективности использования энергии, являющейся важной частью всех экономических систем.

Многочисленными международными комиссиями отмечается, что глобальное потепление, вызванное преимущественно выбросами CO_2, образующимися в основном при сжигании традиционных видов топлива, становится в ближайшем будущем главной проблемой для человечества, более актуальной, чем безработица и терроризм. На саммите G8, который прошел в Берлине в июне 2014 года, обсуждался вопрос стабилизации климата на планете. Все участники саммита пришли к единому решению, что к 2050 году выбросы парниковых газов в атмосферу нужно снизить в два раза. Только так можно остановить увеличение температуры Земли в пределах 2 °С.

Международным энергетическим агентством (МЭА) были разработаны прогнозы выбросов CO_2 на ближайшие десятилетия. Особое беспокойство вызвало сочетание двух тенденций: резкого повышения цен на нефть и газ и рост выбросов CO_2, которые за последние 20 лет увеличились в мире более чем на 20 %, в основном, за счет роста потребления энергии. Преодолеть обе тенденции можно только с помощью новой энергетической и климатической

политики, внедрения новых эффективных технологий и более рационального использования уже имеющегося запаса топлива.

Представленные МЭА альтернативные сценарии развития мировой энергетики на период до 2050 года можно разделить на три основные группы:

1. Базовый сценарий: развитие будет продолжаться в соответствии с существующими тенденциями и при сохранении нынешних темпов повышения энергоэффективности и технического прогресса, что приведет к увеличению потребления энергии и выбросов CO_2 к 2050 году более чем в два раза.

2. Сценарии ускоренного развития технологий, где рассматриваются эффекты ускоренного внедрения и массового использования четырех видов энергетических и климатических технологий:

– энергоэффективность в сфере конечного потребления энергии (энергосбережение);

– использование возобновляемых источников энергии;

– развитие атомной энергетики;

– улавливание и захоронение CO_2.

В этих сценариях предполагается, что спрос на энергию не ограничивается, и ископаемое топливо будет обеспечивать до 70 % мировых потребностей в энергоресурсах в 2050 году.

3. Сценарий «Технологии плюс», где заложены наиболее оптимистические варианты из сценариев ускоренного развития технологий.

Согласно всем сценариям ускоренного развития, необходимо радикально обновить технологическую базу глобальной экономики. Рассмотрим последние исследования технологического прогресса в основных секторах экономики и эффект от энергетических и климатических технологий.

Распределение произведенной энергии в развитых странах можно приблизительно поделить по основным потребителям следующим образом: обеспечение бытового сектора энергией – 40 %, из которых 85 % идет на отопление и 15 % составляет электроэнергия, транспорт[4] и промышленность потребляют примерно поровну энергии – по 30 %.

В промышленном и бытовом секторах, учитывая, что в ближайшие пятьдесят лет сохранится ведущая роль ископаемого топлива и традиционных технологий, можно получить улучшение путем повышения КПД генерирующих и отопительных установок, совместного сжигания угля и биомассы, добавки биогаза к природному газу, замены угольного топлива на газовое и т. п. Отметим некоторые перспективные технологии, позволяющие более эффективно использовать энергию: газовые технологии – на основе комбинированного парогазового цикла (КПД можно довести до 60 % за счет повышения температуры пламени и давления газа, а также благодаря более сложным паровым циклам); новые угольные технологии – угольные установки с паровым циклом со сверхкритическими параметрами пара (до 700 °С и 37,5 МПа) и применением циркулирующего кипящего слоя и КПД выше 50 % и т. п.; когенерация электроэнергии, теплоты и холода, позволяющая значительно увеличить энергоэффективность традиционных технологий; топливные элементы – прямое преобразование химической энергии топлива в электрическую в присутствии катализатора (КПД 85 % и более); мини- и микро-ТЭЦ – децентрализованные полуавтономные системы энергоснабжения с КПД, превышающим 75 %, и т. д.

Область, где можно резко снизить объемы потребляемого топлива и, как следствие, расход энергии и объемы выбросов – это существующие и новые здания, для этого необходимо улучшить теплоизоляцию и установить более эффективные отопительные системы, например, газовые конденсационные котлы, КПД которых достигает 95 %. Здания с очень низким энергопотреблением или даже с нулевым уже не являются мечтой – в Германии и Австрии более 6 000 зданий, потребляющих 120 кВт/м^2 в год первичной энергии, были классифицированы как «пассивные» здания. Очевидно, что для достижения такого уровня многим странам, в том числе и России, потребуется более тщательный подход в разработке действенной политики, которая должна исходить из того, что повышение эффективности потребления энергии в новых и существующих зданиях может ограничить незащищенность инфраструктуры от риска прекращения энергоснабжения и, кроме того, может продлить экономически и экологически оправданную разработку существующих традиционных энергетических запасов.

Общий эффект по снижению выбросов CO_2 от применения энергосберегающих технологий составит по данным МЭА 45 % при условии воплощения наиболее оптимистичного сценария ускоренного развития технологий, т. е. при одновременном внедрении повышения энергоэффективности в сфере конечного потребления энергии, использования возобновляемых источников энергии, развития атомной энергетики и улавливания и захоронения CO_2.

