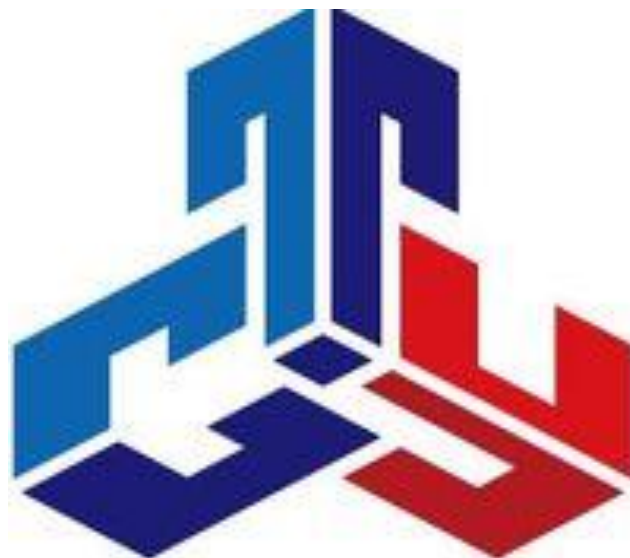


**СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Учебное пособие

**Рязань 2018**

УДК 621.311.22(07)

ББК 39.455

Т 34

Энергосбережение. (Электронный ресурс) Учебное пособие / Сост.:  
доц., к.т.н. Лопатин Е. И., Коненков Н.В.  
Совр. техн. универ-т. – Рязань, 2018. – 209 с.

Рецензент. Суслов А. И., к.ф.-м.н., доцент, каф. ОиЭФ РГРТУ

В учебном пособии изложены основные вопросы энергосбережения.

Отдельное внимание уделено вопросам мер по снижению непроизводительных потерь.

Учебное пособие для студентов-бакалавров  
Современного технического университета

*Печатается по решению Ученого Совета  
Современного технического университета*

УДК 621.311.22(07)

ББК 39.455

Т 34

© Е.И. Лопатин, Н.В. Коненков

© Современный технический университет, 2018

# *Учебник*

## **РАЗДЕЛ 1. Актуальность энергосбережения в России и в мире.**

- 1.1. Состояние с производством и потреблением топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в мире и в России.
- 1.2. Состояние энергетики страны.
- 1.3. Проблема повышения эффективности использования ТЭР в стране и основные направления ее решения.

## **РАЗДЕЛ 2. Государственная политика в области повышения эффективности использования энергии. Управление энергосбережением в России.**

- 2.1. Государственная энергетическая политика России. История, настоящее время и перспектива.
- 2.2. Федеральный закон "Об энергосбережении".
- 2.3. Федеральный уровень управления энергосбережением.

## **РАЗДЕЛ 3. Нормативная база энергосбережения.**

- 3.1. Нормативно-правовые документы.
- 3.2. Нормативно-техническая база энергосбережения.
- 3.3. Информационные технологии в энергосбережении.

## **РАЗДЕЛ 4. Методы и критерии оценки эффективности энергосбережения.**

- 4.1. Структура энергетического баланса промышленного предприятия.
- 4.2. Интенсивное энергосбережение.
- 4.3. Эксергетические балансы теплотехнологических установок.
- 4.4. Натуральные и экономические критерии оценки эффективности использования энергии.

## **РАЗДЕЛ 5. Основы энергоаудита объектов теплоэнергетики.**

- 5.1. Законодательная база проведения энергетических обследований и энергоаудита.
- 5.2. Виды энергоаудита.
- 5.3. Инструментальный энергоаудит.

## **РАЗДЕЛ 6. Методы энергосбережения при производстве и распределении тепловой и электрической энергии.**

- 6.1. Энергосбережение в промышленных котельных.
- 6.2. Энергосбережение на тепловых электрических станциях.
- 6.3. Энергосбережение в системе транспорта тепловой энергии.
- 6.4. Энергосбережение при электроснабжении промышленных предприятий.

## **РАЗДЕЛ 7. Энергосберегающие мероприятия в промышленности.**

- 7.1. Эффективность использования энергии в отраслях теплоэнергетического комплекса и типовые энергосберегающие мероприятия.
- 7.2. Энергосбережение в теплотехнологиях.

## **РАЗДЕЛ 8. Энергосберегающие мероприятия на объектах жилищно-коммунального хозяйства.**

- 8.1. Теплоснабжение объектов жилищно-коммунального хозяйства.
- 8.2. Типовые энергосберегающие мероприятия в жилищно-коммунальном хозяйстве.

## ***РАЗДЕЛ 1. Актуальность энергосбережения в России и в мире.***

---

### **1.1. Состояние с производством и потреблением топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в мире и в России.**

- 1.1.1. Виды первичных энергоресурсов. Понятия условного топлива, первичного условного топлива, нефтяного эквивалента.
- 1.1.2. Динамика топливно-энергетического баланса (ТЭБ) в мире, в России.
- 1.1.3. Тенденции и причины изменения структуры ТЭБ России.

#### **1.1.1. Виды первичных энергоресурсов. Понятия условного топлива, первичного условного топлива, нефтяного эквивалента.**

##### **Теплота сгорания топлива**

Для получения тепловой энергии и ее возможного дальнейшего превращения в механическую и электрическую энергию люди сжигают органическое топливо в энергетических котлах, промышленных печах и транспортных двигателях.

Теплота сгорания топлива - это количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 кг твердого или жидкого топлива или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива. Часто теплоту сгорания называют также теплотворной способностью топлива.

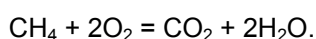
На практике теплота сгорания чаще всего определяется экспериментальным путем. Для топлива известного химического состава можно приближенно определить теоретически по формулам, таким, например, как известная формула Менделеева.

Высшая теплота сгорания топлива – это максимальное количество теплоты, которое можно получить в результате химической реакции горения топлива.

Низшая теплота сгорания топлива отличается от высшей на то количество тепла, которое затрачивается на испарение воды, содержащейся в топливе, а также образующейся в результате химической реакции горения топлива.

Если мы сжигаем абсолютно сухой уголь, который по химическому составу представляет собой углерод, то значения низшей и высшей теплоты сгорания будут совпадать.

Однако, если мы будем сжигать сухой природный газ, состоящий, в основном из метана, то вода образуется в результате химической реакции.



На испарение этой воды требуется определенное количество теплоты и высшая теплота сгорания не будет равна низшей.

Поскольку теплота, затраченная на испарение влаги чаще всего удаляется из энергетических установок в виде паров с дымовыми газами, то она редко полезно используется на практике. Поэтому в теплотехнических расчетах теплоты, получаемой при сжигании топлива используется низшая теплотворная способность топлива.

##### **Условное топливо**

Для сопоставления энергетической ценности различных видов топлива и его суммарного учета введено понятие условного топлива. В качестве единицы условного топлива принимается топливо, которое имеет низшую теплоту сгорания, равную 7000 ккал/кг (29,33 МДж/кг).

Введение понятия условного топлива позволяет, например, сопоставить энергетические затраты двух различных регионов страны, не уточняя какое количество тех или иных конкретных видов топлива сжигается в этих регионах.

Этот способ применим и для перевода тепловой и электрической энергии в условное топливо. Так как 1 Гкал равна 1000 тыс. ккал, а 1 т у.т. имеет теплотворную способность 7000 тыс. ккал, то 1

Гкал эквивалентна 0,143 т у.т. Экономия энергии также удобно представлять в тоннах условного топлива (т.у.т.).

Зная теплотворную способность любого вида топлива, можно определить его эквивалент в условном топливе.

*1 т.у.т. эквивалентна:*            1,2–1,8 тонн каменного угля  
   1,8–3,2 тонны бурого угля  
   0,7 – 0,75 тонны мазута  
   0,8 – 0,9 куб.м. природного газа.

Надеемся, читателю понятно, что разброс цифр связан с тем, что различные марки угля, мазута и других топлив имеют различную низшую теплоту сгорания.

### **Нефтяной эквивалент**

Другой универсальной мерой потребления топлива и энергии, является нефтяной эквивалент. Это понятие чаще встречается в зарубежной литературе. Различные марки нефти имеют различный химический состав, а следовательно и различную теплотворную способность, что во многом определяет их цену на мировых рынках энергоносителей. В среднем, 1 тонна нефти имеет теплотворную способность 11000 тыс. ккал, и она эквивалентна 1,57 тонн условного топлива (т у.т.). Зная эту цифру легко выразить любое количество другого топлива в нефтяном эквиваленте. Например 1000 куб. м. природного газа с низшей теплотворной способностью 8400 тыс. ккал эквивалентна 0,76 т в нефтяном эквиваленте.

### **Первичное условное топливо**

При использовании в понятия условного топлива для оценки полученной тепловой и электрической энергии мы не учитываем того обстоятельства, что коэффициент полезного действия энергетических установок всегда меньше 100%, т.е. при преобразовании топлива в тепловую и электрическую энергию мы теряем существенную часть получаемой при его сжигании теплоты. Кроме того, при добыче топлива, его транспортировке потребителю, его подготовке или переработке мы должны также использовать энергию.

Учесть эти обстоятельства при анализе энергопотребления позволяет введение другой единицы – 1 тонны первичного условного топлива.

Что дает эта единица измерения? Представим себе, что мы рассматриваем энергопотребление конкретного промышленного предприятия. Нам известно количество использованной электрической энергии, тепловой энергии в виде пара и горячей воды, поступающих на предприятие от внешних источников тепло и электроснабжения, а также количество различных видов топлива, сжигаемых в котельных и печах непосредственно на предприятии.

Путем перевода всех составляющих энергопотребления предприятия в первичное условное топливо, мы можем определить фактические затраты топлива для обеспечения работы предприятия. Мы можем сопоставить фактические энергетические затраты предприятий имеющих различные источники энергоснабжения и различную структуры потребления энергии.

### **Пересчет различных видов энергоресурсов в первичное условное топливо.**

(по книге: Исакович Г.А., Слуцкий Ю.Б. Экономия топливно-энергетических ресурсов в строительстве. -М.: Стройиздат, 1988. –214 с. –(Экономия топлива и электроэнергии).)

**Топливо.** На добычу 1 т нефти всеми способами расходуется в настоящее время 80,8 кВт·ч электроэнергии, 0,225 Гкал тепловой энергии и 74,3 кг у.т. котельно-печного топлива. В пересчете на условное топливо в целом расход ТЭР на добычу 1 т нефти составляет 154,5 кг у.т. Расчеты показали, что для получения 1 т у.т. мазута на все перечисленные нужды необходимо израсходовать 107 кг у.т., т.е. для полезного использования 1 т у.т. мазута необходимо добыть 1,107 т у.т., или в расчете на 1 т мазута –1,46 т у.т.

На добычу 1 тыс. м куб. газа в среднем по стране расходуется 0,6 кВт·ч электроэнергии, 0,0057 Гкал тепловой энергии и 5,5 кг у.т. котельно-печного топлива. В пересчете на условное топливо на

добычу 1 тыс. м куб. газа затрачивается 7 кг у.т. На переработку 1 тыс. м куб. газа расход ТЭР составляет 16,9 кг у.т., в том числе электроэнергии 14,5 кВт·ч тепловой энергии 0,023 Гкал и котельно-печного топлива 6,5 кг у.т. Энергоемким процессом является транспортирование газа. Всего же суммарная величина затрачиваемых ТЭР на добычу, транспортирование и переработку 1 т у.т. природного газа составляет 167 кг у.т. Это означает, что для полезного использования 1 т у.т. газа необходимо добыть 1,167 т у.т., или в расчете на 1 тыс. м куб. природного газа – 1,35 т у.т.

