

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

**1. Требования к уровню освоения содержания дисциплины**

Изучение дисциплины имеет целью получение знаний об энергоэффективности и энергосбережении в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВ и КВ).

***знать:***

- о понятии энергоэффективности здания и систем ОВ и КВ;
- о действующей в РФ законодательной и нормативной базе, регламентирующей вопросы оценки энергоэффективности и энергосбережения;
- о различных методиках оценки энергоэффективности зданий;
- об энергоэффективных решениях для систем ОВ и КВ;
- об оценке энергетических и других эксплуатационных затрат на системы ОВ и КВ и расчете технико-экономической эффективности энергосберегающих решений.

***уметь:***

- оценивать энергоэффективность здания по различным методикам;
- выбирать энергоэффективные решения при разработке систем ОВ и КВ;
- выполнять расчеты окупаемости систем ОВ и КВ с энергосберегающими решениями.

***приобрести навыки работы:***

- с нормативной, справочной и научной литературой.

***уметь применить:***

- полученные теоретические знания и практические навыки при принятии решения о создании систем ОВ и КВ в тех или иных помещениях, зданиях и сооружениях и выборе оптимального варианта устройства этих систем, а также при их проектировании и эксплуатации.

**2. Содержание дисциплины**

№ п/п	Темы и их содержание по семестрам
I	Введение. Понятие энергоэффективности и ее нормативно-правовое регулирование в РФ. Актуальность энергосбережения. Энергетический баланс здания и основные направления энергосбережения. Закон РФ «О техническом регулировании», СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», Стандарт РНТО строителей СТО 175 32043-001-2005.
II	Методика оценки энергоэффективности здания по СНиП 23-02-2003. Расчет составляющих энергетического баланса, определение фактического удельного энергопотребления здания за отопительный период и оценка его соответствия требованиям СНиП. Анализ результатов и рекомендации по оптимальным решениям систем ОВ и КВ.

III	Методика оценки энергоэффективности здания по рекомендациям Стандарта РНТО строителей. Расчет составляющих энергетического баланса, определение фактического удельного энергопотребления здания за отопительный период для разных вариантов устройства здания и систем ОВ и КВ и оценка снижения энергопотребления за счет реализации комплекса энергосберегающих мероприятий требованиям заказчика.
IV	Некоторые энергоэффективные решения для систем ОВ и КВ. Утилизация теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции и КВ. Построение и расчет процессов теплоутилизации для схемы с промежуточным теплоносителем. Комбинированные схемы обработки воздуха с рециркуляцией и теплоутилизацией. Оценка снижения энергопотребления.
	Технико-экономическое обоснование применения энергосберегающих мероприятий. Расчет составляющих годовых эксплуатационных затрат на системы ОВ и КВ. Вычисление совокупных дисконтированных затрат. Критерий окупаемости энергосберегающих мероприятий в условиях рыночной экономики. Определение дисконтированного срока окупаемости.

### 3. Перечень основной и дополнительной литературы

#### *Основная литература*

1. Закон РФ «О техническом регулировании» № 184-ФЗ от 27.12.2002.
2. Закон РФ «О внесении изменений в Федеральный закон «О техническом регулировании»» № 65-ФЗ от 01.05.2008.
3. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». – М.: ГУП ЦПП, 2003.
4. СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника». – М.: ГУП ЦПП, 1998.
5. МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях». – М.: Москомархитектура, 1999.
6. СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология». – М.: ГУП ЦПП, 2004.
7. СТО 175 32043-001-2005. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий. Стандарт общественной организации – РНТО строителей. М.: ГУП ЦПП, 2006.
8. СНиП 2.08.01-89\* Жилые здания. – М.: ГУП ЦПП, 1999.
9. СНиП 2.04.01-85\* «Внутренний водопровод и канализация зданий». – М.: ГУП ЦПП, 2000.
10. ВСН 59-88 «Электрооборудование жилых и общественных зданий». – М.: Госкомарх., 1988.
11. Методические рекомендации по формированию нормативов потребления услуг жилищно-коммунального хозяйства. М.: Минэнерго РФ, 1998.
12. Л.Д.Богуславский, А.А.Симонова, М.Ф.Митин. Экономика теплогазоснабжения и вентиляции. – М.: Стройиздат, 1988, 351 с.
13. О.Д.Самарин. Оценка эффективности затрат на теплоизоляцию ограждений здания с учетом систем обеспечения микроклимата и выбор наиболее экономичного варианта. Методические указания к выполнению дипломного проекта для студентов специальности 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция». – М.: МГСУ, 2008, 17 с.

#### *Дополнительная литература*

14. О.Д.Самарин. Теплофизические и технико-экономические основы теплотехнической безопасности и энергосбережения в здании. – М.: МГСУ – Тисо-принт, 2007, 160 с.
15. О.Я.Кокорин. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит, 2003, 272 с.

16. Е.М.Белова. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат, 2006, 640 с.
17. А.Н.Дмитриев, Ю.А.Табунщиков, И.Н.Ковалев, Н.В.Шилкин. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005, 120 с.
18. В.Н.Богословский, М.Я.Поз. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.–М.:Стройиздат, 1983, 416 с.
19. Г.С.Иванов. Методика оптимизации уровня теплозащиты зданий. // Стены и фасады., 2001, №1-2, с. 7 – 10.
20. В.Г.Гагарин. Критерий окупаемости затрат на повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий в различных странах. (Сб. докл. конф. НИИСФ, 2001, с. 43 – 63).
21. ТСН НТ1-99 МО. «Нормы теплотехнического проектирования гражданских зданий с учетом энергопотребления». – М.: Минстрой Московской обл., 1999.
22. ТСН 301-23-98 ЯО. Теплозащита зданий жилищно-гражданского назначения. Ярославль: Правительство Ярославской обл., 1998.
23. Строительный каталог. Перечень типовой документации общественных зданий для строительства в городах и поселках городского типа. – М.: ГУП ЦПП, 1994.

## КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

### ПОНЯТИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ЗДАНИЯ. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В РФ.

Под ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ обычно понимают минимизацию расхода тех или иных энергетических ресурсов для достижения некоторого полезного эффекта. Если речь идет не о приборах и оборудовании, которые непосредственно потребляют энергию и создают конкретный продукт, а о пассивных системах и конструкциях (например, ограждениях здания), смысл энергоэффективности в этом случае понимается несколько иначе. Он сводится к тому, насколько эти системы или конструкции способствуют минимизации расхода энергоресурсов, необходимых для функционирования объекта, особенно по отношению к энергии, затраченной на создание этих систем или конструкций.

Необходимость комплексного подхода к осуществлению энерго- и ресурсосберегающих мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и в первую очередь систем обеспечения их микроклимата не подлежит сомнению и обусловлена главным образом сокращением запасов минерального сырья и ископаемого органического топлива и, как следствие, их постоянным удорожанием. Следовательно, с экономической точки зрения энергосбережение не является самоцелью, а лишь средством для снижения суммарных затрат на возведение и последующую эксплуатацию здания. Поэтому всегда представляет интерес вопрос о выборе оптимального сочетания инженерных решений, обеспечивающих экономически обоснованное снижение энергопотребления. Но для этого необходимо представлять себе структуру энергетического баланса здания и связанные с ней возможности изменения энергозатрат по различным составляющим баланса. В таблице 3.1.1 представлена такая структура по данным разных источников, использованных в [1], для зданий, построенных до 1995 года, но составляющих до сих пор большую часть имеющейся застройки.

Таблица 3.1.1. Энергетический баланс зданий (без учета электропотребления).

Здания	Доля в общих энергозатратах, %			
	Трансмиссионные теплопотери	Инfiltrация и подогрев воздуха в системах вентиляции	Всего на отопление и вентиляцию	Горячее водоснабжение (ГВС)
Жилые	28 – 42	30 – 48	70 – 78	22 – 30
Общественные	39 – 48	47 – 53	92 – 95	5 – 8

Таким образом, в жилых зданиях энергозатраты по всем составляющим сопоставимы, в общественных относительно меньше доля ГВС, но в обоих случаях наибольший вклад вносит подогрев инфильтрующегося или вентиляционного воздуха. Поэтому невозможно ограничиться только одним повышением теплозащиты ограждающих конструкций – необходимы мероприятия, касающиеся и других направлений энергосбережения.

Важнейшими государственными программными документами в сфере энергосбережения в России являются Закон РФ «Об энергосбережении» от 24 ноября 1995 г. 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 года. Новая редакция Энергетической стратегии на период до 2020 года была утверждена Правительством РФ 23 ноября 2000 г. протоколом № 39, раздел 3, во исполнение распоряжения Правительства РФ № 389-р от 16 марта 2000 г.