На сегодняшний день технологии использования возобновляемых источников энергии достаточно хорошо известны: ветро- и гидроэнергетические установки, сжигание древесной и прочей биомассы, геотермальные и приливные технологии, тепловые и фотоэлектрические гелиоустановки и т. п. Одни из них более или менее конкурентоспособны (ветроэнергетические установки), другие находятся на стадии технических разработок, например, органические фотоэлементы на основе нанотехнологий. При условии более активного внедрения использования возобновляемых источников энергии, в 2050 году за счет ветровой энергетики выбросы CO_2 будут снижены на 1,3 млрд т/год, а за счет гидроэнергии и сжигания биомассы – по 0,5 млрд т/год. Для стран Северной Европы и для России, вероятно, технологически наиболее перспективным источником является сжигание древесной биомассы. По предварительным подсчетам сжигание биомассы к 2050 году может покрывать 15 % энергопотребления, при этом основной эффект достигается за счет децентрализованной энергетики. Немаловажную роль для бытового сектора экономики может играть использование солнечной радиации (солнечные коллекторы, фотоэлектричество) и низкопотенциальной энергии Земли (тепловые насосы).

Технологии улавливания и хранения CO_2 могут быть реализованы в случае, когда нет реальных возможностей радикально сократить масштабы сжигания углеводородного топлива. Захоронение CO_2 не экономит топливо и не содействует решению иных задач, кроме проблемы изменения климата. Технология включает улавливание и сепарирование CO_2, транспортировку и собственно закачивание и хранение. В принципе, ни один из компонентов не связан с разработкой каких-то новых технологических решений, но долгосрочное захоронение огромных объемов – задача недешевая и энергоемкая.

На первое место по решению вопросов снижения выбросов CO_2 выходят энергоэффективность и энергосбережение, использование биомассы и других видов биотоплива. При любом сценарии

развития энергосбережение – повышение эффективности потребления энергии – является приоритетным направлением, наиболее быстро выполнимым и позволяющим получить максимальный эффект в решении проблемы изменения климата.

По какому бы пути развития человечество не пошло, необходимо уже сейчас начинать принимать серьезные меры, т. к. техногенные факторы сокращают естественные сроки природных климатических циклов, к тому же на сегодняшний день имеются значительные преимущества с точки зрения экономических затрат по сравнению с затратами в будущем. Если не начать предпринимать меры в кратчайшие сроки, через 15 лет мировой валовой продукт может составлять лишь половину своего потенциала. Согласно некоторым оценкам (например, принимающим во внимание риски дополнительных выбросов от таяния вечной мерзлоты), затраты в связи с изменением климата могут составить 20 % мирового валового продукта ежегодно. С другой стороны, если начать действовать уже сегодня, затраты на меры по снижению уровня выбросов парниковых газов составят 1 % глобального ВВП.

У человечества нет других вариантов поддержания нормальных жизненных условий, как только постепенно перейти к жизнеподдерживающим энергетическим системам, и скорейшая разработка технологий применения возобновляемых источников энергии является существенным фактором этого перехода. Однако еще длительное время будут применяться традиционные виды топлива, поэтому важна дальнейшая разработка и применение эффективных и экологически безопасных систем, использующих такие ресурсы.

9.3 Внедрение новых материалов и технологий

Одним из действенных способов уменьшить влияние человека на природу является увеличение эффективности использования энергии - энергосберегающие технологии. В самом деле, современная энергетика, основанная в первую очередь на использовании ископаемых видов топлива (нефть, газ, уголь), оказывает наиболее массивное воздействие на окружающую среду. Начиная от добычи, переработки и транспортировки энергоресурсов и заканчивая их сжиганием для получения тепла и электроэнергии - все это весьма пагубно отражается на экологическом балансе планеты.

Основная роль в увеличении эффективности использования энергии принадлежит современным энергосберегающим технологиям [50]. После энергетического кризиса 70-х годов XX века именно они стали приоритетными в развитии экономики Западной Европы, а после начала рыночных реформ - и в нашей стране. При этом их внедрение, помимо очевидных экологических плюсов, несет вполне реальные выгоды - уменьшение расходов, связанных с энергетическими затратами.

Энергосбережение сейчас становится одним из приоритетов политики любой компании, работающей в сфере производства или сервиса. И дело здесь даже не столько в экологических требованиях, сколько во вполне прагматическом экономическом факторе.

По данным европейских экспертов, стоимость электроэнергии, потребляемой ежегодно средним двигателем в промышленности, почти в 5 раз превосходит его собственную стоимость. В связи с этим очевидна необходимость применения энергосберегающих технологий и оптимизации оборудования с использованием электроприводов.

Комплексно подойти к решению этой проблемы предлагает, например, японский концерн Omron, специализирующийся на выпуске продукции для автоматизации технологических и производственных процессов.

В частности, хорошо себя зарекомендовали частотно-регулируемые электроприводы со встроенными функциями оптимизации энергопотребления. Суть заключается в гибком изменении частоты их вращения в зависимости от реальной нагрузки, что позволяет сэкономить до 30-50% потребляемой электроэнергии. При этом зачастую не требуется замена стандартного электродвигателя, что особенно актуально при модернизации производств.

Режим энергосбережения особенно актуален для механизмов, которые часть времени работают с пониженной нагрузкой, - конвейеры, насосы, вентиляторы и т.п. Кроме снижения расхода электроэнергии, экономический эффект от применения частотно-регулируемых электроприводов достигается путем увеличения ресурса работы электротехнического и механического оборудования, что становится дополнительным плюсом.

Такие энергосберегающие электроприводы и средства автоматизации могут быть внедрены на большинстве промышленных предприятий и в сфере ЖКХ: от лифтов и вентиляционных установок до автоматизации предприятий, где нерациональный расход электроэнергии связан с наличием морально и физически устаревшего оборудования. По различным источникам, в европейских странах до 80% запускаемых в эксплуатацию электроприводов уже являются регулируемыми. В нашей стране пока их доля гораздо ниже, а необходимость использования энергосберегающих технологий все более актуальна.