При использовании угля в качестве котельно-печного топлива наибольшие энергозатраты расходуются на его добычу: электроэнергии – 32,4 кВт·ч, тепловой энергии – 0,0265 Гкал и котельно-печного топлива – 26,5 кг в расчете на 1 т угля. Кроме того, энергозатраты расходуются при обогащении угля, а также при его транспортировании железнодорожным, автомобильным и речным транспортом. Суммарный расход первичного топлива на все перечисленные нужды составляет 65 кг у.т. на 1 т у.т. угля энергетического, т.е. для использования 1 т у.т. угля в качестве котельно-печного топлива необходимо добыть 1,065 т у.т., или в расчете на 1 т угля энергетического (с калорийностью 4400 тыс. ккал) – 0,655 т у.т.

Таким образом, коэффициенты пересчета потребленного котельно-печного топлива в первичное составляют:

- для 1 т у.т. мазута – 1,107;
- для 1 т у.т. газа – 1,167;
- для 1 т у.т. энергетического – 1,065 т у.т.

В 1985 г. для полезного потребления 1 т у.т. котельно-печного топлива необходимо было добыть 1,134 т у.т. первичных энергоресурсов, т.е. усредненный коэффициент пересчета равен 1,134.

**Тепловая энергия.** В 1985 г. на долю ТЭЦ и крупных котельных мощностью более 50 Гкал/ч приходилось более 50% выработки тепловой энергии.

В настоящее время коэффициент полезного действия ТЭЦ составляет:

$$\text{ТЭЦ} = 0,82 \div 0,88 \text{ – на твердом топливе;}$$

$$\text{ТЭЦ} = 0,88 \div 0,92 \text{ – на жидком топливе.}$$

КПД соответственно районных и местных котельных составляет:

$$\text{для районных: к.р.} = 0,75 \div 0,80 \text{ – на твердом топливе;}$$

$$\text{к.р.} = 0,80 \div 0,85 \text{ – на газе и жидком топливе}$$

$$\text{для местных к.м.} = 0,50 \div 0,55 \text{ – на твердом топливе;}$$

$$\text{к.м.} = 0,60 \div 0,70 \text{ – на газе и жидком топливе.}$$

Потери тепла в сетях при раздаче энергии определяются на основе показателей КПД сетей, величина которых в настоящее время составляет:

$$\text{КПД тепловых сетей от ТЭЦ} \text{ – } 0,9 \div 0,95;$$

$$\text{КПД тепловых сетей от районных котельных} \text{ – } 0,92 \div 0,96;$$

$$\text{КПД тепловых сетей от местных квартальных котельных} \text{ – } 0,98 \div 0,99.$$

Усредненный коэффициент полезного действия систем теплоснабжения, учитывающий сложившуюся структуру генераторов тепла (ТЭЦ, котельных и т.д.), а также виды применяемого топлива, равен:

$$0,819 \times 0,36 + 0,775 \times 0,18 + 0,615 \times 0,24 + 0,55 \times 0,22 = 0,704$$

Средний по СНГ расход первичного условного топлива на выработку тепловой энергии и доставку ее потребителю с учетом усредненного КПД систем теплоснабжения, а также с учетом расхода топлива на его добычу, переработку и транспортирование составляет

$$p = \frac{1 \times 10(1 + 0,134)}{7 \times 10 \times 0,704} = 0,230 \text{ п п.у.т.}$$

где 1×10 – количество ккал в Гкал; 0,134 – коэффициент, учитывающий расход первичного условного топлива, необходимого для добычи, переработки и транспортирования 1 т условного топлива

до места его потребления;  $7 \times 10$  – количество ккал в 1 т у.т.; 0,704 – расчетный усредненный по стране коэффициент полезного действия систем теплоснабжения.

Таким образом, коэффициент пересчета 1 Гкал тепловой энергии в условное топливо в настоящее время равен 0,230 т п.у.т., т.е. для того, чтобы можно было использовать у потребителя 1 Гкал тепловой энергии, необходимо добыть 230 кг п.у.т.

Следует отметить, что при этом расчете не учитывается использование вторичных энергоресурсов для получения тепловой энергии. С учетом этого фактора коэффициент пересчета 1 Гкал тепловой энергии в первичное топливо будет ниже. Так как уровни использования вторичных энергоресурсов в отраслях народного хозяйства резко отличаются, то фактические коэффициенты пересчета тепловой энергии в первичное топливо также будут отличны.

Расчеты показали, что в 1985 г. коэффициенты были равны:

в среднем по промышленности (централизованные источники теплоснабжения – ТЭЦ и крупные котельные) – 1 Гкал тепловой энергии – 0,176 т у.т.

в том числе:

черная металлургия – 0,124 т у.т.

цветная металлургия – 0,169 т у.т.

химическая промышленность – 0,150 т у.т.

машиностроение – 0,190 т у.т.

остальные отрасли промышленности – транспорт, связь – 0,191 т у.т.

при производстве тепловой энергии в местных котельных и печах – 1 Гкал – 0,237 т у.т.

при производстве тепловой энергии для использования ее в коммунально-бытовом секторе 1 Гкал – 0,199 т у.т.

**Электроэнергия.** При определении расхода первичных топливно-энергетических ресурсов, необходимого для производства электроэнергии, может быть рассмотрено два случая. В первом можно определять расход первичного органического топлива на выработку электроэнергии. При этом, чем выше доля энергии, вырабатываемой на гидростанциях, тем ниже удельный расход потребляемого органического топлива. В 1986 г. он был равен:

$$326,2 \times (1 + 0,134) \times 0,75 \times 1,094 = 304 \text{ г у.т./кВт}\cdot\text{ч},$$

где 326,2 – средний расход условного топлива, необходимый для 1 кВт·час электроэнергии на электростанциях общего пользования, г; 0,134 – коэффициент, учитывающий расход первичного условного топлива, необходимого для добычи, переработки и транспортирования 1 т условного топлива до электростанции; 0,75 – удельный вес электроэнергии, вырабатываемой на тепловых электростанциях общего пользования; 1,094 – коэффициент, учитывающий потери энергии в сетях общего пользования.

Во втором случае эти затраты оцениваются.

Усредненный расход топливно-энергетических ресурсов (а не первичного топлива), необходимый для выработки 1 кВт ч энергии, равен:

$$326,2 \times (1 + 0,134) \times 0,75 \times 1,094 + 123 \times 0,25 \times 1,094 = 337,6 \text{ г у.т.},$$

где 0,25 – удельный вес электроэнергии, выработанной на гидроэлектростанциях и атомных станциях в 1985 г.; 123 – эквивалент для пересчета в условное топливо 1 кВт·ч энергии, выработанной на гидроэлектростанциях и атомных станциях.

При втором методе, а он наиболее распространен, принимается условно, что для производства электроэнергии и на атомных станциях, и на гидроэлектростанциях требуется такое же количество топливно-энергетических ресурсов, как и на тепловых, то есть расчет ведется по замещаемому топливу. В этом случае усредненный расход ТЭР, необходимый для выработки 1 кВт ч энергии будет равен  $326,2 \times (1 + 0,134) \times 1,094 = 389 \text{ г у.т.}$

Коэффициенты пересчета различных видов топлива и энергии в первичное условное топливо можно найти в справочном материале к данному пособию.

### 1.1.2. Динамика топливно-энергетического баланса (ТЭБ) в мире, в России.

Темпы мирового производства и потребления энергетических ресурсов за последнее десятилетие имеют тенденцию к снижению. Однако суммарное количество производимых в мире первичных энергоресурсов непрерывно возрастает.

Согласно данным Международного энергетического агентства, мировое производство первичных энергетических ресурсов, включая растительную биомассу, достигло 13,4 млрд. т.у.т. или в расчете на 1 жителя планеты 2,36 т.у.т./чел. Суммарное потребление электроэнергии составляет 12,1 трлн. кВт-час или 2187 кВт-час/чел. Российская Федерация, выйдя из состава Советского Союза и сохранив за собой роль одной из ведущих энергетических держав мира, к сожалению, имеет иные тенденции (рис. 1, табл. 1).

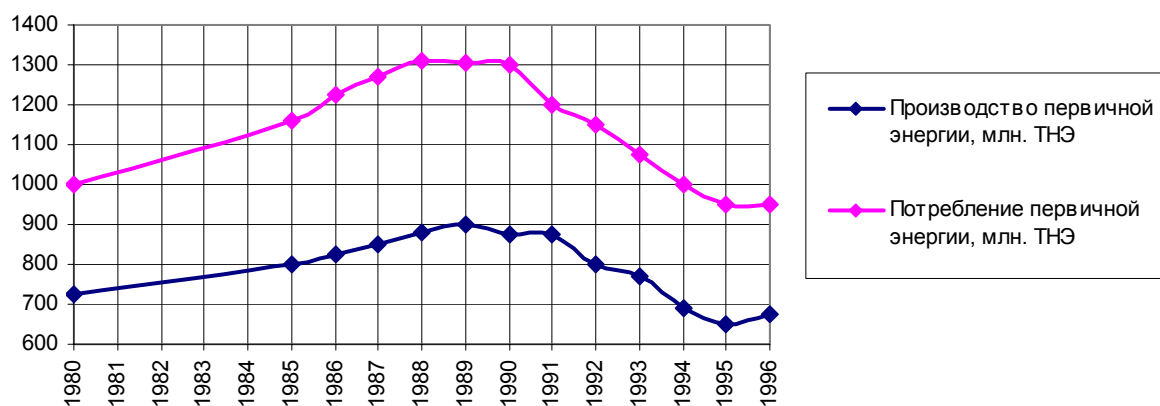


Рис. 1 Производство и потребление первичной энергии

Таблица 1  
Топливо-энергетический баланс

Показатели	Объем производства			
	1991	1995	1996	1997
Производство первичных топливно-энергетических ресурсов, млн.т.у.т	1737,0	1408,0	1398,4	1362,0
Добыча нефти с газовым конденсатом, млн.т.	462,0	306,8	301,2	305,6
Добыча газа, млрд.куб.м.	643	595,5	601,5	571,1
Добыча угля, млн.т.	353,0	262,8	256,7	244,4
Поставка в страны СНГ				
– нефти, млн.т.	106,5	26,1	20,6	17,1
– газа, млрд. куб.м.	81,9	68,3	68,5	68,0
– угля, млн. т	22,4	7,9	6,4	3,8

Анализируя основные показатели работы топливно-энергетического комплекса за последние 10 лет, можно отметить, что начиная с 1985 года добыча нефти в стране снизилась с 542,3 млн. т до 301,2 млн. т в 1996 году. В 1997 году впервые получен прирост добычи на 4,4 млн. т, ее уровень вместе с газовым конденсатом составил 305,6 млн. т (101,5% к 1996 г.).

За пределы России было вывезено почти 126 млн. т нефти (на 2,7 млн. т больше, чем в 1996 г.), из этого объема -17,1 млн. т - в страны СНГ и около 109 млн. т - в дальнее зарубежье. За 11 месяцев 1997 г. от экспорта нефти и нефтепродуктов получено 19,2 млрд. долларов США.

В 1997 году в России было добыто 571,1 млрд. куб. м природного газа (94,9% к 1996 г.). Снижение добычи в целом произошло из-за снижения спроса со стороны отечественных и зарубежных потребителей



Поставка газа за пределы России составила 188,8 млрд. куб. м, что на 3,9% ниже, чем в 1996 г. Поставка газа в СНГ составила 68 млрд. куб. м (99,4% к уровню 1996 г.), а в страны дальнего зарубежья и Балтии 120,8 млрд. куб. м (94,3%).

На 1997 г. в целом по России предусматривалось обеспечить добычу угля в объеме 262 млн. т (102,7% к 1996 г.), продолжить реализацию программы реструктуризации угольной промышленности и на ее основе повысить эффективность ее деятельности и ослабить социальное напряжение в трудовых коллективах отрасли.

Фактически добыто 244,4 млн. т, что на 12,3 млн. т (4,8%) ниже, чем в 1996 г. Тенденция к снижению добычи угля продолжает сохраняться.

В общем производстве первичных энергоресурсов доля газа возросла с 49% в 1995 г. до 50% в 1996 г., доля нефти составила 31, угля - 13, электроэнергии (АЭС и ГЭС) - 6%. Структура производства электроэнергии в 1996 ГЭС- 18, ТЭС - 69, АЭС - 13%.