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» (ЗТР). 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 здоровью людей, растений и животных, охраны окружающей среды и предотвращение введения потребителей в заблуждение, и утверждаемые в виде федерального закона или постановления Правительства РФ. Такие документы «с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие безопасность (промышленную, пожарную, механическую и т.д.), а также единство измерений» (Ст.7). Второй – все остальные (национальные стандарты, утверждаемые Национальным органом стандартизации; своды правил, утверждаемые иными органами исполнительной власти при отсутствии национальных стандартов, а также стандарты организаций). Они являются документами добровольного применения. При этом «со дня вступления в силу настоящего Федерального закона впредь до вступления в силу соответствующих технических регламентов требования ..., установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, подлежат обязательному исполнению только в части, соответствующей целям:

- защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества; охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей» (Ст.46).

Таким образом, ЗТР допускает также и разработку стандартов организаций (коммерческих, общественных, научных и т.д.) добровольного применения.

В этой связи существенно расширяются возможности по разработке, принятию и использованию документов, соответствующих концепции оптимального нормирования, особенно если учесть, что в соответствии с упомянутым законом добровольные нормы могут быть признаны обязательными для контрагентов по договору между заказчиком и подрядчиком. Основную концепцию ЗТР можно свести к тому, что основная задача технических норм – показать, как НЕЛЬЗЯ проектировать, строить и эксплуатировать здания (технические регламенты), и как МОЖНО это делать (все остальные документы). Но нельзя требовать от нормативов, чтобы они показывали, как НУЖНО строить, поскольку при современном уровне развития науки и техники достижение параметров, превышающих минимально допустимые, в большинстве случаев, возможно несколькими способами, и фиксировать в нормах только один из них – означает давать необоснованные предпочтения одной определенной научной или практической школе и существенно ограничивать внедрение в широкое использование результатов научных исследований и практического опыта.

Следует иметь, однако, в виду, что в СНиПах и ГОСТах, если они разработаны удачно и соответствуют современному уровню развития науки и техники, ничего плохого нет, ибо они содержат надежные, апробированные решения и рекомендации, основанные на опыте производства и строительства. Но это не означает, что нельзя и как-то по-другому, если кому-то удастся предложить лучший вариант, разумеется, в рамках соблюдения требований безопасности. Другое дело, что это повышает ответственность разработчиков научных, проектных и производственных решений, а схема страхования рисков от такого рода деятельности у нас в стране еще должным образом не отработана.

Постановлением Госстроя России № 113 от 26 июня 2003 г. принят и введен в действие с 1 октября 2003 г. новый нормативный документ [2]. Главной его особенностью по сравнению с предыдущей версией [3] является возможность использования потребительского подхода к нормированию тепловой защиты, при котором устанавливается предельное значение удельного энергопотребления здания в целом. Такой подход был перенесен из ранее принятых территори-

альных строительных норм, типичными примерами которых могут служить документы [4], [5], [6]. Основное преимущество его в том, что это позволяет проектировщику и заказчику достигать одного и того же уровня энергопотребления различными способами за счет выбора наиболее предпочтительных в каждом конкретном случае энергосберегающих мероприятий. Сюда входят, например, объемно-планировочные решения, автоматизация инженерных систем, учет внутренних тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации и т. д. Это обычно дает возможность снизить сопротивление теплопередаче несветопрозрачных ограждений по сравнению с требованиями таблицы 1Б [3]. Однако в методике [2] не учитываются такие важные составляющие энергетического баланса здания, как расход теплоты на ГВС и затраты электрической энергии. Кроме того, с помощью методики [2] трудно непосредственно учесть такие энергосберегающие мероприятия, как утилизация теплоты вытяжного воздуха, применение теплонасосных установок (ТНУ) и вообще использование вторичных энергоресурсов (ВЭР).

Альтернативный подход к нормированию энергосберегающих мероприятий разрабатывается в рамках РНТО строителей. Он базируется на технико-экономической оптимизации теплозащитных свойств несветопрозрачных ограждений, исходя из текущей стоимости теплоизоляционных материалов и единовременных затрат на устройство теплоизоляции [7], а также на требовании, согласно которому суммарное удельное энергопотребление и его снижение за счет использования энергосберегающих мероприятий устанавливается по договору между заказчиком и подрядчиком. При этом речь идет о потреблении не только тепловой, но и электрической энергии. Главная идея здесь заключается в комплексном подходе к энергосбережению и выявлении сравнительной эффективности различных энергосберегающих мероприятий для определения их оптимального сочетания. Дальнейшее развитие такой методики для общественных зданий позволяет сопоставлять экономический эффект от применения тех или иных энергосберегающих решений и тем самым дополнительно обосновать целесообразность их применения и очередность реализации.

### 3.2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЯ ПО СНИП 23-02-2003.

Оценка энергоэффективности здания в соответствии с требованиями [2] в основном сводится к расчету фактического удельного энергопотребления за отопительный период  $q_h^{des}$ , кДж/(м<sup>3</sup>·°С·сут), по методике приложения Г данного документа. Соответствующие расчетные формулы выглядят так:

$$q_h^{des} = 10^3 Q_h^y / (V_h D_d) ; (3.2.1)$$

$$Q_h^y = [Q_h - (Q_{int} + Q_s) \nu \xi] \beta_h ; (3.2.2)$$

Здесь  $V_h$ , м<sup>3</sup> – отапливаемый объем здания;  $D_d$  – градусо-сутки отопительного периода;  $Q_h^y$ , МДж/год – годовой расход теплоты на отопление и вентиляцию здания. Параметры  $Q_h$ ,  $Q_{int}$ ,  $Q_s$ , МДж/год представляют собой соответственно годовой расход теплоты на компенсацию трансмиссионных и вентиляционных (инфильтрационных) теплопотерь, теплопоступления бытовые и от солнечной радиации. Параметр  $\nu = 0.8$  – это коэффициент, учитывающий способность ограждающих конструкций помещений зданий аккумулировать или отдавать теплоту,  $\xi$  – коэффициент степени автоматизации регулирования системы отопления в здании. Множитель  $\beta_h$  – это коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системой отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, с их дополнительными теплопотерями через запорные участки ограждений, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения.

Как вариант,  $q_h^{des}$  может вычисляться в размерности кДж/(м<sup>2</sup>·°С·сут), тогда в знаменателе формулы (2.1) вместо  $V_h$  должна стоять  $A_h$  – сумма площадей пола квартир или полезной площади помещений здания, за исключением технических этажей и гаражей, м<sup>2</sup>.

Основная интересующая нас величина  $Q_h$  определяется следующим образом (формула (Г.3) [2]):

$$Q_h = 0.0864 \cdot K_m \cdot D_d \cdot A_e^{sum} \quad (3.2.3)$$

Здесь  $A_e^{sum} = \sum A_i$  – суммарная площадь наружных ограждений здания,  $m^2$ ;  $K_m$  – общий коэффициент теплопередачи здания,  $Вт/(m^2 \cdot K)$ . Он складывается из трансмиссионного  $K_m^{tr}$  и инфильтрационного  $K_m^{inf}$  коэффициентов. Приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания (трансмиссионный)  $K_m^{tr}$ ,  $Вт/(m^2 \cdot K)$ , вычисляется по формуле (Г.5) приложения Г [2]. В несколько упрощенном виде она выглядит так:

$$K_m^{tr} = \frac{\sum \left( \frac{n_i A_i}{R_i} \right)}{A_e^{sum}}, \quad (3.2.4)$$

Здесь  $A_i$  и  $R_i$  – соответственно площадь,  $m^2$ , и сопротивление теплопередаче,  $m^2 \cdot K/Вт$ ,  $i$ -го наружного ограждения (наружных стен, окон, покрытий, перекрытий над техподпольем, полов по грунту и т.д.);  $n_i$  – коэффициент положения  $i$ -го ограждения по отношению к наружному воздуху, принимаемый по таблице 6 [2]. Для основных ограждений используются значения: наружные стены, окна, бесчердачные покрытия, полы по грунту – 1; чердачные перекрытия – 0.9; полы над неотапливаемыми подвалами – 0.6.

При расчете условного инфильтрационного коэффициента теплопередачи  $K_m^{inf}$ ,  $Вт/(m^2 \cdot K)$ , используется формула (Г.6) приложения Г [2]

$$K_m^{inf} = 0,28cn_a \beta_v V_h \rho_a^{ht} k / A_e^{sum}, \quad (3.2.5)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная  $1 \text{ кДж}/(кг \cdot K)$ ;  $n_a$  – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период,  $ч^{-1}$ , принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий;  $\beta_v$  – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающих наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных следует принимать  $\beta_v = 0.85$ ;  $\rho_a^{ht}$  – плотность воздуха в помещении,  $кг/м^3$ , равная  $1.2$ ,  $k$  – коэффициент встречного теплового потока, зависящий от конструкции заполнения светопроемов.