Существуют и другие пути рациональнее использовать электроэнергию, причем не только на производстве, но и в быту. Так, уже давно известны "умные" системы освещения, широко внедряемые в странах Западной Европы, США и особенно в Японии. Интерес к ним не удивителен, учитывая, что, в зависимости от назначения помещений, на освещение может расходоваться до 60% общего электропотребления жилых и офисных зданий.

Энергосберегающий эффект основан на том, что свет включается автоматически, именно когда он нужен. Выключатель имеет оптический датчик и микрофон. Днем, при высоком уровне освещенности, освещение отключено. При наступлении сумерек происходит активация микрофона. Если в радиусе до 5 м возникает шум (например, шаги или звук открываемой двери), свет автоматически включается и горит, пока человек находится в помещении.

Разумеется, такие системы освещения были бы не полными без использования энергосберегающих ламп. Их можно разделить на две группы по сферам использования: мощные энергосберегающие лампы больших размеров, предназначенные для освещения офисов, торговых площадок, кафе, и компактные лампы со стандартными цоколями для использования в квартирах. Экономия электроэнергии с применением таких ламп достигает 80%, не говоря уже о том, что по сравнению с обычными лампами их время жизни во много раз больше.

К числу наиболее "прожорливого" оборудования, используемого в жилых и офисных помещениях, относится практически вся климатическая техника, прежде всего, кондиционеры [54].

Признанными авторитетами в области снижения энергоёмкости систем вентиляции и кондиционирования являются компании Hoval (Лихтенштейн) и Dantherm (Дания). В своей

продукции применяют новейшие технологии и конструкторские разработки, позволяющие уменьшить энергозатраты при сохранении высокой производительности.

Например, отличительной особенностью агрегатов производства Hoval является использование патентованного воздухораспределителя, обеспечивающего формирование приточной струи с дальнобойностью от 3,5 до 18 м за счёт автоматически регулируемого положения лопаток, закручивающих воздушный поток. Основным преимуществом такой конструкции является высокая энергетическая эффективность благодаря улучшенным показателям организации воздухообмена, рециркуляции воздуха и рекуперации тепла.

Какими же путями можно повысить энергоэффективность в коммунальной сфере? По мнению специалистов компании ROCKWOOL, мирового лидера в области производства негорючей теплоизоляции, следует выделить три основных направления энергосбережения.

Во-первых, это снижение потерь на этапе выработки и транспортировки тепла - то есть повышение эффективности работы ТЭС, модернизация ЦТП с заменой неэкономичного оборудования, применение долговечных теплоизоляционных материалов при прокладке и модернизации тепловых сетей.

Во-вторых, повышение энергоэффективности зданий за счет комплексного применения теплоизоляционных решений для наружных ограждающих конструкций (в первую очередь, фасадов и кровель). В частности, штукатурные системы утепления фасадов ROCKFACADE позволяют сократить теплопотери через внешние стены не менее чем в два раза.

И, в-третьих, использование радиаторов отопления с автоматической регуляцией и систем вентиляции с функции рекуперации тепла [53].

В последние годы все энергоэффективные технологии объединяются в концепцию так называемого пассивного дома, то есть жилища, максимально дружелюбного окружающей среде. В Западной Европе сейчас строятся пассивные дома с энергопотреблением не более 15 Квт, ч/м^3 год, что более чем в 10 раз экономичнее типовой отечественной "хрущевки". Можно сказать, что такие здания - это будущее мирового строительства, ведь они фактически отапливаются за счет тепла, выделяемого людьми и электроприборами.

Таким образом, энергосберегающие технологии позволяют решить сразу несколько задач: сэкономить существенную часть энергоресурсов, решить проблемы отечественного ЖКХ, повысить эффективность производства и уменьшить нагрузку на окружающую среду.

Энергосберегающие материалы

Сегодня в России, да и во всем мире, наблюдается спрос на энергосберегающие материалы, обусловленный ростом цен на энергоносители. Используются различные материалы для утепления стен, кровли и перекрытий. Рассмотрим основные из них.

Минераловатные материалы - это теплоизоляционные материалы, которые изготовлены из камня и шлаков. Данные материалы представляют собой вату, сырьем для которой служат базальтовые породы, известняк, доломит и прочие. Шлаковату производят из отработки изделий цветной и черной металлургии. Данные материалы обладают рядом неоспоримых качеств - высокая тепло и звукоизоляция, устойчивость к воздействию влаги, тепла, жидкостей. Они негорючие, легки, экологичны. Монтаж таких материалов довольно прост, так как они легко поддаются изменению форм и размеров. Материалы на основе минеральной ваты используются в противопожарных системах.

Данные изделия часто используются при создании фасадных систем утепления как обычная мокрая штукатурка, а также могут служить в качестве навесного теплоизоляционного слоя в фасадах и стенах. Применяются минеральноватные материалы при утеплении как внутренних, так и внешних стен.

Материалы для теплоизоляции из стекловаты имеют схожие свойства с минералованными изделиями, но имеется и ряд различий. Из-за того, что волокна стекла более длинные и толстые, стекловата более упругая и прочная, она легко поддается деформации и принимает более ощутимые формы. Данный вид изоляции так же обладает высокими звукоизоляционными свойствами. Изделия из стекловолокна не подвержены влиянию агрессивных сред, химических веществ и микроорганизмов, поэтому срок их службы практически неограничен. Стекловата так же негорюча. Стекловата хорошо подойдет для внутреннего утепления любых конструкций.

Стекловолокно – это более упругий и эластичный материал, чем стекловата. Он также обладает всеми положительными качествами стекловаты. На основе стекловолокна был создан утеплительный материал Izover КТ11, который может быть использован для широкого применения в различных типах зданий. Данным материалом можно утеплять как кирпичные и деревянные, так и бетонные стены. Упаковка данного материала позволяет его транспортировку и хранения без особых проблем.