Вместе с тем падение производства энергоресурсов и эти годы оказалось меньшим, чем общий спад в экономике, что повысило энергоемкость ВВП почти на 50% (табл. 2).

Таблица 2  
Экономика и энергетика России в 1991-96 гг. (1990г.=100%)

	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Валовой внутренний продукт	95	84	74	65	62	58
Промышленной производство	92	75	65	51	50	47,5
Сельское хозяйство	95	86	83	73	67	62
Капитальные вложения	85	55	45	34	30	25,5
Производство ТЭР	94	89	83	77	76	...
Потребление ТЭР	99,5	93	87	77	73	...

### 1.1.3. Тенденции и причины изменения структуры ТЭБ России.

Высокая энергоемкость российской экономики обусловлена целым рядом факторов, главными среди которых были крайне слабый учет, контроль и регулирование расходования энергетических ресурсов во всех сферах, искусственно заниженные тарифы на электроэнергию и цены на другие энергоносители, отсутствие заинтересованности энергопотребителей в рациональном использовании и экономном расходовании энергоресурсов, практически полное отсутствие национального производства энергоэффективного оборудования, преобладание монопольной системы энергообеспечения и ряд других. В последние годы удельная энергоемкость возросла еще из-за недогрузки или простоя промышленных предприятий.

Высокая энергоемкость и непроизводительные расходы энергии обусловили снижение экспортного потенциала топливно-энергетического комплекса России как минимум на 100 млн. т.у.т., снизилась конкурентоспособность отечественной продукции примерно на 10-15%. Энергорасточительность во всех сферах производства и быта вызывает необходимость дополнительной добычи топливно-энергетических ресурсов в объеме не менее 170 млн. т.у.т. При восстановлении объема промышленного производства на уровне 1990 г. стране потребуется дополнительно не менее 300-350 млн. т.у.т., добыча которых абсолютно нереальна. Расчетами доказано, что для поддержания добычи на уровне сегодняшнего дня необходимы затраты в размере 65 млрд. долл. США, в то время как для обеспечения экономии 100 млн. т.у.т. необходимо всего лишь 5 млрд. долл. США.

Продолжающийся рост энергоемкости вызывает увеличение расходов федерального бюджета на содержание и топливообеспечение социальной сферы, компенсации части коммунальных платежей населения и связанной с этим социальной напряженности. Рост энергоемкости промышленной продукции приводит к снижению конкурентоспособности отечественных товаропроизводителей.

## 1.2. Состояние энергетики страны.

- 1.2.1. Причины, сдерживающие технически необходимый рост добычи первичных энергоресурсов.
- 1.2.2. Эффективность использования энергоресурсов в мире и в России.
- 1.2.3. Связь между производством и потреблением энергоресурсов и состоянием окружающей среды.
- 1.2.4. Актуальность и потенциал энергосбережения в стране.

### 1.2.1. Причины, сдерживающие технически необходимый рост добычи первичных энергоресурсов.

Выделяют несколько факторов кризисного состояния энергетики:

- спад производства во всех отраслях ТЭК;
- низкий технический уровень основного оборудования ТЭК, быстро растущая его изношенность и, как следствие, высокая стоимость производимых ТЭР;
- экологическое неблагополучие вокруг объектов ТЭК;
- спад инвестиций в отрасли ТЭК;
- нарушения энергоснабжения из-за неплатежей, а в ряде регионов из-за недостаточной мощности источников энергии;
- **расточительное энергопотребление: высокая энергоемкость ВВП, скромные успехи в работе по энергосбережению.**

Сегодня почти каждая вторая тонна сжигаемого топлива расходуется непроизводительно. Удельная энергоемкость ВВП в РФ почти в 3 раза выше, чем в странах Западной Европы и в 1,8 раза выше, чем в США.

### 1.2.2. Эффективность использования энергоресурсов в мире и в России.

Энергорасточительство, сохранившееся со времен искусственной дешевизны ресурсов, усугубляется общим экономическим кризисом и отсутствием инвестиций для перестройки сферы производства и потребления топлива и энергии. До 40% всех используемых в стране энергоносителей расходуется нерационально, либо в виде прямых потерь, либо в экономике, которая не дает конкретного полезного эффекта у потребителя, отягощая расходную часть бюджетов всех уровней.

За последние годы по данным Минэнерго энергоемкость отечественной экономики возросла на 46%, в среднем на 30% увеличились затраты энергоресурсов на производство металла и другой базовой энергоемкой продукции, на 25% сократилось потребление электро- и теплоэнергии на душу населения. Потери электроэнергии в сети общего пользования выросли до 120 млрд. кВт·час в год, или до 13,5% от объема производства. Ежегодные потери нефти оцениваются в 10÷12 млн. тонн, а моторных топлив - в 11÷12 млн. тонн, что составляет 3,7% и 5,7% от объема их производства соответственно. В то же время каждый процент экономии энергоресурсов обеспечивает прирост национального дохода на 0,35% [1, 2, 5].

Основными причинами ухудшения энергоиспользования являются спад промышленного производства, износ энергопотребляющего и энергопроизводящего оборудования, который достиг 63÷75%.

Постоянно растет доля стоимости энергоресурсов в структуре затрат на производство продукции. Их доля в затратах на оплату коммунальных платежей составляет в разных регионах от 40 до 70%.

Удельная энергоемкость валового продукта в мире составила 443 кг у.т. в расчете на 1000 долл. США (1990 г.). Для сравнения можно указать, что по методике расчета, принятой в Международном энергетическом агентстве, суммарное производство первичных энергетических ресурсов в России в 1995 г. составило 1361 млн. т.у.т., а их внутреннее потребление - 898 млн. т.у.т. Удельная

энергоёмкость валового внутреннего продукта в России в 1995 г. была почти втрое выше среднемирового показателя и составила 1287 кг у.т. в расчете на 1000 долл. США (1990 г.).

За последние 15-20 лет энергоёмкость в большинстве индустриально развитых странах мира снизилась, тогда как электроёмкость во многих странах проявила тенденцию к росту (табл. 3).

Таблица 3  
Удельные показатели стран мира

Страна	Энергоёмкость, т у.т. на 1000 долл. США		Электроёмкость, кВт·ч на 1 долл. США	
	1995 год	1973 год	1995 год	1973 год
Бельгия	0,40	0,33	0,48	0,36
Австрия	0,21	0,24	0,29	0,28
Бельгия	0,36	0,4;	0,36	0,30
Великобрит.	0,30	0,31	0,32	0,40
Германия	0,27	0,31	0,29	0,34
Италия	0,20	0,21	0,23	0,21
Канада	0,54	0,59	0,38	0,38
Нидерланды	0,33	0,37	0,29	0,27
США	0,49	0,53	0,55	0,54
Франция	0,27	0,26	0,31	0,22
Швейцария	0,16	0,14	0,23	0,19
Швеция	0,31	0,30	0,58	0,70
Япония	0,23	0,24	0,30	0,30

Энергоёмкость мировой экономики к 2020 г. сократится почти на четверть, при этом, как предполагают прогнозисты Европейского сообщества, самой энергоэффективной останется экономика Японии и стран Европейского сообщества, тогда как наиболее энергорасточительной будет оставаться экономика стран СНГ, энергоёмкость которой и в 2020 г., согласно западным оценкам, будет в 6 раз больше, чем в Японии, и почти втрое выше, чем в США. Прогнозируемая динамика удельного энергопотребления и энергоёмкости мировой экономики по некоторым странам или регионам в период до 2020 г. приведена в табл. 4.

Таблица 4  
Удельное энергопотребление

	2000 год	2010 год	2020 год
в мире, кг.у.т./чел	2200	2240	2290
Энергоёмкость мировой экономики, т.у.т./млн экю (1985 г.), в том числе в :	540	470	410
Странах СНГ	1770	1425	1180
США	410	370	340
Европейском союзе	390	330	290
Японии	250	220	200
Латинской Америке	520	420	350
Африке	740	690	630
Азии (без Японии и Китая)	970	700	530
Китае	1290	800	540
Ближнем Востоке	410	470	340

Состояние потребления первичной энергии на единицу внутреннего валового продукта (ВВП) показывается рис. 2.

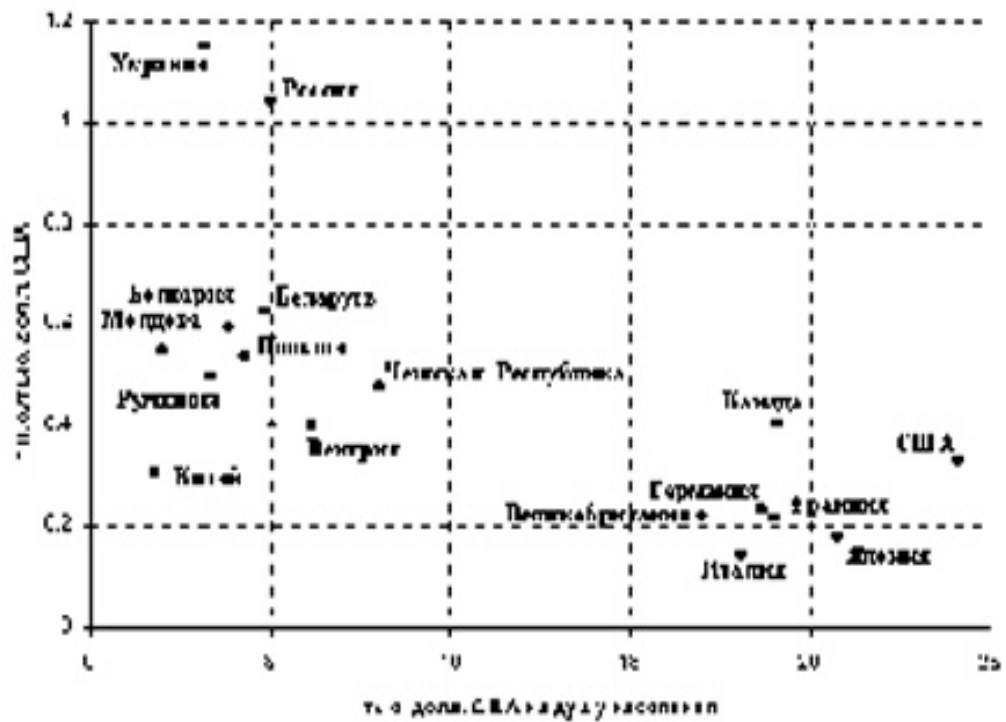


Рис. 1 Потребление первичной энергии на единицу ВВП и уровень экономического оборудования

На рисунке 3 приведено графическое отображение динамики энергоёмкости ВВП в России в 1990-1996 гг.

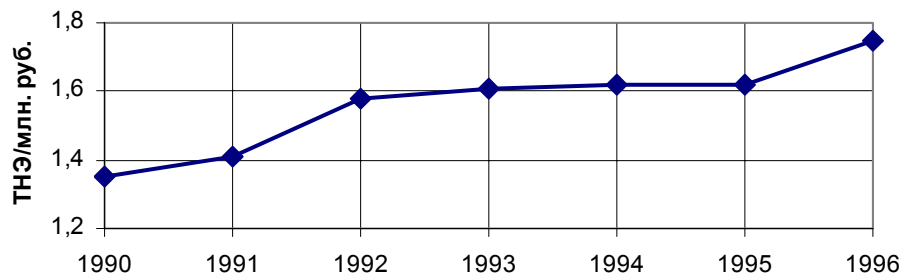


Рис. 3 Динамика энергоёмкости ВВП в России в 1990-1996 гг.

### 1.2.3. Связь между производством и потреблением энергоресурсов и состоянием окружающей среды.

С объемами потребления энергии напрямую связаны некоторые показатели качества жизни человека на Земле. Одним из таких показателей принята продолжительность жизни человека. В прошлом столетии по мере роста удельного потребления энергии от минимального значения до 4 т.у.т./человека средняя продолжительность жизни человека прямо пропорционально выросла с 30 до 56 лет. Высокий уровень энергопотребления в развитых странах сопровождался высокими показателями качества жизни в этих странах.