Полученное значение  $Q_h$  используется для вычисления фактического удельного энергопотребления  $q_h^{des}$  (формулы (3.2.1), (3.2.2)), которая затем сравнивается с требуемым уровнем  $q_h^{req}$ , приведенным в таблице 9 [2], после чего делается вывод о соответствии здания нормам удельного энергопотребления с учетом принятого класса энергетической эффективности здания по таблице 3 [2]. Для нового строительства рекомендуется один из трех следующих классов: А (очень высокий) с  $q_h^{des}$  ниже, чем  $q_h^{req}$ , на 51% и более; В (высокий), для которого  $q_h^{des}$  ниже, чем  $q_h^{req}$ , на величину от 10 до 50%, и С (нормальный), с отклонением  $q_h^{des}$  от  $q_h^{req}$  в пределах от +5% до -9%.

Расчет завершается составлением энергетического паспорта здания (приложение Д [2]).

### 3.3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПО РЕКОМЕНДАЦИЯМ СТАНДАРТА РНТО.

Ниже будет рассмотрена методика, разработанная автором для общественного Стандарта РНТО строителей «Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий» [10]. Стандарт создан в соответствии с ЗТР и введен в действие с 1 января 2006 года постановлением расширенного заседания Бюро Совета РНТО строителей от 30 сентября 2005 года. Оценка энергоэффективности здания в соответствии с этим Стандартом основывается на сравнении двух вариантов устройства здания и его инженерных систем.

За базисный вариант (далее – Вар.1) принимаем здание без энергосберегающих мероприятий и с наружными ограждениями по [3] до внесения изменений №3 и №4, но с использованием

в качестве расчетной температуры наиболее холодных суток обеспеченностью 0.92 по данным [9] За альтернативный вариант (Вар.2) принимаем использование возможных энергосберегающих мероприятий:

- Утепление несветопрозрачных наружных ограждений до оптимального уровня.
- Замена остекления на более энергоэффективное.
- Утилизация теплоты вытяжного воздуха. Наименее затратным является применение схемы с промежуточным теплоносителем.
- Установка в системах ГВС индивидуальных водосчетчиков, смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором, а также применение ТНУ для подогрева воды.
- Установка автоматических терморегуляторов у отопительных приборов, дающая возможность учесть бытовые тепловыделения, а также теплопоступления от солнечной радиации через окна.
- Другие мероприятия, возможные в конкретном проекте.

Расчет сопротивлений теплопередаче по Вар.2 производится по методике [7], основанной на технико-экономической оптимизации теплозащитных свойств несветопрозрачных ограждений, исходя из текущей стоимости теплоизоляционных материалов и единовременных затрат на устройство теплоизоляции. Соответствующая формула выглядит следующим образом:

$$R_2 = m_0 R_1; m_0 = n \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{1 + (B - 1)}{n}} \right]; B = \frac{C_p}{R_1 \lambda_{yt} C_{yt}} \quad (3.3.1)$$

Здесь  $R_1$  и  $R_2$ ,  $(m^2 \cdot K) / Вт$  – сопротивления теплопередаче по Вар.1 и Вар.2;  $n = r_1 / r_2$  – отношение коэффициентов теплотехнической однородности ограждающих конструкций соответственно до и после утепления;  $C_p$ , руб/ $m^2$  – стоимость дополнительных единовременных затрат сверх стоимости материала утеплителя,  $C_{yt}$ , руб/ $m^3$ , и  $\lambda_{yt}$ , Вт/(м·К) – соответственно стоимость утеплителя и его теплопроводность.

Оценка энергоэффективности зданий сводится к определению их энергетической эксплуатационной характеристики. Она равна удельным суммарным затратам  $\sum Q_i$  тепловой и электрической энергии,  $кВт \cdot ч / (m^2 \cdot год)$ , на 1  $m^2$  отапливаемой площади здания за один отопительный период в годовом цикле эксплуатации за вычетом теплопоступлений  $Q_{mn}$  от людей, электробытовых приборов и солнечной радиации через световые проемы:

$$q = \left( \sum Q_i - Q_{mn} \right) \cdot 10^3 / F_{om} \quad (3.3.2).$$

Составляющие энергозатрат и теплопоступления вычисляются следующим образом:

А. Трансмиссионные теплопотери,  $МВт \cdot ч / год$ , за счет теплопередачи через ограждающие конструкции оболочки зданий следует определять по формуле:

$$Q_1 = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot M \cdot \sum (n_i \cdot F_i / R_i) \cdot 10^{-3} \quad (3.3.3)$$

Здесь:

где  $\beta_1$  – коэффициент, учитывающий добавочные потери теплоты через ограждения, для жилых зданий  $\beta_1 = 1.13$ , для общественных  $\beta_1 = 1.10$  [4];

$\beta_2$  – коэффициент учета округления тепловой мощности отопительных приборов: для протяженных зданий  $\beta_2 = 1.13$ , для зданий башенного типа  $\beta_2 = 1.11$  [4];

$M = 0.024 \cdot (t_e - t_{on}) \cdot z_{on}$  – характеристика отопительного периода, тыс. градусо-часов;

$t_{on}, z_{on}$  – средняя температура, °С, и продолжительность, сут, периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8°С по [9].

$n_i$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху по таблице 3 [3].



$F_i$  и  $R_i$  – площадь,  $m^2$ , и сопротивление теплопередаче,  $m^2 \cdot K / Вт$ , ограждающих конструкций оболочки зданий: соответственно, наружных стен, окон, балконных дверей, перекрытия над неотапливаемым подвалом или техническим подпольем, пола по грунту, чердачного перекрытия или покрытия и др. Значения  $R_i$  принимаются в зависимости от варианта энергосберегающих мероприятий.

**Б.** Энергозатраты,  $МВт \cdot ч / год$ , на подогрев инфильтрующегося холодного воздуха или воздуха для вентиляции помещений здания следует определять по формуле:

$$Q_2 = 0.33 \cdot M \cdot V \cdot K_p \cdot 10^{-3}; \quad (3.3.4)$$

Здесь:

$0.33 = \rho \cdot c / 3600 = 1.29 \cdot 1006 / 3600$  – коэффициент ( $\rho$  – плотность,  $c$  – удельная теплоемкость воздуха);

$V$  – отапливаемый объем здания,  $m^3$ ;

$K_p$  – эффективная кратность воздухообмена,  $ч^{-1}$ ;

$K_p = [(1 - k_{эф}) \cdot z_p \cdot K_{Рраб} + k \cdot (24 - z_p) \cdot K_{Рн}] / 24$ , где

$z_p$  – продолжительность рабочего времени в учреждении;

$K_{Рраб}$  – кратность воздухообмена в рабочее время,  $ч^{-1}$ ,  $K_{Рраб} = L_{расч} / V$ ,

где  $L_{расч}$  – расчетный воздухообмен,  $m^3/ч$ , определяемый по данным проекта или, при отсутствии данных, по укрупненным показателям;

$K_{Рн}$  – кратность воздухообмена в нерабочее время (при отсутствии данных может быть принята равной  $0.5 \text{ ч}^{-1}$ );

Для жилых зданий вместо произведения  $V \cdot K_p$  следует применять произведение  $3 \cdot F_{жил}$ , где  $F_{жил}$  – суммарная жилая площадь здания,  $m^2$ , исходя из нормативного воздухообмена  $3 \text{ м}^3/ч$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади [11].

$k$  – коэффициент учета встречного теплового потока при естественном воздухообмене здания; принимается равным  $0.7$  для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами,  $0.8$  – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами и  $1.0$  – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов;

$k_{эф}$  – коэффициент температурной эффективности устройств утилизации теплоты при наличии механической вентиляции, принимаемый равным  $0$  в случае отсутствия утилизации теплоты вытяжного воздуха. При наличии утилизации коэффициент принимается по проектным данным, а при их отсутствии – в размере  $0.4 \div 0.5$  при использовании утилизаторов с промежуточным теплоносителем,  $0.5 \div 0.55$  при использовании рекуперативных утилизаторов,  $0.6 \div 0.85$  при использовании вращающихся регенераторов; при использовании ТНУ – до  $1$ .