Еще одним современным теплоизоляционным материалом является пенополистирол экструдированный. Плиты из пенополистирола обладают низкой теплопроводностью, причем довольно высокой плотностью. Данный факт позволяет применять этот материал не только в качестве утеплителя, но и как конструктивный материал, из которого может быть составлены часть стены или потолка. Так же пенополистирол обладает низкой гигроскопичностью, то есть не впитывает влагу.

Пенополистирол, который выпускается под торговой маркой URSA, трудновоспламеняем и обладает хорошими звукоизоляционными качествами.

Вспененный полиэтилен используется для тепло-, гидро - и звукоизоляции строительных и промышленных объектов. Продукция выпускается в виде рулонов, матов, жгутов и полых труб стандартных толщин и диаметров. Например, изоляция для труб Стенофлекс-400 (Россия) и Тубекс (Чехия) представляет собой оболочки с продольным разрезом, которые одеваются поверх труб и склеиваются специальным скотчем, клеем или соединяются скобами. Эти материалы легко режутся, поэтому с помощью специальных шаблонов можно, даже не имея специальных навыков, без особого труда сделать изоляцию на колена, вентили, ответвления.

Использование материалов на вспененной основе дает комплексную защиту инженерных сетей. Исходя из параметров изоляционных материалов, можно оценить экономическую целесообразность использования того или иного типа изоляции в различных видах инженерных систем.

В системах горячего водоснабжения с температурой носителя до 90°С хорошо зарекомендовала себя изоляция на основе вспененного полиэтилена. Толщину стенок можно рассчитать при помощи компьютерных программ, предоставляемых производителями изоляции.

При температуре носителя свыше 90°С необходимо использовать изоляцию на основе вспененного каучука, поскольку полиэтилен не способен долго выдерживать такие температурные режимы без потери свойств.

В системах холодного водоснабжения основной проблемой становится защита труб от конденсата. С этим хорошо справляется каучуковая изоляция, но с экономической точки зрения удобнее использовать изоляцию из пенополиэтилена с фольгированным слоем. Фольга служит отличным паробарьером.

Для изоляции трубопроводов и воздуховодов систем кондиционирования применяется вспененный каучук или отражающая изоляция. Установка этих материалов позволяет повысить эффективность системы, увеличить ее долговечность и снизить уровень шума.

В системах холодоснабжения и особенно в криогенных системах необходимо применение исключительно специализированных марок вспененного каучука, способных выдерживать низкие и сверхнизкие температуры. Это обусловлено их высоким сопротивлением диффузии водяного пара.

Очевидно в ближайшие два-три десятилетия, на стыке периодов исчерпания традиционных и недостаточного развития новых энергоисточников, возникнет дефицит энергоресурсов и резкое их удорожание, и задача экономии энергоресурсов станет приоритетной.

В связи с этим, в сфере создания, модернизации и эксплуатации строительной продукции доминирующим фактором станет обеспечение минимальных теплопотерь в зданиях за счет разработки и использования энергоэкономичных объемно-планировочных и конструктивных решений, новых с высоким коэффициентом сопротивления теплопередаче строительных материалов и изделий, энергоэффективного оборудования и регулируемых, в том числе нетрадиционных, систем энергообеспечения. Приоритетное направление развития строительных материалов, изделий и оборудования будет принадлежать энергосберегающим видам [52].

9.4 Совершенствование систем управления зданием на основе цифровых и информационных технологий.

Что понимается под управлением зданием? Это возможность визуализации, контроля, получения отчетности и управления всеми аспектами здания, включая энергопотребление, ОВК, освещение (как внутри, так и снаружи здания, например, освещение вывесок на автозаправочных станциях или табличек с указанием запасного выхода), электроснабжение, устройства управления процессами, безопасность, контроль доступа, водо- и газоснабжение, орошение, качество внутреннего воздуха, звуковое окружение и т. д. – и все это с одного пользовательского интерфейса [55]. Притом управление типа TFC (Total Facility Control) может применяться также к системам и объектам, которые обычно не ассоциируются со зданием, например, системы канализации или уличного освещения, управление ТЭЦ и метеостанциями, осуществление слежения за ресурсами.

Во всем мире энергетическая политика требует улучшения управления и повышения энергетического контроля строительных объектов посредством создания стимулов к сокращению использования, более тщательной переработке и вторичному применению топливно-энергетических ресурсов. Для зданий понятие «энергосбережение» означает ограничение потребления энергии, оптимизирование перераспределения нагрузок и ресурсов.

Каждый такой процесс начинается с одной и той же исходной позиции: что намерены делать? Затем следует оценка возможностей оптимизации. К сожалению, большинство предприятий имеет довольно ограниченное представление о своем энергопотреблении, поскольку не владеет полной объективной информацией о работе всех инженерных систем здания.

Анализируя расходы на протяжении всего жизненного цикла здания (рисунок), можно сделать вывод, что эксплуатационные затраты занимают наибольшую часть общих расходов. Расходы же на автоматизацию здания занимают лишь 1–2 % от общих расходов на строительство, но позволяют сократить эксплуатационные затраты по меньшей мере на 20 %.

Рис. 9.1 Анализ расходов на протяжении всего жизненного цикла здания
[Полное управление зданием и его влияние на энергосбережение / Р. Бернстин// ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ №4'2008 / с сайта http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4021]

Рынок нуждается в предприятиях, которые занимались бы и элементами управления, и пользовательскими интерфейсами, и IT-сетями, разбирались бы в системной архитектуре, в проектировании инженерных систем и всех подсистем, существующих в здании. Такие организации становятся партнерами и представителями интересов владельцев зданий, оказывая поддержку в работе с поставщиками и инсталляторами оборудования и отслеживая точное соблюдение всех установленных норм и стандартов и стопроцентное использование всех возможных преимуществ от внедрения систем управления в общую конструкцию здания [56].