Наблюдается определенная статистическая зависимость и для России, Так при изменении в России энергообеспечения примерно от 300 кВтч/чел (1900 г.) до 6500 кВтч/чел (1990 г.) прирост средней продолжительности жизни составил почти 40 лет. Сложившаяся после 1991 года экономическая ситуация способствовала снижению уровня энергообеспечения, что сказалось на средней продолжительности жизни, которая снизилась за период с 1991 года на 4-6 лет.

Такая зависимость двух показателей существует, если обратной связью здесь являются показатели роста внутреннего национального продукта, способствующего успехам в медицинских и других научных дисциплинах. Но даже при благоприятном стечении обстоятельств в росте показателя качества жизни может наблюдаться насыщение, а затем и спад. Одна из причин этого тесная взаимосвязь между ростом производства энергии и загрязнением окружающей среды.

При сжигании различных видов топлива в атмосферу с отходящими газами попадают вредные вещества, такие как оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, углеводороды, пылевые выбросы, количество которых зависит от вида топлива (таблица 5.).

Таблица 5.

Удельные выбросы продуктов сгорания при факельном сжигании органических топлив в энергетических котлах. Теплота сгорания топлива, Q<sub>нр</sub>, МДж/кг

ВЫБРОСЫ	ТОПЛИВО		
	ГАЗ, г/м <sup>3</sup>	Мазут, кг/т	Уголь, кг/т
Sox (SO <sub>2</sub> )	0,006-0,01	21×S <sup>p</sup>	17-19×S <sup>p</sup>
Nox (NO <sub>2</sub> )	5-11	5-14	4-14
CO	0,002-0,005	0,005-0,05	0,10 – 0,45
Углеводороды	0,016	0,1	0,45-1,0
H <sub>2</sub> O (пар)	1000	700	230-360
CO <sub>2</sub>	2000	3000	2200-3000
	—	10×A <sup>p</sup>	10×A <sup>p</sup>
Q <sup>нр</sup> , МДж/кг	32-35	38-40	15-25

S<sup>p</sup> – норма содержания серы в сухом топливе (в %)

A<sup>p</sup> - норма содержания золы в сухом топливе (в %)

Практически пропорционально количеству потребленной энергии наблюдается рост выбросов углекислого газа в атмосферу (CO<sub>2</sub>). При мировом потреблении энергии, эквивалентной порядка 10-11 млрд. т.у.т. в год эмиссия диоксида углерода составляет более 6 млрд. тонн в год. Наибольший рост выбросов диоксида углерода наблюдается в последние десятилетия прошлого века (выбросы углекислого газа выросли в три раза по сравнению с уровнем 1950 года). Экологи предсказывают, что накопление углекислого газа в атмосфере приводит к возникновению парникового эффекта и глобальному потеплению климата с катастрофическими последствиями. Падение в 90 –х годах производства в России привело к некоторому сокращению производства и потребления энергии, что почти на 40 % снизило выбросы атмосферных загрязнений от стационарных источников. При этом удельные выбросы в г/тыс. руб. остались на уровне 1990 года. Это свидетельствует о том, что в 90-х годах показатели энергоэффективности значительно ухудшились, Это следует из анализа табличных данных (таблица 6). Под первичной энергией понимается энергия, заключенная в топливо–энергетических ресурсах.

В 1990 году объем вредных выбросов в атмосферу составил в России 65 млн. тонн. Распределение между источниками загрязнений приведено в таблице 7.

Таблица 6.

Динамика некоторых экономических, энергетических и экологических показателей России.

Показатель	Единицы измерения	1990	1993	1996	1996 г. к 1990 г. в %
Внутренний валовый продукт	млрд. долларов США 1995 г.	1018	735	625	61,4
Производство первичной энергии	млн. т.у.т.	1862	1539	1390	74,7
Потребление первичной энергии	млн. т.у.т.	1602	1158	978	61,05
Энергоемкость ВВП – нетто*	т.у.т./1000 USD 1995 г.	1,57	1,58	1,56	99,4
Удельные выбросы	т/1000 USD	34,1	33,7	32,6	95,6

\*) Энергоемкость – нетто рассчитывается по величине потребления первичной энергии:  
 Энергоемкость – нетто = Потребление первичной энергии/ Внутренний валовый продукт (по курсу доллара указанного года).

Таблица 7.

Источники загрязнений атмосферного воздуха, %

Источники	Диоксид серы	Оксиды азота	Оксид углерода	Углеводороды	Пылевые выбросы
1.Электростанции, котельные	78	44	2	2	26
Промышленное производство	20	1	11	41	51
3.транспорт	--	51	58	52	3
Пожары	--	1	19	--	9
Прочие источники	2	3	10	5	11
Всего	100	100	100	100	100

Экологически вредным фактором, напрямую связанным с объемом энергопотребления, является тепловое загрязнение. Другие экологически вредные факторы связаны с уровнем энергопотребления опосредованно. Так, уровень загрязнения атмосферы летучей золой предопределяется не только мощностью установки по производству тепла, но и технологией сжигания топлива, качеством устройства пылеулавливания и рассеяния выбросов. В части теплового загрязнения атмосферы, можно сказать, что объемы энергопотребления (топлива, горячей воды, пара) одновременно объемами теплового загрязнения окружающей среды. Динамика теплового загрязнения в мире от энергетических производств представлена в таблице 8.

Таблица 8.

Динамика теплового загрязнения в мире от энергетических производств.

Показатель	1972	1985	2000
Мощность потока теплового загрязнения, млн. МВт	6,0	9,6	32,0
Отвод тепла в окружающую среду, млн. Гкал**	45200	72300	241000

\*\*)Отвод тепла в окружающую среду, млн. Гкал = Мощность потока теплового загрязнения, млн. МВт×365×24×3,6=45200.

Последнее особенно актуально для водной фауны и флоры, поскольку по сложившейся технологии сброса избыточного тепла значительная часть его отводится в водоемы, что приводит к их значительному подогреву.

Проблема теплового загрязнения имеет два измерения: глобальное и локальное. Можно допустить, сто в глобальном масштабе это загрязнение (уровень 2000 г.) составляет лишь 0,019% от уровня поступающей на Землю солнечной радиации, то есть не превышает один процент. С другой стороны энергетика хозяйственной деятельности человека достигла уровня энергетических процессов, происходящих в природе, например энергетические затраты в природных процессах фотосинтеза составляют величину порядка 100 млн. МВт, а как следует из таблицы, мощность потока теплового загрязнения составляет 32 млн. МВт.

Гораздо более впечатляющи локальные очаги тепловых загрязнений. Для примера максимальная плотность потока солнечной радиации вблизи земной поверхности составляет 935 Вт/м<sup>2</sup>. Плотность потока тепла от хозяйственной деятельности человека составляет величину в среднем по Германии 1,62 Вт/м<sup>2</sup>, достигая в ряде районов величины 17 Вт/м<sup>2</sup>, что составляет величину порядка 1,8% от потока солнечной радиации.

Борьба с тепловым загрязнением с инженерной точки идентична работе по энергосбережению. Чем на более высоком уровне находится энергосберегающие технологии, тем более интенсивно ведется борьба с тепловым загрязнением окружающей среды. Связь здесь прямая. Уменьшив энергопотребление в какой-либо отрасли в два раза, мы уменьшаем связанное тепловое загрязнение в два раза. И так далее по любому из направлений энергопотребления.

Загрязнение гидросферы. Ежегодное потребление воды в России составляет 105 млрд. куб. м., из них около 40% или 42 млрд. куб. м. потребляют энергетические объекты. При этом 1 млрд. куб. м. воды электрические станции сбрасывают химически загрязненной. Другим неблагоприятным фактором является тепловое загрязнение воды – повышение температуры воды в водоемах. Основным фактором, ухудшающим качество воды, является снижение растворимости кислорода (на одну треть при повышении температуры до 30 С).

Ряд негативных показателей в мировом масштабе. За последние 100-130 лет бурного роста энергопотребления произошли глобальные изменения в природе:

- более чем в три раза выросла концентрация углекислого газа в атмосфере;
- содержание диоксида серы в атмосфере выросло почти на 80%;
- содержание оксида углерода в атмосфере выросло почти на 100% (увеличилось вдвое).

Загрязнение океана нефтепродуктами возросло по сравнению с природным более чем в 3500 раз.

Высокий уровень энергоемкости в сочетании с преобладанием в энергобалансе органических топлив ведет к опасным последствиям для природной среды и человека.

#### **Подходы к решению проблемы.**

Проведение эксплуатационных и организационно-экономических мероприятий.

Переход на менее энергоемкое оборудование, технологии и производства.

Реализация природоохранных мероприятий.

В первом случае за счет повышения уровня эксплуатации действующего оборудования, применения таких методов управления энергопотреблением, как организация учета и контроля, нормирование удельных расходов топлива и энергоносителей, поощрение энергосбережения можно обеспечить реализацию до 30% от общего потенциала энергосбережения. Капитальные вложения здесь минимальны, эффект зачастую достигается за счет «человеческого фактора».

Остальные 70% энергосберегающего потенциала могут быть достигнуты в результате достаточно высоких инвестиций со сроком окупаемости до 2-5 лет. В числе мероприятий по внедрению энергосберегающих технологий следует выделить:

- ◆ внедрение технологий с малым сроком окупаемости до 1,5 лет;
- ◆ создание систем экономического стимулирования реализации энергосберегающих мероприятий (создание внебюджетных фондов, демонстрационных зон и др.);
- ◆ подготовка целевых программ энергосбережения на федеральном, региональных и муниципальных уровнях использование нетрадиционных источников энергии, развитие автономных источников энергоснабжения, развитие систем регулирования расхода энергии и др.).

К числу природоохранных мероприятий можно отнести:

- ◆ применение технологических методов подавления образования оксидов азота;
- ◆ создание замкнутых циклов водоснабжения без сбросов загрязненных стоков;
- ◆ повышение эффективности существующих пылеуловителей;
- ◆ изменение структуры генерируемой энергии др.

Изменение структуры генерируемой энергии подразумевает:

- ◆ замещение части органического топлива экологически чистыми возобновляемыми источниками энергии;

- ◆ замена редукционных установок на турбогенераторы малой мощности;
- ◆ замена регуляторов давления природного газа в газорегулирующих пунктах на газорасширительные турбоустановки;
- ◆ использование потенциальной энергии различных газовых потоков для выработки электроэнергии;
- ◆ утилизация тепловых отходов электростанций в том числе:
  - орошение сельскохозяйственных угодий
  - использование в тепличном хозяйстве
  - перегонка мазута и тяжелых нефтепродуктов
  - получение дополнительной электроэнергии, например, с помощью термоэлементов
  - подогрев свежей воды, поступающей на электростанцию, для предупреждения осаждения солей на стенках трубопроводов.

Утилизация тепловых отходов электростанций представляет собой пример борьбы с тепловым загрязнением окружающей среды путем полезного применения, а не простого сбрасывания отходов в окружающую среду.

#### **1.2.4. Актуальность и потенциал энергосбережения в стране.**

Энергосбережение – это уменьшение потребления топлива, тепловой и электрической энергии за счет их наиболее полного и рационального использования во всех сферах деятельности человека. Энергосбережение имеет важное значение для развития мировой экономики и в особенности для развития экономики нашей страны. Это обусловлено следующими основными причинами:

**1.** Постепенное истощение запасов, усложнение добычи и увеличение стоимости природного органического топлива, которое в настоящее время трудно заменить другими, в т.ч. возобновляемыми источниками энергии.

Общее потребление топлива в мире в 2000 году составляет примерно 17 Гигатонн условного топлива. Рост мирового потребления топлива продолжается, несмотря на меры по его ограничению, предпринимаемые мировым сообществом. Это обусловлено общим ростом производства и транспортных перевозок.