**В.** Энергозатраты на ГВС,  $МВт \cdot ч / год$ :

$$Q_3 = q_{u,m}^h \cdot 1.163 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta t \cdot z_{on} \cdot k_h; \quad (3.3.5)$$

Здесь  $q_{u,m}^h$  – норма расхода горячей воды в средние сутки, л/сут, принимаемая для жилых зданий в 12 этажей и ниже из расчета  $105 \text{ л/сут}$  на человека, выше 12 этажей –  $115 \text{ л/сут}$  на человека, для других зданий – по приложению 3 [12];

$1.163 \cdot 10^{-6} = (4.19 / 3.6) \cdot 10^{-6}$ ,  $МВт \cdot ч / (кг \cdot K)$  – удельная теплоемкость воды;

$\Delta t$  – разность температур, К, холодной и нагретой воды в системе горячего водоснабжения, при отсутствии использования ВЭР для подогрева воды принимается равной 55; при использовании ВЭР принимается равной  $60 - t_{ВЭР}$  где  $t_{ВЭР}$  – температура нагреваемой воды после устройства, использующего ВЭР (ТНУ и др.). В нашем примере величина  $\Delta t$  во всех случаях принималась равной 55°С.

$k_h$  – коэффициент снижения расхода горячей воды за счет применения мероприятий по снижению водопотребления. При отсутствии данных его допускается принимать равным  $1 - \Delta k_{h,i}$ , где  $\Delta k_{h,i}$  – относительное снижение расхода воды за счет того или иного мероприятия, в том числе: 0.05 при установке поквартирных водосчетчиков, 0.03 – при использовании смесителей с левым расположением крана горячей воды или кранов с регулируемым напором воды [9]; при отсутствии специальных мероприятий  $k_h$  принимается равным 1.

Г. Энергопотребление всеми электроприводами инженерных систем здания (механическая вентиляция, кондиционеры, насосы водоснабжения, лифты),  $MВт \cdot ч / год$ , следует определять по формуле:

$$Q_4 = \sum N_{np.i} \cdot k_{cn.i} \cdot z_{p.i} \cdot z_{on} \cdot 10^{-3}; \quad (3.3.6)$$

где:

$N_{np.i}$  – максимальная мощность различных электроприводов, кВт, принимаемая по проектным данным;

$k_{cn.i} < 1$  – коэффициент спроса на электроэнергию, по данным главы 4 [13];

$z_{p.i}$  – продолжительность работы каждого потребителя в течение одних суток. При отсутствии данных величину  $z_{p.i}$  можно принимать: для насосов водоснабжения и лифтов – 24 час/сут; для систем механической вентиляции и кондиционирования – равным рабочему времени учреждения.

Для удобства пользования Стандартом значения коэффициентов спроса для основных потребителей из главы 4 [13] включены непосредственно в текст Стандарта.

Д. Электропотребление на освещение помещений, а также электробытовыми приборами (кухонные плиты, стиральные машины, компьютеры, телевизоры, теплые полы и пр.) следует определять аналогично п.Г. со своими значениями мощности  $N_{э.i}$  и коэффициентов  $k_{cn.i}$  и  $z_{p.i}$ :

$$Q_5 = \sum N_{э.i} \cdot k_{cn.i} \cdot z_{p.i} \cdot z_{on} \cdot 10^{-3}; \quad (3.3.7)$$

Для общественных зданий величину  $z_{p.i}$  допускается принимать равной рабочему времени учреждения. Значение  $k_{cn.i}$  определяется по данным таблицы 11 [12]. При отсутствии проектных данных по мощности освещения и электроприборов величину  $\sum N_{э.i}$  в общественных зданиях допускается вычислять как  $n_{э.i} \cdot N_{изм}$ , где  $n_{э.i}$  – удельная нагрузка, кВт/измеритель, принимаемая по таблице 15 [13].  $N_{изм}$  – измеритель (рабочее место, м<sup>2</sup>, полезной площади и др.). Для удобства пользования Стандартом соответствующая таблица также включена непосредственно в его текст.

Для жилых зданий при отсутствии проектных характеристик

$$Q_5 = \beta_5 q_5 N_{чел} z_{on} / 365 \quad ; \quad (3.3.7a)$$

где  $N_{чел}$  – число жителей в здании;

$q_5$  – удельные затраты электрической энергии, МВт·ч / (чел·год), принимаемые по таблице 3.3.1, заимствованной из Приложения 10 к [14]:

Таблица 3.3.1. Удельное электропотребление,  $q_5$ , на освещение и бытовые нужды:

Для жилого фонда, оборудованного:	$q_5$ , МВт·ч / (чел·год), при количестве человек в семье:					
	1	2	3	4	5	6
Газовыми плитами	0.921	0.56	0.439	0.379	0.343	0.318
Электроплитами	1.541	0.94	0.719	0.639	0.579	0.538
Плитами на □а. топливе	1.447	0.795	0.578	0.470	0.405	0.361

$\beta_5$  – поправочный коэффициент, учитывающий число квартир в здании, принимаемый по таблице 3.3.2, заимствованной из [14]:

Таблица 3.3.2. Значения поправочного коэффициента  $\beta_5$

Для жилого фонда, оборудованного:	Коэффициент $\beta_5$ при числе квартир в здании:												
	1-3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600
Газовыми плитами	5.26	4.04	3.07	2.54	2.28	2.02	1.75	1.40	1.23	1.05	0.88	0.79	0.75
Электроплитами	7.19	3.60	2.88	2.47	2.21	2.06	1.85	1.54	1.34	1.18	1.03	0.92	0.87
Плитами на □а. топливе	5.59	3.64	2.80	2.31	2.10	1.89	1.61	1.40	1.26	1.12	1.05	0.98	0.91

Е. Теплопоступления,  $MВт \cdot ч / год$ , от людей, электробытовых приборов и солнечной радиации через □а□иркуляции□ые ограждения в случае, если эти теплопоступления можно полезно использовать, например, за счет установки автоматических терморегуляторов у отопительных приборов, следует определять по формуле:

$$Q_{тп} = Q_{быт} + Q_{рад}; \quad (3.3.8)$$

Здесь:

$Q_{быт} = Q_4 + Q_5 + q_{ч.я} \cdot N_{чел} \cdot z_p \cdot z_{он} \cdot 10^{-6}$  – бытовые тепловыделения за отопительный период в годовом цикле;

$q_{ч.я}$  – поступления явной теплоты от одного человека, Вт/чел; рекомендуется  $q_{ч.я}$  принимать равным 90 Вт/чел;

$N_{чел}$  – количество людей в здании, определяемое по проектным данным;

$q_{быт} = Q_{быт} / (24 \cdot z_{он} \cdot F_{от} \cdot 10^{-6})$  – бытовые тепловыделения на 1 м<sup>2</sup> пола отапливаемой площади. Данная величина определяется после расчета  $Q_{быт}$  и является контрольным параметром, т.к. должна составлять не менее 10 Вт/м<sup>2</sup>;

$Q_{рад} = \tau_{ок} \cdot k_{ок} \cdot \sum (F_{ок.i} \cdot I_i / 3600)$  – солнечная радиация за отопительный период через окна;

$\tau_{ок}$  – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема окон непрозрачными элементами заполнения, принимаемые по проектным данным;

$k_{ок}$  – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений окон, принимаемые по паспортным данным соответствующих светопропускающих изделий, при отсутствии данных значения  $\tau_{ок}$  и  $k_{ок}$  можно принимать по [4].

$F_{ок.i}$  – площадь светопрозрачных ограждений соответствующей ориентации, м<sup>2</sup>,

$I_i$  – интенсивность солнечной радиации через окна,  $МДж / м^2$ , принимаемая по таблицам 4 и 5 [9], в зависимости от их ориентации по сторонам света.

Таким образом, предлагаемая методика действительно позволяет учитывать все основные составляющие энергетического баланса здания, а при расчете каждой составляющей – все основные энергосберегающие мероприятия, а значит, пригодна для комплексной оценки энергоэффективности здания.

После расчета энергетической эксплуатационной характеристики по обоим вариантам определяется относительное снижение энергопотребления для Вар.2 за счет принятых решений по энергосбережению:

$$\Delta q = (1 - q_2/q_1) \cdot 100\% \quad (3.3.9)$$

Далее величина  $\Delta q$  сравнивается с требуемым снижением энергопотребления, заданным заказчиком, и делается вывод о достаточности принятого комплекса энергосберегающих мероприятий. Рекомендуется принимать величину  $\Delta q$  в размере не менее 50%. После этого производится расчет абсолютного и относительного снижения энергопотребления по каждому мероприятию и оценивается их сравнительная энергетическая эффективность. Расчет завершается составлением энергетического паспорта здания и оценкой экономической целесообразности принятого решения по снижению энергопотребления.

### 3.4. НЕКОТОРЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА.

В п.3.3 был приведен перечень основных малозатратных, быстрокупаемых и наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий в гражданских зданиях. Остановимся подробно на одном из них, а именно на утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции для частичного подогрева притока в холодный период года, как требующей наиболее подробной технологической разработки в процессе проектирования систем В и КВ. Можно показать, что срок окупаемости дополнительных капитальных затрат по устройству простейшего и наиболее дешевого вида теплоутилизации – с промежуточным теплоносителем – не превышает 3-4 лет. Это особенно существенно в условиях нестабильной рыночной экономики с заметно меняющимся уровнем цен на оборудование и тарифов на энергетические ресурсы, что не позволяет применять капиталоемкие инженерные решения.