Исследования показали, что в Европейском Союзе на сектор зданий приходится 40 % общего энергопотребления. Из этого следует, что здания имеют огромный потенциал в данной области и тем самым могут сыграть ключевую роль в реализации намерения европейских стран сократить к 2020 году выбросы углекислого газа на 40 %. Тем не менее, число зданий, принимающих на данный момент меры по сокращению энергопотребления, могло бы быть и больше.

Здания, получившие сертификаты экологических стандартов BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) и LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), являются важным этапом на пути к общему осознанию значения энергоэффективности при разработке проекта. К сожалению, основная часть таких проектов касается только новостроек. Что же делать с уже существующими зданиями, которые срочно нуждаются в

оптимизации энергопотребления? Необходим более эффективный путь модернизации, управления и улучшения уже таких строительных объектов. Потребность в наличии заранее продуманной стратегии, как сберегать и эффективно использовать полученную энергию, все более усиливается. Уже создан ряд организаций, активно участвующих в процессе разработки и продвижения технологий и стандартов, способствующих более широкому применению энергоэффективных и энергосберегающих систем управления [57].

Системные стандарты для АСУ зданий

Основные затраты связаны с усилиями, направленными на создание полномасштабной автоматической системы управления зданием. Стоимость системы находится в прямой зависимости от типа и количества выполняемых функций. Точки ввода/вывода обеспечивают только прием или подачу сигналов. Чтобы избежать ненужного риска на этапах заключения договора, его выполнения и оплаты, необходимо пользоваться стандартной терминологией. Свободная и честная конкуренция между подрядчиками, в том числе внедряющими новые решения, возможна только в случае использования единого языка для всех участников. В CEN/TC247WG3 разработан ряд стандартов для общепонятного описания оборудования и его функциональности. Такое описание функций помогает, в том числе при системной интеграции, определить задачи каждой системы и подсчитать затраты на установку систем. Эта работа была принята соответствующей комиссией ISO–TC205.

Коммуникационные стандарты для АСУ зданий

Стандартные коммуникационные протоколы, такие как **BACnet**, **EIB/KNX**, **LONMARK** и др., и стандартные интерфейсы типа OPC (OLE для контроля технологических процессов) позволяют обеспечить согласованный обмен информацией между устройствами, программами и системами разных производителей. Коммуникационные стандарты являются необходимым предварительным условием для эффективной и недорогой интеграции подсистем от различных поставщиков.

Хотелось бы остановиться на некоторых концептуальных моментах, которые следует принимать во внимание при выборе протокола для АСУ зданий [57].

Данные. Обработка как простых, так и сложных структур данных, необходимых для текущей работы, а именно:

- Обмен данными между устройствами.
- Мониторинг и управление вводом, выводом, настройкой, аварийной сигнализацией.
- Планирование по времени.
- Группировка/перегруппировка в режиме on-line.
- Отслеживание направления изменения данных /ведение архива.
- Резервное копирование/восстановление.

Доступ к данным должен быть объектно-ориентированным.

Службы. Наличие служб для старта системы, работы в сети и резервного копирования/восстановления.

Линии связи. Возможность независимой работы с различными типами линий связи, в соответствии с современными сетевыми стандартами и кабельными системами, используемыми в IT&CT.

Развитие. Наличие возможности расширения для последующих обновлений.

Европейский комитет по стандартизации должен был рассмотреть и проанализировать более 100 пунктов для отбора протоколов, рекомендуемых в качестве стандартных.

LonMark

Мы говорим о LonMark, так как протокол LonTalk® является собственным продуктом корпорации Echelon Inc и входит в состав их семейства программных продуктов LonWorks®. Предопределенные шаблоны LonMark обеспечивают функциональность для устройств, устанавливаемых на объекте: обмен данными и взаимодействие между устройствами на одной сборной шине, мониторинг текущего состояния параметров, таких как температура и простые функции управления, например, включить и выключить свет и т. п. Устройство для выполнения этих функций выполнено на одном чипе (транссиверы Neuron® и LonWorks® работают с различными типами линий связи, в том числе с недорогими кабелями кат. 4.) Кроме того, имеется сравнительно большое число изготовителей (около 180), среди которых можно выбрать поставщика для оборудования зданий, но возможности продукта с точки зрения взаимодействия с другими должны быть проверены системным интегратором. Все это позволяет считать продукты на базе LonWorks перспективными для использования в местных сетях, на уровне объекта. Но «обычные» датчики и регуляторы дешевле – даже если не принимать в расчет стоимость всей системы и ее проектирования.

EIB/KONNEX

Применение стандартного и международно признанного протокола для конкретного объекта еще не гарантирует, что устройство изготовителя *А* может быть заменено устройством изготовителя *Б.* Для этого необходима дальнейшая стандартизация конструкции и функций устройств. Шаг в этом направлении был сделан в концепции EIB для применения в зданиях. Каждое из более 5 000 устройств EIB поставляется вместе с дискетой, содержащей соответствующие данные для параметризации, которые могут быть использованы нейтральным программным средством ETS фирмы EIBA (продано 11 000 лицензий) – в комбинации, определяемой пользователем (EIBA – Европейская ассоциация по монтажу каналов связи; Брюссель, Бельгия). Работают 65 сертифицированных учебных центров и 15 национальных организаций EIBA. По всему миру выполнено более 70 000 проектов.