Доля возобновляемых источников энергии в общем количестве вырабатываемой энергии в ближайшее время не превысит 10 % (это не значит, что их не нужно развивать, наоборот, их нужно использовать в полной мере), и они не смогут существенно изменить общую ситуацию с потреблением топлива. Кроме того, много топлива используется напрямую - при выплавке и обработке металла, в двигателях транспортных средств, для приготовления пищи на газовых плитах.

Вновь открываемые месторождения требуют больших затрат на их освоение и прокладку магистралей для транспорта топлива. Рост потребления и усложнение добычи приводят к росту цен на топливо. Так, в 2000 году наблюдалось беспрецедентное повышение цен на нефть, которое повлекло за собой рост цен на другие энергоносители. По оценкам многих экспертов откат цен на топливо до уровня 1999 года вряд ли возможен, и их рост в долгосрочной перспективе будет продолжаться. Результатом роста цен на топливо становится рост цен на товары и услуги и общее замедление темпов экономического роста, либо прямое снижение жизненного уровня.

**2.** Усложнение экологической ситуации, связанное с увеличением выбросов токсичных и канцерогенных (вызывающих возникновение злокачественных опухолей, например, бенз-а-пирен) продуктов сгорания, а также веществ, разрушающих озоновый слой атмосферы.

Выбрасываемые при сжигании топлива в атмосферу вещества ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,) и продукты их химических превращений в атмосфере приводят к разрушению озонового слоя, усилению парникового эффекта, появлению кислотных дождей. Увеличивая рост эмиссии углекислого газа, человечество вносит свою долю в общее повышение температуры земной поверхности и изменение климата. Существующие методы очистки - не могут полностью избавить от негативных последствий выбросов. Одновременно загрязняются и поверхностные водоемы – как за счет их нагрева, так и при промывке продуктов сгорания.



Значительный вред окружающей среде наносится не только при сжигании топлива, но и при его добыче, обработке, транспортировке, захоронении его отходов. Кроме постоянного, так сказать "планируемого" загрязнения, все чаще происходят чрезвычайные случаи, таких как разливы нефти при авариях танкеров, разрывах нефтепроводов, утечки газов из емкостей, самовозгорание запасов угля и т.д. Многие из них не только наносят вред окружающей среде, но и представляют опасность для жизни и здоровья людей.

### **Особую актуальность вопросы энергосбережения имеют для России.**

**1.** По климатическим условиям затраты топлива как на обеспечение населения теплом, так и на выпуск продукции в России наиболее высоки. Россия - самая холодная в мире страна, как по длительности отопительного сезона, так и доле населения, проживающей в областях, где наблюдается отрицательная среднегодовая температура. Обогрев, снабжение горячей водой и теплым вентиляционным воздухом каждого жителя России требуют больших затрат топлива, чем Канаде и Скандинавии. Больше энергии требует обогрев общественных зданий и промышленных предприятий. Воздух, направляемый на сжигание топлива и вода идущая на подпитку систем теплоснабжения, добываемое в холодное время года природное топливо и сырьевые ресурсы имеют более низкую температуру, чем в других странах. Большими непроизводительными затратами энергии сопровождается транспортировка теплоносителей по тепловым сетям.

**2.** По сравнению со странами западной Европы и Соединенными Штатами Америки энергетические ресурсы используются недостаточно эффективно. Как показано выше, некорректно напрямую сравнивать энергопотребление России с энергопотреблением стран с существенно более теплым климатом, таких как США. (Наиболее близкой к России по климатическим характеристикам является Канада.) Однако, и с учетом поправок на климат удельные затраты на единицу продукции в России существенно выше. Наша страна обладает самым высоким потенциалом энергосбережения. По различным оценкам доля энергии, которую можно сэкономить составляет от 30 до 40% топливно-энергетического баланса страны.

В настоящее время имеется существенная разница между стоимостью энергетических ресурсов в России и за рубежом. Стоимость электроэнергии на начало 2001 г. в России примерно в два - два с половиной раза ниже, чем в Европе, стоимость природного газа - в 5 раз. Эта разница приводит к постоянному росту доли энергетической составляющей в стоимости отечественных товаров и услуг. Для того, чтобы обеспечить конкурентоспособность производства, подъем экономики и уровня жизни населения необходимо снижать энергозатраты на единицу продукции и потребление тепловой и электрической энергии в коммунальном хозяйстве.

**3.** Месторождения топлива в России сосредоточены в отдаленных и труднодоступных местах (Западная Сибирь, Заполярье). В результате затраты на добычу топлива, его транспортировку, на освоение новых месторождений выше, чем в других нефтедобывающих странах: странах арабского Востока, Иране, Мексике, Венесуэле, Брунее.

В настоящее время затраты на экономию энергии в местах ее использования в 4-6 раз ниже, чем на добычу первичного топлива.

**4.** Старение и уменьшение эффективности энергетического оборудования: электростанций, котельных, тепловых сетей, теплоиспользующих установок. Недостаток средств на строительство новых энергетических объектов.

Кризисное состояние энергетики, связанное со спадом производства во всех отраслях ТЭК; низким техническим уровнем основного оборудования ТЭК, быстро растущей его изношенностью и, как следствие, высокой стоимостью производимых ТЭР; спадом инвестиций в отрасли ТЭК и т.д., снижает энергобезопасность страны. Повышение эффективности использования энергии может стать двигателем устойчивого экономического роста в России, поскольку энергетика - основа экономики и существования любого цивилизованного государства.

Согласно имеющимся прогнозам с учетом фактического роста промышленного производства дефицит топлива в 2000-2002 годах может сложиться в объеме 11-38 млн. т.у.т. в год, который далее будет нарастать. Однако, при увеличивающейся потребности в ТЭР ожидается снижение производства природного газа.

Наметившийся дефицит в топливе и энергии на 2000-2002 годы следует компенсировать ростом добычи и глубины переработки угля, а также включением в состав приходной части баланса ТЭР статьи «Энергосбережение», предусматривающей сокращение потребности в энергоресурсах за

счет повышения эффективности их использования. Известно, что потенциал энергосбережения в стране достигает ~ 40-45% от потребляемых энергоресурсов.

### **1.3. Проблема повышения эффективности использования ТЭР в стране и основные направления ее решения.**

1.3.1. Системный подход решения проблемы энергосбережения.

1.3.2. Роль государственных органов в решении проблемы энергосбережения.

#### **1.3.1. Системный подход решения проблемы энергосбережения.**

В течение двух последних десятилетий в России не происходило существенного обновления энергетического оборудования. Российская энергетика в современном состоянии не сможет обеспечить значительных темпов роста промышленного производства. Для ее обновления и реконструкции нужны огромные средства. Проведение энергосберегающих мероприятий обходится намного дешевле и быстро окупается. Ввод в действие новых, современных энергетических объектов требует еще и времени. Выходом из создавшейся ситуации может быть энергосбережение.

Экономия энергии неразрывно связана не только с состоянием окружающей среды, но и со сбережением ресурсов. На добычу руды и выплавку металла, на производство бумаги, ткани, пищевых продуктов требуется значительное количество топлива, тепловой и электрической энергии. Важнейшим ресурсом, который можно и нужно экономить, является вода. Экономия ресурсов во всех отраслях хозяйственной деятельности влечет за собой существенную экономию первичного топлива. Энергосбережение - это не только техническая проблема. Она имеет и социальную и воспитательную сторону. Следует помнить, что впустую тратить энергию, питьевую воду, металл, другие ресурсы не менее аморально, чем выбрасывать хлеб. Их выработка требует не меньше труда, а холод и отсутствие света не менее страшны для человека, чем голод.

Энергосбережение может явиться одним из главных рычагов для подъема экономики, однако повсеместное применение энергосберегающих мероприятий должно сопровождаться их всесторонним и серьезным анализом. И этот анализ должен включать не только технико-экономический анализ эффективности энергосберегающих мероприятий у одного конкретного потребителя энергии. Необходимо знать, как скажутся эти мероприятия на работе источника теплоты и других потребителей, на работе сетей теплоснабжения. Возможны такие негативные последствия как работа мощностей у источников энергии на ненормальных режимах (с уменьшением к.п.д. и срока службы), разбалансировка тепловых сетей и т.д. Одновременно необходимо рассматривать технологические, экологические, социальные последствия внедрения энергосберегающих мероприятий. Таким образом, вопросы энергосбережения необходимо рассматривать в комплексе, то есть при их решении необходим так называемый системный подход.

#### **1.3.2 Роль государственных органов в решении проблемы энергосбережения.**

Государство, региональные и муниципальные органы принимают меры призванные развивать энергосбережение. Вышли в свет такие важные законодательные документы, как Федеральный закон "Об энергосбережении", "Энергетическая стратегия России на период до 2020 года". Большая роль в решении задачи энергосбережения отводится подготовке кадров.

Специалистам в области теплоэнергетики необходимо знать основные пути использования тепловой энергии и основные способы ее экономии в тех или иных теплоиспользующих установках.

Технически труднее по сравнению с электрической энергией осуществить передачу тепла на дальние расстояния, обеспечить его учет и регулирование. Наибольшие непроизводительные затраты связаны с процессами сжигания топлива, а также выработки, передачи и использования тепловой энергии. С чисто термодинамической точки зрения теплоту, как менее организованную форму энергии труднее полезно использовать.

В технике и технологии разработано большое число энергосберегающих мероприятий. Многие из них связаны с перераспределением потоков тепловой энергии внутри установок или предприятий. Для их осуществления широко используются теплообменные аппараты. В настоящем пособии рассматриваются вопросы применения теплообменных аппаратов для экономии энергетических ресурсов в промышленных теплоиспользующих установках и в коммунальном хозяйстве, знание которых необходимо для практической реализации энергосберегающих мероприятий. Как одно из направлений снижения энергоемкости валового внутреннего продукта, рассматриваются вопросы ресурсосбережения при проектировании и изготовлении теплообменных аппаратов, которое может быть достигнуто с помощью интенсификации процессов тепло- и массообмена в их проточной части, а также за счет применения развитых поверхностей теплообмена.

В целях стабилизации кризисных явлений в энергообеспечении российской экономики и социальной сферы Правительство в 90-е годы приняло меры к формированию научной и правовой базы энергосбережения.

«Энергетической стратегией России» на период до 2010 года, принятой Правительством 7 декабря 1994 г., в качестве высшего приоритета энергетической политики поставлена задача повышения жизненного уровня населения за счет роста прямых энергетических услуг, осуществляемых при углублении электрификации и газификации быта, села и общественного транспорта, и повышении эффективности использования энергии.

3 апреля 1996 года в целях создания экономических и организационных условий для эффективного использования энергетических ресурсов был принят Федеральный закон «Об энергосбережении» № 28-ФЗ, который регулирует отношения, возникающие в процессе деятельности в области энергосбережения. Этим законом определены основные принципы энергосберегающей политики государства, установлены требования к стандартизации, сертификации и метрологии в области энергосбережения, определены основы государственного управления энергосбережением, включая осуществление государственного надзора за эффективностью энергопотребления, проведение энергетических обследований организаций и учет энергетических ресурсов. Определены основные финансовые и экономические механизмы и льготы.

Указом Президента и постановлением Правительства на Минтопэнерго возложены в том числе и такие функции как:

- ◆ разработка и реализация совместно с федеральными органами исполнительной власти государственной политики в области энергосбережения;
- ◆ разработка и координация реализации основных направлений политики энергосбережения, подготовка предложений по их финансированию;
- ◆ надзор за эффективным использованием энергоресурсов.

Постановлением Правительства Российской Федерации № 80 от 24 января 1998 г. «О федеральной целевой программе «Энергосбережение России» на 1998-2005 годы» утверждена разработанная Минтопэнерго России указанная федеральная целевая программа.