Принципиальная схема устройства утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем показана на рис.3.4.1. Она включает теплоотдающую секцию (калорифер) 1 в приточной установке и теплоизвлекающую секцию (поверхностный воздухоохладитель) 2 с каплеуловителем 3 в вытяжной. Эти секции связываются циркуляционным контуром, заполненным антифризом. В контуре имеется циркуляционный насос 4, регулирующий клапан 5 и расширительный бак 6.

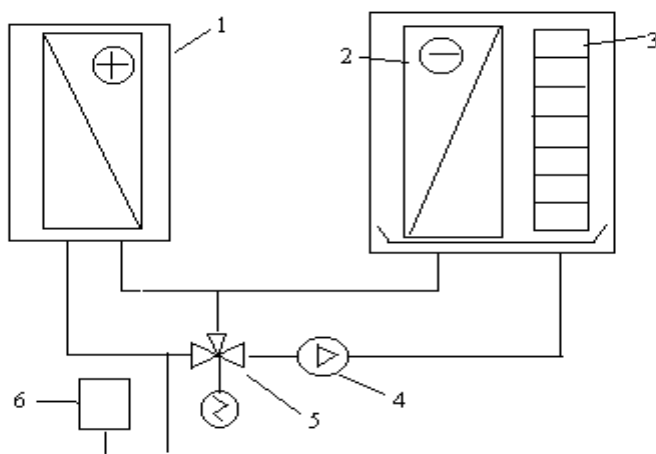


Рис. 3.4.1. Принципиальная схема системы теплоутилизации с промежуточным теплоносителем.

Схема процессов обработки воздуха на I-d-диаграмме в теплоотдающем и теплоизвлекающем теплообменниках при использовании схемы с промежуточным теплоносителем приведена на рис.4.2. Наносим на диаграмму точку Н наружного воздуха по значениям  $t_n$  и  $I_n$ , а также точку У удаляемого воздуха по результатам построения процесса изменения состояния воздуха в помещении и определяем энтальпию в этой точке  $I_y$  и влагосодержание  $d_y$ . С учетом рекоменда-

ций [15] наносим на линию  $\phi = 100\%$  точку F при предельной температуре поверхности теплоизвлекающего теплообменника  $t_F$ , равной  $+2^\circ\text{C}$ , из условия необмерзания его поверхности.

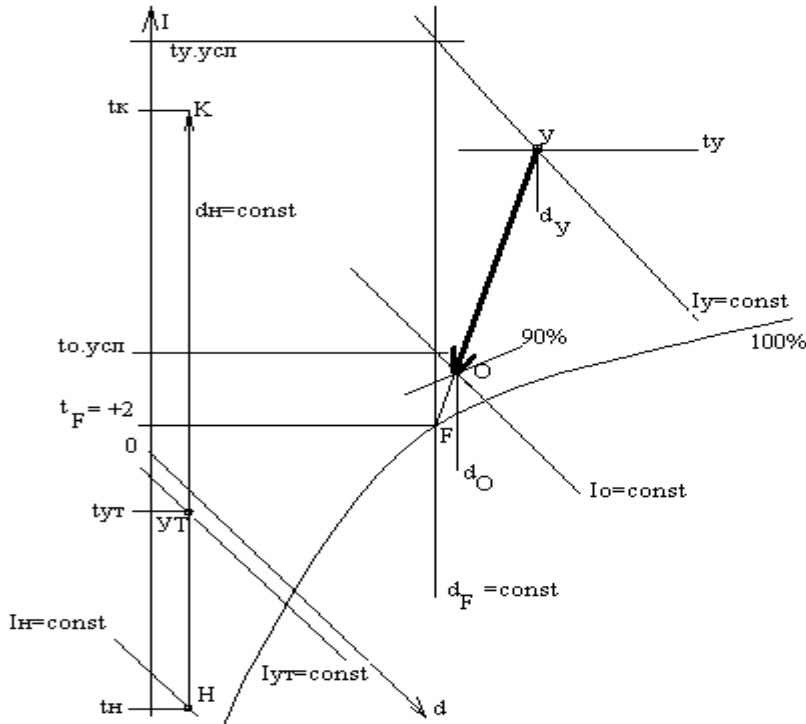


Рис.3.4.2. Схема процессов обработки воздуха в системе теплоутилизации с промежуточным теплоносителем.

Соединяем точку Y с точкой F и отмечаем на построенном отрезке точку O при  $\phi = 90\%$ , отвечающую состоянию воздуха после охлаждения в воздухоохладителе. Определяем энтальпию в этой точке  $I_o$  и влагосодержание  $d_o$ . Проводим линию  $d_F = \text{const}$ , а также линии  $I_Y = \text{const}$  и  $I_o = \text{const}$ , и определяем температуры  $t_{y,усл}$  и  $t_{o,усл}$  в точках их пересечения с  $d_F = \text{const}$  – условные температуры воздуха до и после охладителя в пересчете на условный «сухой» процесс охлаждения (см. рис.3.4.2). Они будут нужны при расчете теплоизвлекающей секции.

При малом влагосодержании уходящего воздуха может оказаться, что  $d_Y < d_F$ , т.е. точка Y лежит левее линии  $d_F = \text{const}$ . Это означает, что процесс охлаждения в теплоизвлекающем теплообменнике будет «сухим» (по линии  $d_Y = \text{const}$ ), и нужно считать  $t_{y,усл} = t_Y$  и  $t_{o,усл} = t_F = +2$ .

Находим среднюю температуру антифриза:  $T_{cp} = t_F - 1 = 1^\circ\text{C}$ . Задаем разностью температур антифриза на входе и на выходе из теплообменников:  $\Delta T = T_1 - T_2 = 6^\circ\text{C}$ . Тогда температура антифриза на выходе из теплоизвлекающего теплообменника (и на входе в теплоотдающий)  $T_1 = T_{cp} + \Delta T/2 = 4^\circ\text{C}$ , а на входе в теплоизвлекающий теплообменник (и на выходе из теплоотдающего)  $T_2 = T_{cp} - \Delta T/2 = -2^\circ\text{C}$ .

Определяем массовый расход уходящего воздуха:  $G_y = L_y \rho_y$ , кг/ч. Находим количество утилизируемой теплоты:  $Q_{ym} = G_y (I_y - I_o) / 3.6$ , Вт. Определяем массовый расход нагреваемого воздуха:  $G_n = L_n \rho_n$ , кг/ч. Проверяем температуру воздуха за теплоотдающим тепло-

обменником: 
$$t_{ym} = \frac{3.6 \cdot Q_{ym}}{G_n c_s} + t_n, ^\circ\text{C}.$$

В приведенных формулах  $L_n$  и  $L_y$  – это значения расхода воздуха соответственно для приточной и вытяжной установок,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $c_s = 1.005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – удельная теплоемкость воздуха;  $\rho_n$  и

$\rho_y$  – плотность соответственно приточного и уходящего воздуха, кг/м<sup>3</sup>:  $\rho_n = \frac{353}{273 + t_n}$ ;

$\rho_y = \frac{353}{273 + t_y}$ . Здесь  $t_n$  – температура приточного воздуха, °С, принимаемая по расчету про-

цесса изменения состояния воздуха в помещении.

Если оказывается, что  $t_{yt} > +2^\circ\text{C}$ , нужно принять более высокую температуру  $t_F$  (выше, чем +2), и повторить построения и расчеты. Значение  $t_{yt}$  будет необходимо при расчете теплоотдающей секции. Вычисляем коэффициент температурной эффективности теплоутилизатора:

$k_{эф} = \frac{t_{ym} - t_n}{t_y - t_n}$ . Нормальное значение коэффициента эффективности должно составлять 0.4 –

0.5. Величина  $k_{эф}$  используется в технико-экономическом расчете (см. п.3.5). После вычисления основных параметров процесса теплоутилизации рассчитываются сами теплообменники, т.е. определяется их поверхность теплообмена, число рядов трубок, шаг пластин и число ходов теплоносителя. В качестве исходных данных при этом используются значения  $Q_{ут}$ ,  $t_n$ ,  $t_{yt}$ ,  $t_{y,усл}$ ,  $t_{o,усл}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ , а также  $L_n$  и  $L_y$ . Методика такого расчета изложена, например, в [15], [16] и других источниках.