В настоящее время рынок предъявляет такое разнообразие вариантов использования, что всеобъемлющая процедура тестирования едва ли экономически оправдана. Проводить тестирование проще и дешевле для менее сложных устройств (имеются в виду устройства EIB), уровень функциональности которых определен через «межсетевые стандарты». Функциональные блоки EIB не только описывают семантику функций на английском языке, но также определяют доступ к службам, ассоциированным с этими функциями. При этом используются начальные уставки регулирующих устройств.

Коммуникационный протокол EIB входит в состав стандарта ANCI EIA 776.1-5 и включает CEBus – трассировщик EIB.

ASHRAE (Американское общество инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха) присвоило EIB уникальный идентификатор (ID) поставщика для **BACnet**. Этот ID поставщика должен быть использован при встраивании устройств EIB в **BACnet**. В документе ISO/TC205 WG3, приложение H.5 (проектирование АСУ зданий), описано распределение в объектной модели **BACnet** функциональных блоков EIB, которые входят в

спецификацию объектов интерфейса межсетевой модели EIS (межсетевой стандарт EIBA), согласно определению EIBA.

В соответствии с проектом слияния три европейские ассоциации EIBA, BCI, EHSA в марте 2001 года объединились в ассоциацию Konnex, а протоколы «EIB», «BatBus» и «ENS» превратились в протокол «KNX» (Konnex).

BACnet

В большинстве других протоколов с целью обеспечения открытости и совместимости некоторая часть функций АСУ зданий опущена. Это такие функции, которые необходимы для развитых систем управления зданием: «выявление тенденций/архив», «планировка по времени», «резервное копирование/восстановление», «телеуправление», «распределение аварийных сигналов» и др. **BACnet** решает все эти задачи. Кроме того, **BACnet** поддерживает, с достаточной гибкостью, современную сетевую технологию IT, например, Ethernet и IP (Интернет -протокол), так как это необходимо в настоящее время в условиях широкого использования информационных технологий.

Таким образом, **BACnet** является наилучшим выбором для систем верхнего уровня, которым требуется широкая функциональность и полная IT-совместимость.

ЕВРОПЕЙСКАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ

После того как мы проанализировали основные положения, на основе которых принимается решение о выборе того или иного стандартного протокола для АСУ здания, надо посмотреть на положение дел со стандартизацией в Европе, так как здесь открытые коммуникационные системы появились раньше, чем где-либо еще. Внедрение началось в Германии в 1984 году с протокола IBM FACN, за ним последовал FND в 1987 году.

Как мы видим, здесь использован не единственный коммуникационный стандарт – для каждого «уровня функциональности» системы есть набор различных стандартных протоколов с разной функциональностью и своими преимуществами. Поскольку в начале процесса стандартизации (1990 г.) существовало более 20 различных протоколов, было решено сократить их количество до трех на каждый функциональный уровень. На рисунке вверху показан результат если не компромисса, то консенсуса. К счастью, экспериментальные стандарты принимаются не более чем на 5 лет, затем они должны пересматриваться. FND был отменен как стандарт в 2001 году, но он все еще существует как «частный» документ. Эксперты в CEN решили, что отношение к остальным протоколам будет складываться в зависимости от отношения к ним на рынке.

BACnet является единственным протоколом, который закрывает все три уровня функциональности (установка по месту, автоматизация, управление) открытым, стандартизированным способом, поддерживая различные методы передачи данных. Это дает дополнительные преимущества заказчикам и системным интеграторам: поскольку не требуется перекодировка протоколов, мы получаем более высокую функциональность при меньших затратах (не нужны шлюзы) – два верхних системных уровня могут быть объединены, возможно также использование более сложных местных устройств.

На уровне объекта (местные устройства) потенциалом развития обладают как **EIB/KNX**, так и **LonMark**. **EIB**, **BATibus** и **EHS** близки к тому, чтобы превратиться в единый новый стандарт:

KONNEX (**KNX**), **EIBA** присоединилась к ассоциации Konnex, включающей более сотни изготовителей с более чем семью тысячами наименований выпускаемых изделий.

- **LonMark** хорошо приспособлен для применения на уровне объекта, при достаточно сложных местных устройствах и ограниченных требованиях к гибкости компоновки системы.

- **KONNEX** (**KNX**) будет оптимальным для стандартных решений – эффективен по затратам, прост и удобен для монтажа.

Рис. 9.2 Стандартные коммуникационные протоколы для АСУ зданий

[Применение стандартов информационных технологий в индустрии АСУ зданий/ HansR. Kranz//АВОК №4'2002 – с сайта http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1617]

ВЫВОДЫ

- В дальнейшем будут развиваться нейтральные, функционально-ориентированные АСУ зданий, основанные на международных стандартах.

- Частные коммуникационные протоколы утратят значимость.

- В будущем останется ограниченное количество стандартов в области коммуникаций и интерфейсов.

- В качестве протоколов хорошим потенциалом обладают **BACnet**, **EIB/KNX**, **LonMark** , в качестве метода – OPC.

- Веб-технология будет использоваться на уровне эксплуатации.

- Как встроенные серверы, так и серверы приложений будут играть значительную роль для обеспечения распределенной функциональности и управления данными в географически протяженных сетях.

- Сетевые технологии с очень хорошим потенциалом на будущее: HTML, DHTML, XML, SOAP, NET-framework.

- BACnet, OPC и Интернет – это взаимно дополняющие друг друга технологии.

- Распределение функций – наилучшее решение для воспроизведения на каждом уровне.

- Возрастающая интеграция всех технических решений для всех служб здания.

- Решения «под ключ» от одного поставщика.

- Провайдеры серверов приложений будут предлагать новые пути оптимизации эксплуатации и управления зданием.