Целью федеральной целевой программы «Энергосбережение России», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 24.01.98 г. № 80, является ускоренный перевод российской экономики на энергосберегающий путь развития, достижение в период по 2005 год суммарной экономии энергетических ресурсов в объеме 365-435 млн. тут, снижение на 13,4% энергоемкости ВВП России, сокращение на 50-60% бюджетных дотаций населению при снижении цен и тарифов на топливо и энергию.

Современное состояние в области энергоэффективности можно оценить как период перевода основных направлений работ от формирования идеологии и нормативно-правовых положений в сферу практической деятельности, последовательной поэтапной отработки технологии «реального энергосбережения». Основным проводником этой работы должны быть органы государственного энергетического надзора Минтопэнерго России.

Реализация активной государственной политики повышения экономической эффективности использования энергии, сочетающей как государственное управление, так и рыночные механизмы заинтересованности в энергосбережении позволит:

- 1) существенно сократить общенациональные затраты на обеспечение надежного энергосбережения, поскольку энергосберегающие проекты в среднем в 5 раз менее капиталоемки, чем проекты по производству энергии;
- 2) сократить издержки производства и расходы населения на энергоносители, и тем самым смягчить финансовый кризис и инфляционный эффект повышения цен на энергоносители;
- 3) повысить экспортный потенциал страны без увеличения добычи топлива;
- 4) повысить конкурентоспособность российских товаров и услуг на внешних рынках;
- 5) существенно сократить негативное воздействие энергетики на состояние окружающей среды без дополнительных затрат на оснащение объектов, производящих и потребляющих энергию, оборудованием по улавливанию вредных отходов;
- 6) продлить сроки использования невозобновляемых энергетических ресурсов, имеющихся в недрах Российской Федерации;
- 7) увеличить занятость, поскольку каждый рубль, вложенный в производство энергоэффективного оборудования, создает в 8 раз больше рабочих мест, чем рубль инвестированный в производство энергии.

Сказанное выше определяет актуальность совершенствования системы управления реализацией федеральной политики повышения экономической эффективности использования энергии.

## ***РАЗДЕЛ 2. Государственная политика в области повышения эффективности использования энергии. Управление энергосбережением в России мире.***

---

### **2.1. Государственная энергетическая политика России.**

- 2.1.1.** Энергетическая стратегия страны в период становления демократии.
- 2.1.2.** Энергетическая стратегия России на период до 2020 года.

#### **2.1.1. Энергетическая стратегия страны в период становления демократии..**

Энергорасточительство, сохранившееся со времен искусственной дешевизны ресурсов, усугубляется общим экономическим кризисом и отсутствием инвестиций для перестройки сферы производства и потребления топлива и энергии. До 40% всех используемых в стране энергоносителей расходуется нерационально, либо в виде прямых потерь, либо в экономике, которая не дает конкретного полезного эффекта у потребителя, отягощая расходную часть бюджетов всех уровней.

Повышение эффективности использования энергии на всех этапах от добычи первичных энерго-ресурсов до их реализации в промышленных технологиях является одной из основ устойчивого экономического роста в стране, повышает экономическую безопасность, является важным фактором снижения эмиссии парниковых газов в окружающую среду.

Законодательно оформленное деление функций по управлению процессом повышения экономической эффективности использования энергии между органами государственного управления на федеральном уровне и уровне субъекта Российской Федерации в настоящее время отсутствует.

В целях стабилизации кризисных явлений в энергообеспечении российской экономики и социальной сферы Правительство в 90-е годы приняло меры к формированию научной и правовой базы энергосбережения.

"Энергетической стратегией России" на период до 2010 года, принятой Правительством 7 декабря 1994 г., в качестве высшего приоритета энергетической политики поставлена задача повышения жизненного уровня населения за счет роста прямых энергетических услуг, осуществляемых при углублении электрификации и газификации быта, села и общественного транспорта, и повышении эффективности использования энергии.

3 апреля 1996 года в целях создания экономических и организационных условий для эффективного использования энергетических ресурсов был принят Федеральный закон "Об энергосбережении" № 28-ФЗ, который регулирует отношения, возникающие в процессе деятельности в области энергосбережения. Этим законом определены основные принципы энергосберегающей политики государства, установлены требования к стандартизации, сертификации и метрологии в области энергосбережения, определены основы государственного управления энергосбережением, включая осуществление государственного надзора за эффективностью энергопотребления, проведение энергетических обследований организаций и учет энергетических ресурсов. Определены основные финансовые и экономические механизмы и льготы.

Указом Президента и постановлением Правительства на Минтопэнерго возложены в том числе и такие функции как:

разработка и реализация совместно с федеральными органами исполнительной власти государственной политики в области энергосбережения;

разработка и координация реализации основных направлений политики энергосбережения, подготовка предложений по их финансированию;

надзор за эффективным использованием энергоресурсов.

Постановлением Правительства Российской Федерации № 80 от 24 января 1998 г. "О федеральной целевой программе "Энергосбережение России" на 1998-2005 годы" утверждена разработанная Минтопэнерго России указанная федеральная целевая программа.

Целью федеральной целевой программы "Энергосбережение России", утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 24.01.98 г. № 80, является ускоренный перевод российской экономики на энергосберегающий путь развития, достижение в период по 2005 год суммарной экономии энергетических ресурсов в объеме 365-435 млн. руб., снижение на 13,4% энергоемкости ВВП России, сокращение на 50-60% бюджетных дотаций населению при снижении цен и тарифов на топливо и энергию.

Современное состояние в области энергоэффективности можно оценить как период перевода основных направлений работ от формирования идеологии и нормативно-правовых положений в сферу практической деятельности, последовательной поэтапной отработки технологии "реального энергосбережения". Основным проводником этой работы должны быть органы государственного энергетического надзора Минтопэнерго России.

Реализация активной государственной политики повышения экономической эффективности использования энергии, сочетающей как государственное управление, так и рыночные механизмы заинтересованности в энергосбережении позволит:

существенно сократить общенациональные затраты на обеспечение надежного энергосбережения, поскольку энергосберегающие проекты в среднем в 5 раз менее капиталоемки, чем проекты по производству энергии;

сократить издержки производства и расходы населения на энергоносители, и тем самым смягчить финансовый кризис и инфляционный эффект повышения цен на энергоносители;

повысить экспортный потенциал страны без увеличения добычи топлива;

повысить конкурентоспособность российских товаров и услуг на внешних рынках;

существенно сократить негативное воздействие энергетики на состояние окружающей среды без дополнительных затрат на оснащение объектов, производящих и потребляющих энергию, оборудованием по улавливанию вредных отходов;

продлить сроки использования невозобновляемых энергетических ресурсов, имеющихся в недрах Российской Федерации;

увеличить занятость, поскольку каждый рубль, вложенный в производство энергоэффективного оборудования, создает в 8 раз больше рабочих мест, чем рубль инвестированный в производство энергии.

Сказанное выше определяет актуальность совершенствования системы управления реализацией федеральной политики повышения экономической эффективности использования энергии.

### **2.1.2. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года.**

На современном этапе базовым фактором, определяющим динамику внутреннего энергопотребления, стала эволюция жизненного уровня и образа жизни населения. В Энергетической стратегии предусмотрено, что общий объем и душевые показатели потребления семей, сократившись на одну треть с 1990 по 2000 г., достигнут докризисного уровня при благоприятных условиях к 2010 г., а к 2020 г. увеличатся в три раза относительно существующего уровня.

Повышение жизненного уровня существенно изменит объемы и структуру душевого потребления энергии. Оно упало с 8,5 до 6,2 т у.т. (на 27 %) в 1990-1999 гг. При благоприятных условиях развития экономики рост душевого энергопотребления будет достаточно интенсивным – в 1,3 раза за период. В результате в 2020 г. оно составит 8,3-8,4 т у. т. и вплотную приблизится к докризисному уровню, но так его и не достигнет. В пониженном варианте объем душевого потребления энергии вырастет к 2020 г. до 7,6 т у.т.

Тенденции душевого потребления электроэнергии отличаются тем, что после спада на 21,5 % между 1990 и 1999 г. оно будет систематически расти, превысив докризисный уровень уже до 2010 г. В целом процессы электрификации существенно интенсифицируются.

Расчеты потребности страны в энергетических ресурсах в Стратегии выполнены при разных вариантах энергосбережения. При этом, исходя из логики развития, рост экономики в благоприятных условиях сочетается с высоким энергосбережением (табл. 6.).

Одним из важных факторов, определяющих общие размеры и структуру энергопотребления, являются перспективные уровни цен топлива и энергии.

В предстоящий период наиболее динамично будет расти потребление электроэнергии - на 21-35 % в период к 2010 г. и в 1,4 -1,8 раза к 2020 г. по сравнению с уровнем 1995 г. Электроёмкость ВВП после 2000 г. будет систематически снижаться.

Прогнозируется очень умеренный рост централизованного теплоснабжения: к 2020 г. даже в благоприятном варианте оно превысит уровень 1995 г. только на 11-12 %. Это связано со структурными сдвигами в экономике, реализацией накопленного потенциала экономии тепла и с преимущественным развитием индивидуальных его источников.

Потребность в нефтяном моторном топливе, хотя и вырастет по сравнению с 1995 г. за рассматриваемый период на 25 - 62% , но так и не достигнет докризисного уровня, несмотря на широкую автомобилизацию страны, особенно населения. В качестве моторного топлива в предстоящий период будут также широко использоваться сжиженный и сжатый природный газ (в эквиваленте до 5 млн. т нефтепродуктов к 2010 г. и до 10-12 млн. т в 2020 г.) и получат распространение в мобильной энергетике электропривод, водородные двигатели и топливные элементы.

Энергетической стратегией предусматривается рационализация структуры перспективного топливно-энергетического баланса страны. Так, за предстоящее двадцатилетие при общем росте энергопотребления на 13-35 %, потребление природного газа возрастет на 9-19 %, нефтепродуктов – на 9 – 37 %, а угля – на 21-54 %, электроэнергии, выработанной на АЭС – в 1,8 – 2,6 раза. В результате доля газа в структуре потребления первичных энергоресурсов снизится с почти 48 % в 2000 году до 42-45 % в 2020 г., а тогда как доля угля возрастет с 20 % до 21-23 %, а электроэнергии АЭС – с 4 % до 6 %.

Россия располагает большим потенциалом организационного и технологического энергосбережения. Его экспертная оценка с учетом состояния производственной базы отраслей национальной экономики к началу 2000 г. дана в табл. 6. Реализация освоенных в отечественной (нижние значения) и мировой (верхние значения) практике организационных и технологических мер по экономии энергоресурсов способна уменьшить современный их расход в стране на 40-48 % или на 360-430 млн. т у.т. в год. Около трети этого потенциала экономии имеют отрасли ТЭК, другая треть сосредоточена в остальных отраслях промышленности и в строительстве, свыше четверти – в коммунально-бытовом секторе, 6-7 % на транспорте и 3 % в сельском хозяйстве.

Таблица 1.

Внутреннее потребление топлива и энергии\*

Показатели	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Электроэнергия, млрд. кВт.ч				945	1020	1100	1200
	1073	841	864	995	1135	1315	1545
то же, %% к 1998 г.				117	126	136	148
	132,5	103,9	106,8	123	140	163	191
Электроемкость ВВП, кВт.ч/долл.				1,28	1,17	1,07	0,98
	1,08	1,37	1,39	1,25	1,06	0,94	0,86
Теплоэнергия централизованная, млн. Гкал				1485	1520	1570	1620
	2076	1634	1468	1555	1640	1730	1820
Теплоемкость ВВП, Гкал/долл.				2,0	1,8	1,5	1,3
	2,1	2,7	2,37	1,95	1,54	1,24	1,01
Моторное топливо, млн. т в т. ч. бензин дизельное топливо	114	68	66	71-73	75-80	80-95	85-110
	34	26	24	26-27	27-30	30-35	30-40
	57	30	33	34-35	35-40	40-45	40-55
Первичные энерго- ресурсы - всего млн. т у.т.				970	995	1020	1045
	1257	930	921	995	1050	1135	1240
то же, %% к 1998 г.				110	112	115	118
	142,1	105,2	104,2	113	119	128	140
Энергоемкость ВВП, т у.т./тыс.долл.				1,31	1,15	0,99	0,86
	1,27	1,51	1,49	1,25	0,98	0,81	0,69

\* В числителе для пониженного, в знаменателе для благоприятного варианта развития экономики.