Однако по сравнению с другими способами теплоутилизации, и, прежде всего, с помощью роторных аппаратов и в меньшей степени в пластинчатых рекуператорах, устройства с промежуточным теплоносителем все-таки дают более низкое значение температурной эффективности. Кроме того, они не позволяют передавать приточному воздуху влагу. Поэтому при необходимости увеличения влагосодержания притока используются те же приемы, что и в отсутствие утилизации, а это сохраняет значительные габариты приточной установки и к тому же требует дополнительных затрат энергии на испарение влаги или на перегрев воздуха перед адиабатным увлажнением.

Решить данную проблему можно путем комбинации нескольких способов снижения энергопотребления. Но если говорить о малозатратных мероприятиях, среди них остается лишь применение рециркуляции, т.е. подмешивание части вытяжного воздуха к притоку. Здесь тоже происходит увеличение как температуры, так и влагосодержания приточного воздуха, а температурная и энтальпийная эффективность процесса ограничена только долей рециркуляционного воздуха в суммарном объеме притока. Основное достоинство рециркуляции заключается в практическом отсутствии дополнительных капитальных затрат, поскольку в конструкцию приточной и вытяжной установки добавляется соответственно лишь смесительная и разделительная секция и соединительный воздуховод, если установки непосредственно не контактируют друг с другом. Поэтому если рециркуляция допустима по санитарно-гигиеническим соображениям, ее целесообразно использовать как дополнение к теплоутилизации с промежуточным теплоносителем.

Рассмотрим наиболее характерный пример такой комбинации. В книге [15] приводится энергоэффективная схема обработки приточного воздуха для помещения бассейна. Особенностью бассейнов являются значительные влаговыведения и, как следствие, необходимость расчета требуемого количества наружного воздуха, исходя именно из условия ассимиляции поступающей влаги. Вместе с тем, в бассейнах допустима рециркуляция. Исходя из этого, в [15] предлагается первичный подогрев наружного воздуха в теплоутилизаторе, затем его догрев в калорифере от внешнего источника и потом подмешивание рециркуляционного воздуха. При этом в смеси достигаются требуемые температура и влагосодержание притока. После отбора на рециркуляцию оставшаяся часть вытяжки пропускается через теплоизвлекающий теплообменник для первичного подогрева наружного воздуха. В этом случае удается за счет совместного использования утилизации и рециркуляции получить 80 – 85% полной теплоты, требуемой на обработку притока. Необходимость нагрева наружного воздуха именно до подмешивания рециркуляции

связана здесь с высоким влагосодержанием вытяжки – примерно 14 – 14.5 г/кг, в результате чего при попытке непосредственного смешения такого воздуха с неподогретым наружным мы попадаем в область тумана.

Однако недостатком такой схемы является то обстоятельство, что через теплообменники и в приточной, и в вытяжной установке проходит только количество воздуха, равное наружному, а через вентиляторы – полный расход с учетом рециркуляции. Это вынуждает для обеспечения рациональной массовой скорости воздуха около 3 – 4 кг/(м<sup>2</sup>·с) выполнять установки с переменным поперечным сечением, что при использовании современных каркасно-панельных агрегатов не технологично. Если же сохранять постоянное сечение, тогда теплообменники будут работать с пониженной скоростью воздуха, что приведет к уменьшению коэффициента теплопередачи и завышению поверхности теплообмена. Поэтому автором была предложена несколько иная схема, при которой вся вытяжка пропускается через теплоизвлекающий теплообменник и после охлаждения в нем частично направляется на рециркуляцию, а частично выбрасывается в атмосферу.

Изображение процессов на I-d-диаграмме приведено на рис.3.4.3. При этом подмешивание рециркуляции происходит сразу после подогрева наружного воздуха в утилизаторе, и только потом опять-таки суммарный расход пропускается через догревающий калорифер. Таким образом, из трех теплообменников только теплоотдающая секция утилизатора работает с пониженным расходом воздуха. С энергетической точки зрения данная схема эквивалентна рассмотренной в книге [15], но удобнее для компоновки. Кроме того, поскольку через теплоизвлекающую секцию проходит весь расход, удается подогреть наружный воздух в утилизаторе до температуры  $t_{yT}$ , более высокой, чем для схемы [15], т.е. около +10°С, и тем самым сократить возможность туманообразования при отключении теплоснабжения.

При анализе рис.3.4.3 следует иметь в виду, что расчетные теплоизбытки в помещении бассейна в холодный период приняты равными нулю, поскольку теплоступления компенсируются снижением теплоотдачи от системы отопления, оборудованной автоматическими терморегуляторами. Поэтому процесс изменения состояния воздуха в помещении является изотермическим. Следовательно, температура притока  $t_{\Pi}$  должна равняться температуре  $t_B$ , принятой в обслуживаемой зоне помещения. Кроме того, воздух в помещении достаточно хорошо перемешивается. Поэтому, особенно с учетом изотермического характера процесса, можно считать точку «У», характеризующую состояние удаляемого воздуха, совпадающей с точкой «В», относящейся к воздуху обслуживаемой зоны.

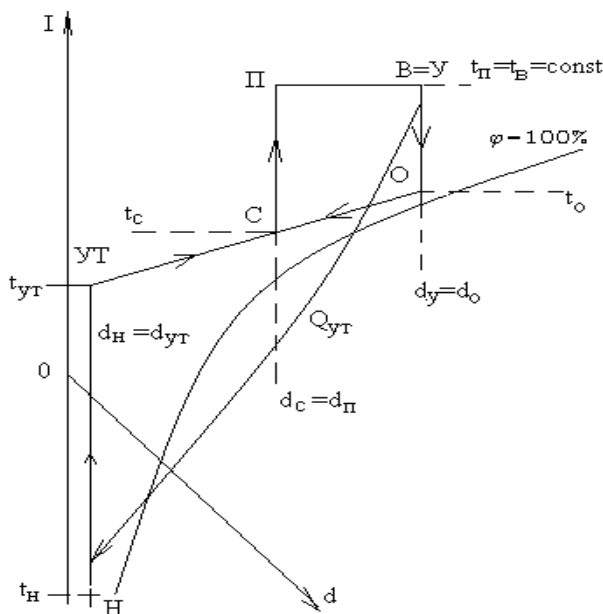


Рис.3.4.3. Схема процесса обработки воздуха с теплоутилизацией, рециркуляцией и вторичным подогревом для бассейна.

Другие обозначения на рис.3.4.3: «Н» и «УТ» – состояние наружного воздуха до и после подогрева в утилизаторе; «О» – состояние вытяжного воздуха за теплоизвлекающим теплообменником,  $Q_{УТ}$  – количество теплоты, Вт, передаваемое в утилизаторе. Для соблюдения баланса влаги в помещении и вентиляционных установках необходимо, чтобы охлаждение вытяжки проходило без выпадения конденсата, т.е. при условии постоянства влагосодержания:  $d_o = d_y$ . Точка «С» – состояние смеси рециркуляционного и подогретого в утилизаторе наружного воздуха, выбираемое таким образом, чтобы ее влагосодержание  $d_c$  равнялось требуемому влагосодержанию притока  $d_{п}$ , вычисляемому, исходя из имеющихся влаговыделений и принятого расхода наружного воздуха для их ассимиляции.

Для помещений со значительными теплоизбытками и малыми влаговыделениями совместное применение теплоутилизации и рециркуляции позволяет при определенных условиях вообще обойтись без вторичного подогрева от внешнего источника и тем самым достичь максимально возможного энергосбережения. В этом случае необходима только электрическая энергия на привод вентиляторов и насосов. В работе [15] подобная схема не приводится, поэтому ниже будут рассмотрены предложенные автором процессы обработки воздуха для помещения машинного зала ЭВМ, где удастся получить указанный результат. Изображение процессов на I-d-диаграмме показано на рис.3.4.4. В отличие от бассейна, здесь влагосодержание вытяжки  $d_y$  более низкое. Поэтому возможно непосредственное смешение рециркуляционного воздуха, прошедшего через теплоизвлекающий теплообменник (точка «О»), с наружным до его подогрева (точка «С») без риска образования тумана. Затем смесь подогревается в утилизаторе. В этом случае через все теплообменники проходит полный расход, и установки при постоянном сечении работают в условиях целесообразной скорости воздуха.

Таким образом, совместное применение рециркуляции и теплоутилизации с промежуточным теплоносителем на самом деле позволяет добиться очень существенной экономии энергии на нагрев и увлажнение притока в холодный период года. В ряде случаев такая схема дает возможность полностью отказаться от внешнего источника теплоты и специального оборудования для увлажнения, а также от специальной обработки воздуха в теплый период года. Необходимо только тщательное построение оптимального процесса обработки воздуха на I-d-диаграмме, учитывающее особенности взаимного расположения точек «Н», «П» и «У», а также детальный расчет параметров остальных характерных точек и расходов воздуха. Только в этом случае удастся добиться максимального снижения энергопотребления и предельного упрощения конструкции приточных и вытяжных установок.