Практические вопросы и решения

1. Назовите наиболее перспективные, на Ваш взгляд, направления развития энергосбережения в зданиях?

2. Какова роль информационных и цифровых технологий в снижении энергопотребления зданием?

3. Как влияют на энергопотребление глобальные климатические и экологические изменения, происходящие в окружающей среде.

Студент может также найти вопросы самоконтроля по видео (см.: электронные бизнес видео) и задачи, которые должны быть решены с помощью калькуляторов (см.: электронные бизнес-калькуляторы) по ссылке: http://www.klgtu.ru/CENEAST/Template_4_Module_Handbook_ Energyefficiency KSTUTU.

Список использованных источников

1. Андрижевский А.А. Энергосбережение и энергетический менеджмент / А.А. Андрижевский, В.И. Володин. – Минск: Высшая школа, 2005. – 144 с.

2. Комолова М.Н.Энергосбережение – решение проблемы изменения климата / М.Н. Комолова //Энергосбережение. – 2007. - №5.

3. Аллард Ф. Политика Европы в области повышения энергетической эффективности зданий / Ф. Аллард, О. Сеппанен // Энергосбережение. -2008.- №6.

4. Сеппанен О. Повышение энергоэффективности. Законодательство ЕС/ О. Сеппанен // Здания высоких технологий. – 2013. С. 11-22.

5. Ван Дейк Д. Европейские стандарты энергоэффективности зданий / Дик ван Дейк // REHVA. - 2011. - № 48 (1).

6. С.В. Пугачев Техническое регулирование в строительстве / Пугачев С.В. // АВОК. – 2012.- №1.

7. Сычев В.В. Дифференциальные уравнения термодинамики / В.В. Сычев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 252 с.

8. Вукалович М.П. Термодинамика: Учебное пособие для вузов / М.П. Вукалович, И.И. Новиков. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.

9. Жуковский В.С. Основы теории теплопередачи / В.С. Жуковский. – Л.: «Энергия», 1969. – 224 с.

10. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В.М. Фокин. – М.: «Издательство Машиностроение – 1», 2006. – 256 с.

11. Фокин В.М. Основы энергосбережения в вопросах теплообмена / В.М. Фокин, Г.П. Бойков, Ю.В. Видин. – М.: «Издательство машиностроение – 1», 2005. – 192 с.

12. Тепломассообмен и теплотехнический эксперимент. Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.

13. Теплотехнический справочник. Т.2 / Под общ. ред. В.Н. Юрьева и П.Д. Лебедева. – М.: Энергия, 1976. – 896 с.

14. Богословский В.Н. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение / В.Н. Богословский, О.Я. Кокорин, Л.В. Петров. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.

15. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: Учебник для вузов / В.Н. Богословский. – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с.

16. Данилов Н.И. Основы энергосбережения. Учебник / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 564 с.

17. Орехов И.И. Абсорбционные преобразователи теплоты / И.И. Орехов, Л.С. Тимофеевский, С.В. Караван. – Л.: Химия, 1989. – 208 с.

18. Ермолаев В.Я. Гидравлические машины (конспект лекций) /В.Я. Ермолаев // Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. – 2008.

19. В. Н. Ануфриев, Н. А. Андреенко Энергосбережение в зданиях. Учебное пособие / В.Н. Ануфриев, Н.А. Андриенко. – Минск: ИП «АЛЬТИОРА – ЖИВЫЕ КРАСКИ». – 2011. – 76 с.

20. Гримитлин А.М.Насосы, вентиляторы, компрессоры в инженерном оборудовании зданий. Учебное пособие. / А.М. Гримитлин , О.П. Иванов, В.А. Пухкал. - С. Петербург: Издательство АВОК Северо-запад. – 2006. – 214 с.

21. Мансуров Основы энергосбережения. Учебно-методическое пособие / В.А. Мансуров. – Минск: БГМУ, 2010. – 79 с.

22. Журба М.Г.Водоснабжение: Проектирование систем и сооружений. Учебник / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. - М.: АСВ, 2007.

23. Пырков В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В.В. Пырков.– К.: II ДП «Такі справи», 2007.– 252 с.

24. Родивилина Т.Ю., Иванов В.М. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. Часть IV. Газоснабжение: Учебное пособие / Т.Ю. Родивилина, В.М. Иванов / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997.

25. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. – С. Петербург: АВОК Северо-запад, 2005. – 214 с.

26. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: “АВОК-ПРЕСС”, 2002. – 194 с.

27. Сотников А. Г. Системы кондиционирования и вентиляции с переменным расходом воздуха / Г.А. Сотников. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1984. - 148 с.

28. Моисеев Н.Н. Математические методы системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981.

29. Сканави А.Н. Отопление: Учебник для вузов / А.Н. Сканави, Л.М. Мохов. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 576 с.

30. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов/ Под общ. ред. О.Л. Данилова, П.А. Костюченко. – Москва, 2006. – 668 с.

31. Теплоэнергоэффективные технологии. Информационный бюллетень № 31998.

32. Евилаков А.И.Энергосбережение в бюджетной сфере. Справочное пособие / А.И. Евилаков, В.М. Кулик, В.Я. Злобинский. – Екатеринбург, 1999 г.

33. (35). Информационный бюллетень теплоэнергоэффективных технологий. – 1998. - № 3.

34. Данилов Н.И. Энергосбережение. Область высокой энергетической эффективности / Н.И. Данилов. – Екатеринбург, 1999 г.

35. Сборник информационных писем-предложений. – Мособлэнергонадзор, УПЦ «Талант», 2000. – 136 с.

36. Филинов В.С. Энергосбережение в системах теплоснабжения зданий / В.С. Филинов. – М.: ГУП «ВИМИ», 2001. – 164 с.