Таблица 2.

Потенциал организационно-технологических мер экономии энергоресурсов (2000 г.)

Отрасли	Электроэнергия, млрд. кВт.ч	Централизованное тепло, млн. Гкал.	Топливо, млн. т у.т.	Всего	
				млн. т у.т.	%
Топливо-энергетический комплекс, всего	29-35	70-80	99-100	120-135	33-31
в т.ч. — электроэнергетика и тепло-снабжение	23-28	67-76	70-77	90-100	25-23
Промышленность и строительство	110-135	150-190	49-63	110-140	31-37
Транспорт	7-11	—	22-26	23-30	6-7
Сельское хозяйство	4-5	5	9-11	12-15	3
Коммунально-бытовой сектор	70-74	120-135	46-50	95-110	27-26
Итого	220-260	345-410	230-270	360-430	100

Примерно 20% потенциала энергосбережения или 70-85 млн. т у.т. в год можно реализовать при затратах до 15 долл. за т у.т., т.е. уже при действующих в стране ценах котельно-печного топлива. Наиболее дорогие мероприятия (стоимостью свыше 60 долл. за т у.т.) составляют около 15% потенциала энергосбережения.

Реализация мероприятий стоимостью от 15 до 60 долл. за т у.т., обеспечивающих оставшиеся две трети потенциала энергосбережения (220-280 млн. т у.т. в год), которые сопоставимы с расчётным объёмом структурной экономии энергоресурсов, потребует значительных целевых инвестиций: от 7 до 17 млрд. долл. в период до 2010 г. и от 25 до 50 млрд.

д. долл. в последующее десятилетие.

Таблица 3.

Прогнозы экономии энергии (относительно 2000 г.)

Годы	Всего, млн. т у.т.	В том числе электроэнергия, млрд. кВт. ч
2005	30-55	20-40*
2010	105-140	60-130
2015	185-200	130-230
2020	300-420	190-300

\* Не менее

## **2.2. Федеральный закон "Об энергосбережении".**

**В федеральном законе об энергосбережении представлены:**

- ◆ состав Законодательства РФ об энергосбережении;
- ◆ область применения настоящего федерального закона;
- ◆ перечень объектов государственного регулирования в области энергосбережения;
- ◆ основные принципы энергосберегающей политики государства;
- ◆ принципы стандартизации энергопотребляющей продукции, сертификации продукции и энергетических ресурсов;
- ◆ основные принципы управления в области энергосбережения;
- ◆ порядок разработки энергосберегающей политики;
- ◆ порядок проведения энергетических обследований организаций, потребляющих энергию;
- ◆ порядок организации учета энергетических ресурсов;
- ◆ порядок организации статистического наблюдения за величиной и структурой потребления энергетических ресурсов и их эффективным использованием;
- ◆ экономические и финансовые механизмы энергосбережения (финансирование программ, льготы потребителям и производителям энергетических ресурсов);
- ◆ основные направления международного сотрудничества в области энергосбережения;
- ◆ вопросы образования и подготовки кадров, пропаганды эффективного использования энергетических ресурсов;
- ◆ ответственность за нарушение положений настоящего федерального закона.

**Законодательство Российской Федерации об энергосбережении состоит из:**

настоящего Федерального закона и принимаемых в соответствии с ним других федеральных законов, иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации по вопросам энергосбережения, принимаемых в соответствии с договорами по разграничению предметов ведения и полномочий между органами государственной власти Российской Федерации и органами государственной власти субъектов Российской Федерации.

**Объектом государственного регулирования в области энергосбережения являются отношения, возникающие в процессе деятельности, направленной на:**

- ◆ эффективное использование энергетических ресурсов при их добыче,
- ◆ производстве, переработке, транспортировке, хранении и потреблении;
- ◆ осуществление государственного надзора за эффективным использованием энергетических ресурсов;
- ◆ развитие добычи и производства альтернативных видов топлива, способных заменить энергетические ресурсы более дорогих и дефицитных видов;
- ◆ создание и использование энергоэффективных технологий, топливо-, энергопотребляющего и диагностического оборудования, конструкционных и изоляционных материалов, приборов для учета расхода энергетических ресурсов и для контроля за их использованием, систем автоматизированного управления энергопотреблением;
- ◆ обеспечение точности, достоверности и единства измерения в части учета отпускаемых и потребляемых энергетических ресурсов.

### **Основные принципы энергосберегающей политики государства.**

Энергосберегающая политика государства основана на следующих принципах:

- ◆ приоритет эффективного использования энергетических ресурсов;
- ◆ осуществление государственного надзора за эффективным использованием энергетических ресурсов;
- ◆ обязательность учета юридическими лицами производимых или расходуемых ими энергетических ресурсов, а также учета физическими лицами получаемых ими энергетических ресурсов;
- ◆ включение в государственные стандарты на оборудование, материалы и конструкции, транспортные средства показателей их энергоэффективности;
- ◆ сертификация топливо-, энергопотребляющего, энергосберегающего и диагностического оборудования, материалов, конструкций, транспортных средств, а также энергетических ресурсов;
- ◆ сочетание интересов потребителей, поставщиков и производителей энергетических ресурсов;
- ◆ заинтересованность юридических лиц - производителей и поставщиков энергетических ресурсов в эффективном использовании энергетических ресурсов.

### **Стандартизация, сертификация и метрология в области энергосбережения.**

В государственные стандарты на энергопотребляющую продукцию включаются показатели ее энергоэффективности в порядке, установленном законодательством Российской Федерации. При добыче, производстве, переработке, транспортировке, хранении и потреблении энергетических ресурсов показатели их эффективного использования, а также показатели расхода энергии на обогрев, вентиляцию, горячее водоснабжение и освещение зданий, иные показатели энергопотребления производственных процессов в установленном порядке включаются в соответствующую нормативно-техническую документацию.

Требования, устанавливаемые в области энергопотребления государственными стандартами, техническими нормами и правилами, обязательны для выполнения на всей территории Российской Федерации.

Энергопотребляющая продукция любого назначения, а также энергетические ресурсы подлежат обязательной сертификации на соответствующие показатели энергоэффективности. Обязательная сертификация осуществляется в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Соответствие производимого бытового оборудования требованиям, установленным государственными стандартами в части показателей энергопотребления, подтверждается путем обязательного маркирования указанного оборудования.

При добыче, производстве, переработке, транспортировке, хранении и потреблении энергетических ресурсов, а также при их сертификации осуществляется обязательный государственный метрологический контроль и надзор в области энергосбережения.

### **Основные принципы управления в области энергосбережения.**

Энергосберегающая политика государства осуществляется на основе реализации федеральных и межрегиональных программ в области энергосбережения путем:

- ◆ стимулирования производства и использования топливо- и энергосберегающего оборудования;
- ◆ организации учета расхода энергетических ресурсов, а также контроля за их расходом;
- ◆ осуществления государственного надзора за эффективным использованием энергетических ресурсов;
- ◆ проведения энергетических обследований организаций;

- ◆ проведения энергетической экспертизы проектной документации для строительства;
- ◆ реализации демонстрационных проектов высокой энергетической эффективности;
- ◆ реализации экономических, информационных, образовательных и других направлений деятельности в области энергосбережения.

#### **Финансирование федеральных и межрегиональных программ в области энергосбережения.**

Осуществляется за счет средств государственной финансовой поддержки федерального бюджета, средств бюджетов соответствующих субъектов Российской Федерации, средств российских и иностранных инвесторов, а также за счет других источников в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации.

Потребителям и производителям энергетических ресурсов, осуществляющим мероприятия по энергосбережению, в том числе за счет производства и потребления продукции с лучшими, чем предусмотрено государственными стандартами, показателями, предоставляются льготы в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации.

#### **Проведение энергетических обследований организаций.**

Энергетические обследования проводятся в целях оценки эффективного использования энергетических ресурсов и снижения затрат потребителей на топливо и энергообеспечение. Обязательным энергетическим обследованиям подлежат организации независимо от их организационно правовых форм и форм собственности, если годовое потребление ими энергетических ресурсов составляет более шести тысяч тонн условного топлива или более одной тысячи тонн моторного топлива. Энергетические обследования организаций, если годовое потребление ими энергетических ресурсов составляет менее шести тысяч тонн условного топлива, проводятся по решению органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, ответственных за координацию работ по эффективному использованию энергетических ресурсов. Порядок и сроки проведения энергетических обследований определяются Правительством Российской Федерации.

#### **Учет энергетических ресурсов.**

Весь объем добываемых, производимых, перерабатываемых, транспортируемых, хранимых и потребляемых энергетических ресурсов с 2000 года подлежит обязательному учету. Очередность и правила оснащения организаций приборами для учета расхода энергетических ресурсов, а также правила пользования электрической и тепловой энергией, природным и сжиженным газом, продуктами нефтепереработки устанавливаются в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации. Учет потребляемых энергетических ресурсов осуществляется в соответствии с установленными государственными стандартами и нормами точности измерений.

### **2.3. Управление энергосбережением в мире и России.**

- 2.3.1. Управление энергосбережением в Японии
- 2.3.2. Управление энергосбережением в США
- 2.3.3. Управление энергосбережением в Западной Европе
- 2.3.4. Управление энергосбережением в Восточной Европе
- 2.3.5. Структура управления энергосбережением в России

Страны Западной Европы, США, Япония стали обращать пристальное внимание на проблему энергосбережения уже более трех десятков лет назад. Целенаправленное создание нормативно-правовых документов в области энергосбережения, государственных органов управления разра-

боткой и реализацией политики энергосбережения позволили этим странам добиться снижения и без того малой энергоемкости внутреннего валового продукта в своих странах на 20÷30%.

### **2.3.1. Управление энергосбережением в Японии.**

Потребление в Японии первичной энергии на единицу внутреннего валового продукта по данным Госкомстата (1993 г.) было почти в 6 раз ниже, чем в России. В настоящее время этот разрыв возрос еще на 30%. Ведущая роль в проведении политики энергосбережения в Японии принадлежит государству. Законодательная база энергосбережения зиждется на двух законах: законе о рационализации потребления энергии (принят в 1979 году) и законе о содействии энергосбережению (принят в 1993 году).

В систему государственного управления энергосбережением входят правительственные организации и министерства: комитет по реализации энергетической политики, Совет по форсированию экономии энергии и сырья, созданные в 1997 году, а также Министерства – промышленности и внешней торговли, строительства, транспорта, финансов.

Связующую роль между правительством и промышленностью выполняет Японский центр энергосбережения (ЯЦЭ). Созданию высокоэффективного оборудования путем выделения правительственных средств и расширения сотрудничества в технологических исследованиях со стороны промышленности способствует организация по развитию энергетических и промышленных технологий (NEDO).

Комитет по реализации энергетической политики и Совет по форсированию экономии энергии и сырья определяют основные направления энергосбережения, а надзор за реализацией политики и программ энергосбережения является функцией Центра энергосбережения и организации по развитию энергетических и промышленных технологий.

В составе Министерства промышленности и внешней торговли существует агентство по природным ресурсам и энергии, в котором ряд отделов (отделы планирования энергетической политики, международной энергетической политики, энергосбережения и альтернативных источников энергии) напрямую отвечают за политику энергосбережения.

Под эгидой Министерства промышленности и внешней торговли выходят инструкции по рациональному использованию энергии, при нарушении которых предприятия в приказном порядке должны составлять планы рационального энергопотребления. Предприятия с годовым потреблением топлива свыше 3000 тнэ или 12 млн. кВт×час составляют с помощью ЯЦЭ планы по энергосбережению и отчитываются об их выполнении в Министерстве.