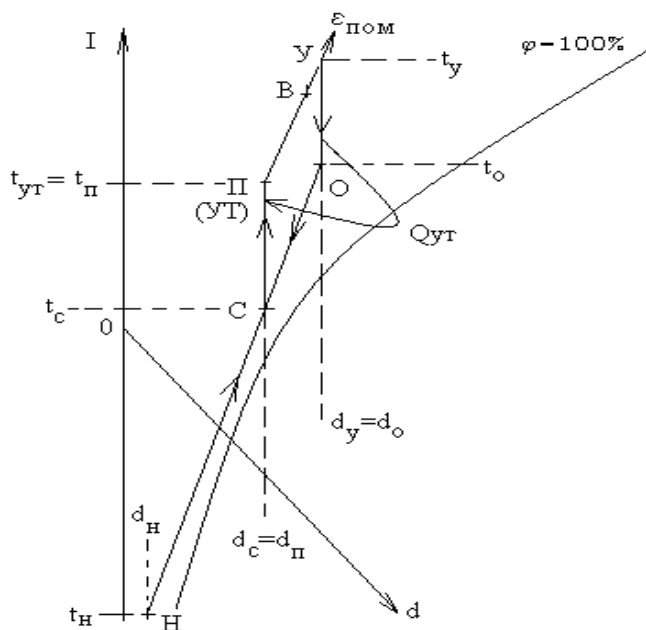


Рис.3.4.4. Схема процесса обработки воздуха с рециркуляцией и теплоутилизацией для машинного зала ЭВМ.



### 3.5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ.

Если считать, что для приобретения дополнительного оборудования и материалов привлекаются собственные средства инвестора, тогда совокупные дисконтированные затраты СДЗ, приведенные к концу расчетного срока, для каждого варианта определяются по следующей формуле [17]:

$$\text{СДЗ} = K \cdot (1 + p/100)^T + \sum_{i=1}^T \text{Э}_i \cdot (1 + p/100)^i, \text{ руб}; \quad (3.5.1)$$

где  $K$  – капитальные единовременные затраты, руб, и  $\text{Э}_i$  – суммарные годовые эксплуатационные затраты за  $i$ -й год, руб/год, для рассматриваемого варианта;  $p$  – норма дисконта, %. Она учитывает упущенную выгоду от того, что эти средства вложены в энергосбережение вместо размещения под проценты в банке. В расчетах ее можно принимать равной среднерыночной банковской ставке по кредитам. По состоянию на середину 2008 года  $p = 16.5\%$ . Величина  $p$  связана с текущей величиной этой ставки, а также с коммерческими рисками капиталовложений. В [17] предлагается принимать  $p = 10\%$ .

Если  $\text{Э}_i$  за каждый год одинаковы, формулу можно привести к более простому виду [18]:

$$\text{СДЗ} = K \cdot (1 + p/100)^T + \text{Э} \cdot [(1 + p/100)^T - 1] \cdot (100/p), \text{ руб}; \quad (3.5.2)$$

Обычно на стадии ТЭО сравниваются два варианта: один из них требует больших капитальных затрат  $K_1$ , но отличается пониженными эксплуатационными расходами  $\text{Э}_1$  (как правило, за счет реализации тех или иных энергосберегающих мероприятий), а второй – наоборот, требует более низких капитальных затрат  $K_2$ , но отличается более высокими эксплуатационными  $\text{Э}_2$ . Таким образом, для сравниваемых вариантов выполняются неравенства  $K_1 > K_2$ , но  $\text{Э}_1 < \text{Э}_2$ . Дополнительные капитальные затраты определяются с учетом всех их составляющих, например, по данным [19].

Эксплуатационные затраты включают расходы на тепловую и электрическую энергию, заработную плату обслуживающего персонала и амортизационные отчисления. Их можно оценить с использованием методики [20], адаптированной для применения на стадии ТЭО и в таком виде также включенной в [19].

А. Затраты, связанные с потреблением электроэнергии системой отопления, вентиляции или кондиционирования воздуха (В и КВ), определяются по формуле (3.5.3):

$$\text{Э}_{\text{эл}} = Z_p \cdot N_{\text{раб}} \cdot N_{\text{уст}} \cdot C_{\text{эл}}, \text{ руб/год}; \quad (3.5.3)$$

где  $Z_p$  – число часов в сутки, когда отопительное или вентиляционное оборудование работает;  $N_{\text{раб}}$  – число рабочих дней в году, определяемое исходя из режима работы объекта;  $N_{\text{уст}}$  – установочная мощность оборудования (электродвигателей насосов и вентиляторов), кВт;  $C_{\text{эл}}$  – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч, принимаемая в зависимости от типа потребителя по таблице 3.5.2. Для систем В и КВ установочную мощность по укрупненным показателям можно оценить по данным таблицы 3.5.1.

Таблица 3.5.1. Удельная мощность вентиляционных агрегатов систем В и КВ.

Тип системы	Мощность, кВт на 1 тыс. м <sup>3</sup> /ч	Увеличение мощности при использовании теплоутилизации
Приточная	0.4 – 0.5	0.05
Приточная КВ	0.5 – 0.6	0.05
Вытяжная	0.3 – 0.4	0.1

Б. Затраты, связанные с потреблением тепловой энергии системой В или КВ за отопительный период, вычисляются по формуле (3.5.4):

$$\mathcal{E}_{\text{т.вент}} = Z_p \cdot G_{\text{п}} \cdot c_{\text{в}} \cdot D_d \cdot (1 - k_{\text{эф}}) \cdot C_{\text{т}} \cdot 10^{-6} / 4.19, \text{ руб/год}; \quad (3.5.4)$$

где  $Z_p$  – то же, что и в п.А;  $D_d$  – градусо-сутки отопительного периода (см. п.3.2).  $G_{\text{п}}$  – массовый расход нагреваемого воздуха, кг/ч,  $G_{\text{п}} = L \cdot \rho_{\text{в}}$ , где плотность воздуха  $\rho_{\text{в}}$  можно принимать равной  $1.2 \text{ кг/м}^3$ ;  $c_{\text{в}} = 1.005 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$  – удельная теплоемкость воздуха; параметр  $k_{\text{эф}}$  представляет собой коэффициент температурной эффективности теплоутилизатора (при наличии в рассматриваемом варианте утилизации теплоты), определяемый по расчету теплоутилизационного оборудования (см. п.4). На стадии предварительных вычислений можно принимать  $k_{\text{эф}} = 0.4 - 0.5$  для систем с промежуточным теплоносителем,  $0.5 - 0.55$  – для пластинчатых перекрестноточных теплообменников и  $0.7 - 0.8$  – для вращающихся (роторных) регенераторов [21].  $C_{\text{т}}$  – стоимость единицы тепловой энергии, руб/Гкал, принимаемая в зависимости от типа потребителя по таблице 3.5.2.

В. Затраты, связанные с потреблением тепловой энергии за отопительный период системой отопления, на стадии ТЭО определяются так:

а) если мощность системы отопления  $\Sigma Q_{\text{от}}$ , кВт, известна, например, из подробного расчета теплотеря здания, используем выражение (5.5):

$$\mathcal{E}_{\text{т.от}} = 0.0864 \cdot \frac{\sum Q_{\text{от}}}{4.19 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н5}})} \cdot D_d \cdot C_{\text{т}}, \text{ руб/год}; \quad (3.5.5)$$

б) если  $\Sigma Q_{\text{от}}$  неизвестна, предварительно определяют ее ориентировочное значение.

При оборудовании приборов системы отопления автоматическими терморегуляторами (термоклапанами) из величины  $\mathcal{E}_{\text{т.от}}$  необходимо вычесть экономию  $\mathcal{E}_{\text{пост}}$  за счет полезного использования тепlopоступлений в помещения здания. На стадии предварительных расчетов это можно сделать по выражению (3.5.6):

$$\mathcal{E}_{\text{пост}} = 0.0864 \cdot q_{\text{пост}} \cdot F_{\text{от}} \cdot z_{\text{от}} \cdot C_{\text{т}} \cdot 10^{-3} / 4.19, \text{ руб/год}; \quad (3.5.6)$$

где  $F_{\text{от}}$  – отапливаемая площадь здания,  $\text{м}^2$ , принимаемая по архитектурно-строительным чертежам;  $q_{\text{пост}}$  – удельные тепlopоступления на  $1 \text{ м}^2$  отапливаемой площади,  $\text{Вт/м}^2$ , от людей, освещения и электроприборов, приводов инженерных систем и солнечной радиации. Величину  $q_{\text{пост}}$  в общественных зданиях можно принимать в размере  $10 - 15 \text{ Вт/м}^2$ .