37. Карпис Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха/ Е.Е. Карпис. – М.: Стройиздат, 1988. – 268 с.

38. Ефимов А.Л., Косенков В.И., Яковлев И.В. Промышленные и бытовые системы кондиционирования воздуха: Учебное пособие по курсу «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / Под ред. Ю.М. Павлова. – М.: МЭИ, 1999. – 56 с.

39. Ефимов А.Л., Косенков В.И., Яковлев И.В. Системы кондиционирования воздуха / Под ред. Ю.М. Павлова. – М.: МЭИ, 2002. – 48 с.

40. Горяев А.Б., Данилов О.Л. и др. Энергосбережение в энергетике и технологиях: Энергосбережение в низкотемпературных процессах и технологиях. – М.: МЭИ, 2002. – 48 с.

41. Горяев А.Б., Данилов О.Л. и др. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. Сборник задач. Учебное пособие по курсу «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях». – М.: МЭИ, 2005. – 52 с

42. Данилов О.Л. и др. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. Учебное пособие по курсу «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях». – М.: МЭИ, 2004. – 64 с

43. Аничихин А.Г. Повышение энергетической эффективности количественного регулирования // Арктический СНиП, №17, С.27-32.

44. Кувшинов Ю.Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий / Ю.Я. Кувшинов. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 320 с.

45. T. Hartman. Зонное регулирование микроклимата в зданиях многофункционального назначения [Электронный ресурс] / T. Hartman Электрон. ст. – М. – URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2571, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус. - (Дата обращения: 01.04.2010)

46. Башмаков И.А. Повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения. Часть II. Потенциал и мероприятия энергосбережения в системах теплоснабжения / И.А. Башмаков // Энергосбережение. – 2010. - №3.

47. Григорьев Б.А. Эффективность использования энергоресурсов при обеспечении транспорта газа / Б.А. Григорьев, В.В. Ремизов, А.Д. Седых, А.П. Солодов. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 152 с.

48. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха / А.А. Рымкевич. – М.: Издательство АВОК Северо-Запад, 2003. – 272 с.

49. Железный В.П. Рабочие тела парокомпрессионных холодильных машин: свойства, анализ, применение: моногр. / В.П. Железный, Ю.В. Семенюк. – Одесса: Фенікс, 2012. – 420 с.

50. Г. А. Романов Г.А. Повышение энергоэффективности и перспективы энергоменеджмента в России / Г.А. Романов// Энергосбережение. – 2009. - № 5.

51. Мировые тенденции повышения энергоэффективности зданий // Энергосбережение.- 2012.-№5.

52. Ливчак В.И. Европейская тенденция повышения теплозащиты зданий: как она реализуется в России? / В.И. Ливчак // АВОК. – 2011. - №6.

53. Грановский В.Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы / В.Л. Грановский // АВОК. – 2011. - №8.

54. Грановский В.Л. Энергоэффективные здания – комплексное решение для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения / В.Л. Грановский // АВОК. – 2014. - №4.

55. Бернстин Р. Полное управление зданием и его влияние на энергосбережение / Р. Бернстин // Энергосбережение. – 2008. - №4.

56. Kranz H.R. Применение стандартов информационных технологий в индустрии АСУ зданий / H.R. Kranz // АВОК. – 2002. - №4.

57. Р. В. Царев Комплекс автоматизации инженерных систем зданий на основе открытых протоколов взаимодействия / Царев Р.В. // Энергосбережение. – 2007. - №8.

58. Ren, N. Renewable and Sustainable Energy II : Selected, Peer Reviewed Papers From the 2012 International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2012) June 23-24, Hohhot, China. In Advanced Materials Research.Durnten-Zurich, Switzerland : Trans Tech Publications. 2012.

59. Fanchi, J., Fanchi, C. Energy in the 21st Century. Hackensack, N.J. : World Scientific. 2011, 360 p.

60. Mercier, A., DuBois, E. Energy Recovery. New York : Nova Science Publishers. 2009, 329 p.

61. Brown, A. Powering the Future : The Problems and Possibilities of Green Energy. In Sourcebook on Contemporary Controversies.New York : International Debate Education Association. 2010, 259 p.

62. Gabriel, Mark A. Visions for a Sustainable Energy Future. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2008, 252 p.

63. Sudhakara Reddy, B. Energy Efficiency and Climate Change : Conserving Power for a Sustainable Future. New Delhi : Sage Publications. 2009, 349 p.

64. Bockris, J. Renewable Energies : Feasibility, Time and Cost Options. In Renewable Energy: Research, Development and Policies Series.New York : Nova Science Publishers. 2009, 85 p.

65. Wilson, J., Burgh, G. Energizing Our Future : Rational Choices for the 21st Century. Hoboken, N.J. : Wiley-Interscience. 2008, 390 p.

66. Aalto, P. The EU-Russian Energy Dialogue : Europe's Future Energy Security. In The International Political Economy of New Regionalisms Series.Aldershot, Hampshire, England : Ashgate. 2008, 222 p.

67. Witte, J., Goldthau, A., Global Energy Governance : The New Rules of the Game. Berlin, [Germany] : Global Public Policy Institute. 2010, 372 p.

Справочное издание

А.А. Герасимов, И.С. Александров, П.И. Дорохов

Справочник модуля: Энергоэффективность в инженерных системах

Под редакцией А.А. Герасимова, И.С. Александрова, П.И. Дорохова.

Формат бумаги 60×90/8.
Тираж 200. Заказ № 10753
Типография ООО «ТЭСК»
236006 Россия, г. Калининград, ул. Больничная, 45