Г. Годовые амортизационные отчисления на оборудование систем отопления, вентиляции или кондиционирования воздуха определяются по формуле (3.5.7):

$$\mathcal{E}_{\text{ам}} = \frac{1.5 \cdot K}{T_{\text{ам}}}, \text{ руб/год}; \quad (3.5.7)$$

где  $K$  – капитальные затраты, руб, для соответствующего варианта;  $T_{\text{ам}}$  – расчетный срок службы оборудования, лет, принимаемый в зависимости от его назначения и технических характеристик. На стадии ТЭО можно считать  $T_{\text{ам}} = 30 - 40$  лет для систем отопления и  $10 - 15$  лет для систем вентиляции и кондиционирования воздуха. При технико-экономическом обосновании применения дополнительной теплоизоляции ограждающих конструкций величина  $T_{\text{ам}}$  выбирается равной расчетному сроку службы здания. Формула (3.5.7) учитывает расходы на полное возмещение стоимости, а также капитальный и текущий ремонт оборудования.

Д. Годовые расходы на оплату труда рабочих, обслуживающих оборудование систем отопления, В и КВ:

$$\mathcal{E}_{зп} = C_{ср} \cdot Ч \cdot n_{см} \cdot 12, \text{ руб/год; (3.5.8)}$$

где  $C_{ср}$  – средняя ставка заработной платы рабочих, руб/мес;  $Ч$  – численность рабочих в бригаде;  $n$  – количество смен (бригад) обслуживания в сутки. Данные параметры принимаются на основании раздела проекта «Технология строительного производства».

Суммарные годовые эксплуатационные затраты по вариантам:

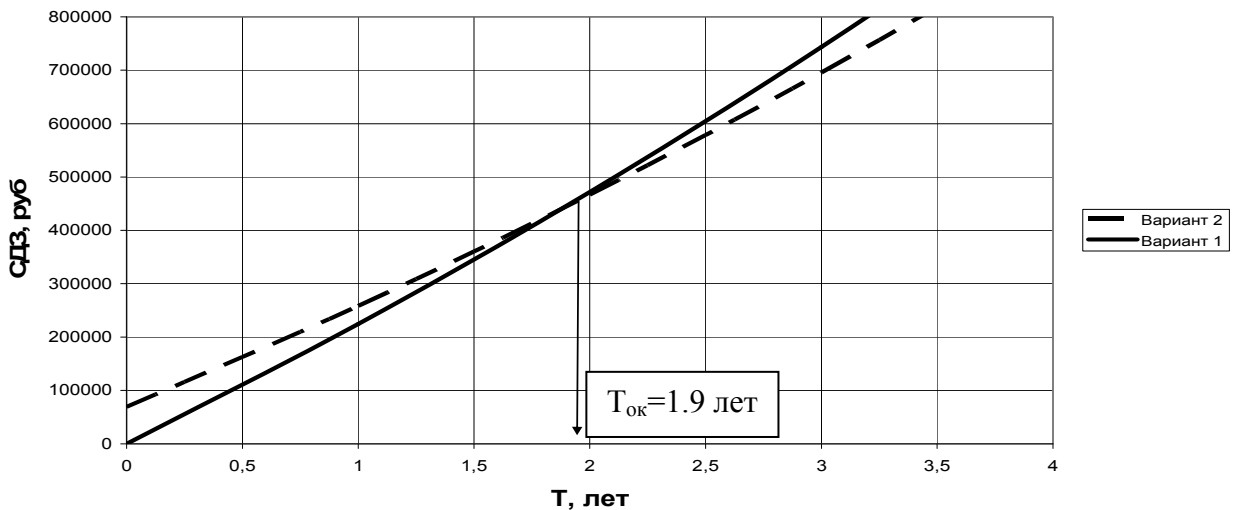
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{эл} + \mathcal{E}_т + \mathcal{E}_{ам} + \mathcal{E}_{зп}, \text{ руб/год. (3.5.9)}$$

Таблица 3.5.2. Тарифы на электрическую и тепловую энергию в Москве (2008 год).

Вид энергии	Потребитель	Ед. изм.	Тариф	Источник
Электрическая	Бюджетные	кВт·ч	1 руб. 88.99 коп.	ОАО «Мос-энергосбыт»
	Котельные, ЦТП, ИТП		1 руб. 84.86 коп.	
	Прочие		2 руб. 06.19 коп.	
	Население (эл. плиты)		1 руб. 66 коп.	ЗАО «ЦОП-энерго»
	Население (газ. плиты)		2 руб. 37 коп.	
Тепловая	Население	Гкал	737 руб. 80 коп.	ОАО «МО-ЭК»
	Прочие		903 р. 50 коп.	

Для оценки эффективности дополнительных капитальных вложений и определения срока их окупаемости необходимо построить графики зависимости  $СДЗ_1$  и  $СДЗ_2$  от  $T$  и найти их точку пересечения (рис.3.5.1). Если графики не пересекаются или пересекаются при  $T > T_{ам}$ , дополнительные капитальные вложения в осуществление энергосберегающих мероприятий экономически нецелесообразны.

Рис. 3.5.1. Пример графика зависимости  $СДЗ$  по вариантам от времени и определения расчетного срока окупаемости.



Более точно дисконтированный срок окупаемости можно вычислить по формуле [17]:

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1 - pT_0/100)}{\ln(1 + p/100)}, \text{ лет; где } T_0 = \frac{K_1 - K_2}{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1} \quad (3.5.3)$$

– бездисконтный срок окупаемости, лет.

Формула для  $T_{ок}$  будет корректной, когда аргумент логарифма в числителе оказывается положительным. Таким образом, критерием окупаемости дополнительных капитальных затрат при учете дисконтирования служит неравенство  $(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1) > (K_1 - K_2) \cdot \frac{P}{100}$ , смысл которого состоит в том, что годовая экономия эксплуатационных затрат по выбранному варианту должна быть больше, чем упущенная выгода.

#### Литература к Разделу 3:

1. О.Д.Самарин. Теплофизические и технико-экономические основы теплотехнической безопасности и энергосбережения в здании. – М.: МГСУ – Тисо-принт, 2007, 160 с.
2. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». – М.: ГУП ЦПП, 2003.
3. СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника». – М.: ГУП ЦПП, 1998.
4. МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях». – М.: Москомархитектура, 1999.
5. ТСН НТ1-99 МО. «Нормы теплотехнического проектирования гражданских зданий с учетом энергопотребления». – М.: Минстрой Московской обл., 1999.
6. ТСН 301-23-98 ЯО. Теплозащита зданий жилищно-гражданского назначения. Ярославль: Правительство Ярославской обл., 1998.
7. Г.С.Иванов. Методика оптимизации уровня теплозащиты зданий. // Стены и фасады., 2001, №1-2, с. 7 – 10.
8. Строительный каталог. Перечень типовой документации общественных зданий для строительства в городах и поселках городского типа. – М.: ГУП ЦПП, 1994.
9. СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология». – М.: ГУП ЦПП, 2004.
10. СТО 175 32043-001-2005. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий. Стандарт общественной организации – РНТО строителей. М.: ГУП ЦПП, 2006.
11. СНиП 2.08.01-89\* Жилые здания. – М.: ГУП ЦПП, 1999.
12. СНиП 2.04.01-85\* «Внутренний водопровод и канализация зданий». – М.: ГУП ЦПП, 2000.
13. ВСН 59-88 «Электрооборудование жилых и общественных зданий». – М.: Госкомархитектура, 1988.
14. Методические рекомендации по формированию нормативов потребления услуг жилищно-коммунального хозяйства. М.: Минэнерго РФ, 1998.
15. О.Я.Кокорин. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит, 2003, 272 с.
16. Е.М.Белова. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат, 2006, 640 с.
17. А.Н.Дмитриев, Ю.А.Табунщиков, И.Н.Ковалев, Н.В.Шилкин. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005, 120 с.
18. В.Г.Гагарин. Критерий окупаемости затрат на повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий в различных странах. (Сб. докл. конф. НИИСФ, 2001, с. 43 – 63).
19. О.Д.Самарин. Оценка эффективности затрат на теплоизоляцию ограждений здания с учетом систем обеспечения микроклимата и выбор наиболее экономичного варианта. Методические указания к выполнению дипломного проекта для студентов специальности 270109 «Теплогоснабжение и вентиляция». – М.: МГСУ, 2008, 17 с.
20. Л.Д.Богуславский, А.А.Симонова, М.Ф.Митин. Экономика теплогоснабжения и вентиляции. – М.: Стройиздат, 1988, 351 с.
21. В.Н.Богословский, М.Я.Поз. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.–М.:Стройиздат, 1983.