Бюджетное финансирование программ энергосбережения в 1996÷1997 году составило 630 млн. долларов, большая часть которых израсходовано на разработку новых энергосберегающих технологий. Около 10% затраченной суммы использовано на помощь промышленным предприятиям в определении возможностей оптимизации производства и потребления энергии.

Среди способов экономического стимулирования энергосбережения можно отметить:

снижение налога на прибыль на суммы, эквивалентную 7% от стоимости приобретенного энергоэффективного оборудования (налоговая льгота не должна превышать 20% от суммы налога подлежащего уплате);

специальные нормы амортизации энергоэффективного оборудования – амортизация 30% стоимости оборудования в год его приобретения в дополнение к обычным нормам амортизации;

льготные кредиты под 3,95÷4,1% годовых Японского банка развития и другими финансовыми институтами за счет средств, аккумулированных на Специальном нефтяном счете;

использование облигаций Фонда улучшений в промышленности для финансирования крупных эффективных источников тепла, включая ТЭЦ.

Велика и информационная поддержка деятельности по энергосбережению. Только в Японии с марта 1980 г. Проводится в национальном масштабе День энергосбережения, и намечаются планы на будущее. С 1976 г. В стране проводится Месяц энергосбережения (февраль). В октябре 1998 г. Был также введен один Генеральный день проверки энергосбережения (в декабре). В дополнение к нему в 1990 г. ввели Летний Генеральный день проверки энергосбережения. Таким об-

разом, в Японии регулярно поводятся массовые информационные компании по распространению знаний о преимуществах энергосбережения.

### **2.3.2. Управление энергосбережением в США**

Федеральная структура управления энергосбережением начала формироваться после энергетического кризиса 1973 года. В Администрации по исследованиям и развитию в энергетике появился Офис энергосбережения, основная задача которого сводилась к разработке и реализации общенациональной политики энергосбережения. Позже, в 1977 году, создано Министерство энергетики, среди 18 основных целей создания которого на четвертом месте записаны разработка и реализация комплексной стратегии энергосбережения как высшего приоритета национальной энергетической программы. Этим в Министерстве энергетики занимается Офис энергосбережения и возобновляемых источников энергии, имеющий в своем составе десятую часть работников министерства.

В настоящее время федеральная структура управления энергосбережением включает конгресс, как законодательный орган в области энергосбережения, Администрацию Президента, как орган, осуществляющий общее руководство разработкой и реализацией политики энергосбережения, Министерство энергетики, как орган, занимающийся разработкой и реализацией федеральных программ энергосбережения, и ряд Министерств и Агентств, занимающихся частными направлениями стандартизации в области энергосбережения и введения в практику программ энергосбережения на объектах федеральной собственности.

Нормативно-правовая база по вопросам энергосбережения в США, видимо, наиболее емкая. За последние 20 лет принято более 20 федеральных законов, относящихся к проблеме энергосбережения. Показателен закон «О национальной энергетической политике», принятый в 1992 году и содержащий 30 разделов и 308 статей. Первым основополагающим разделом этого закона является «Энергетическая эффективность». Его 50 статей разбиты на 7 подразделов: здания, энергосистемы, стандарты энергетической эффективности на приборы и оборудование, промышленность, помощь штатам и местным органам управления, энергетический менеджмент в федеральных агентствах и прочее. Каждый подраздел является одной из федеральных программ энергосбережения. Например, в подразделе «Здания» каждый штат принуждается к приведению в соответствие федерального и местного СНиПов, причем разрешается принятие местных более энергосберегающих требований и норм; Правительству поручается разработка методики энергетической сертификации зданий; создается сеть центров энергетически эффективного освещения и зданий, призванных выступать в том числе и демонстрационными зонами высокой энергетической эффективности.

В этом и каждом последующем подразделе указаны условия, объемы и сроки финансирования из федерального бюджета конкретной реализации отдельных проблем энергосбережения. На повышение эффективности использования энергии в зданиях направлены не только законодательные акты, но и добровольное соглашение между федеральными органами и владельцами зданий. Примером может служить программа «Зеленые огни», реализуемая Агентством по охране окружающей среды, которое подписывает соглашение на обследование и последующую модернизацию освещения частного здания. Зданию с энергетически эффективным освещением присваивается логотип «Зеленые огни», позволяющий реализовать экономически выгодные меры по освещению здания и последующей его модернизации.

Бюджетное финансирование программ энергосбережения достигает 25÷28% годового гражданского бюджета Министерства энергетики. Государственные расходы на реализацию политики повышения энергоэффективности составляют 2,5÷3 доллара на одного человека (в России эти затраты в 75 раз меньше), что подчеркивает значимость проблемы энергосбережения для США. Государственные усилия и рыночные механизмы экономики привели за последние 25 лет к снижению энергоемкости внутреннего валового продукта на 33%.

### **2.3.3. Управление энергосбережением в Западной Европе**

Система управления энергосбережением в Западной Европе отличается разнообразием. Среди государственных органов, отвечающих за разработку политики энергосбережения, могут быть од-

но (Австрия, Португалия и др.) или несколько (Франция, Великобритания, Голландия и др.) министерств.

За реализацию государственной политики энергосбережения отвечают или самостоятельные государственные агентства (АДЕМЕ, Франция; НОВЕМ, Голландия; НУТЕК, Швеция; ОФЕН, Швейцария и др.), или специализированные подразделения в правительственных структурах (энергетическое агентство, Дания; отделение поддержки энергетических технологий, Великобритания; Департамент энергетики, Финляндия и др.), или некоммерческие организации (Австрийское энергетическое агентство и др.) или смешенные компании (региональные агентства, Германия; компания ССЕ, Португалия).

Среди основных государственных организаций, реализующих программы энергосбережения в Западной Европе, можно назвать АДЕМЕ (Франция), имеющую 26 региональных представительств. Таким образом, во Франции существует трехзвенная система управления энергосбережением: три министерства руководят центральными офисами АДЕМЕ, который реализует государственные концепции через свои региональные представительства.

Бюджет этой организации, формируемый на 40% за счет специального налога на атмосферное загрязнение в аэропортах, около 300 млн. долларов. Финансирование подобной организации в Швеции (НУТЕК) на порядок меньше, хотя на душу населения приходится около двух долларов в год.

Задачу сбережения энергии и сырьевых ресурсов в Голландии решает агентство по энергетике и охране окружающей среды (NOVEM). Бюджет этой организации формирует государство. За последнее десятилетие двадцатого века отдел промышленности НОВЕМ добился повышения энергетической эффективности на 19%.

В Испании государственными предприятием, решающим задачу рационального использования энергии и стимулирования использования возобновляемых источников энергии является Каталонский институт энергии.

Как результат усилий по энергосбережению можно назвать снижение энергоемкости внутреннего валового продукта в среднем на 24%, при этом энергоемкость промышленного производства снизилась более значительно ( $\approx$  на 40%).

#### **2.3.4. Управление энергосбережением в Восточной Европе**

Хотя энергорасточительство в странах Восточной Европы относится к числу основных проблем, обуславливающих неконкурентоспособность их продукции в мире, однако, реального пристального внимания к реализации энергосберегающих программ в этих странах не наблюдается.

В ряде стран приняты основополагающие документы по проблеме энергосбережения («Об энергосбережении», Украина; «Энергетический закон», Чехия и др.) созданы органы государственного управления. Разработка основных направлений энергосбережения остается за различными Министерствами (Министерство промышленности, Румыния; Министерство промышленности и торговли, Чехия и т.д.), а практическая реализация энергосберегающей политики передается таким органам государственной власти, как Государственный комитет по энергосбережению (Украина), чешское энергетическое агентство (Чехия), Румынское агентство по энергосбережению (Румыния), Венгерский энергетический офис (Венгрия) и т.д.

Как правило, в решении вопросов энергосбережения участвуют органы энергонадзора. Возрастающие доли работ по энергосбережению в органах энергонадзора ярко проявилось на Украине, которая переименовала Энергонадзор в Государственную инспекцию по энергосбережению.

Во всех странах осуществляется государственная финансовая поддержка рационального использования энергоресурсов, порой достигая уровня развитых стран (Чехия.  $\approx$  1 доллар на человека). Однако, 4-5 лет, в течение которых в этих странах разворачивается работа по энергосбережению, недостаточно, чтобы ощутить устойчивое снижение энергоемкости внутреннего валового продукта.

### 2.3.5. Структура управления энергосбережением в России

Рассматривая решение проблемы рационального использования топливно-энергетических ресурсов, следует отметить, что законодательная и концептуальная составляющие энергетической политики находятся в руках Государственной Думы, Совета Федерации и Правительства России.

Изданные к настоящему времени законы, Указы Президента и Постановления Правительства, имеющие отношение к проблеме энергосбережения, приведены в Приложении 1.

Практический контроль за реализацией энергосберегающей политики возлагается на структуру управления энергосбережением, имеющую трехзвенную иерархию.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 2 ноября 1995 г. № 1087 «О неотложных мерах по энергосбережению» на Минтопэнерго возложены:

Разработка и реализация совместно с другими заинтересованными федеральными органами исполнительной власти государственной политики в области энергосбережения;

Разработка и координация реализации основных направлений политики энергосбережения, подготовка предложений по их финансированию.

Указом Президента РФ № 1010 ОТ 11.09.97 г. на Министерство топлива и энергетики также возложены функции надзора за эффективным использованием энергетических ресурсов.

Этот надзор означает осуществление контроля за:

проведением предприятиями, организациями и учреждениями мероприятий по сбережению электрической и тепловой энергии и снижению ее расхода на единицу продукции;

эффективностью использования средств республиканского бюджета РФ, направляемых на цели энергосбережения;

Представителям органов государственного энергетического надзора для исполнения их задач предоставляется право:

давать предписания об установке приборов учета, систем контроля и регулирования расхода электрической и тепловой энергии;

проверять соответствие проектов новых и реконструируемых установок требованиям рационального использования энергии и давать предписания об устранении выявленных нарушений.

Органы государственного энергетического надзора разрабатывают и издают нормативно-техническую документацию, ведут информационную деятельность; организуют и проводят работу по сертификации электрических установок, приборов и систем учета (совместно с Госстандартом), лицензируют организации, подпадающие под закон «О лицензировании отдельных видов деятельности».

Таким образом, основные функции, закрепленные в законе «Об энергосбережении» за Правительством РФ по формированию и реализации политики энергосбережения, возложены на Минтопэнерго РФ.

В структуре Минтопэнерго создан Департамент государственного энергетического надзора и энергосбережения.

Структура управления энергосбережением на федеральном уровне представлена на рис.1.

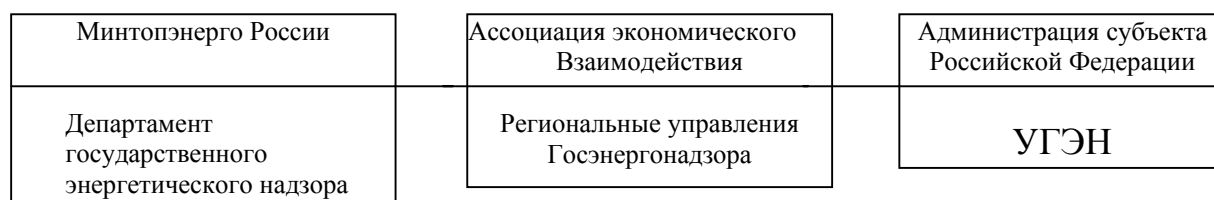


Рис.1

Федеральный уровень управления энергосбережением осуществляется следующими органами и организациями.



Федеральные органы Российской Федерации, управляющие энергосбережением:

Министерство экономики

Министерство топлива и энергетики

Министерство науки и технологий

Государственный комитет Российской Федерации по жилищной и строительной политике

Органы Минтопэнерго, занимающиеся энергосбережением:

Департамент государственного энергетического надзора и энергосбережения.

Межведомственный Координационный совет по вопросам энергоэффективности и реализации федеральной целевой программы "Энергосбережение России".

ФГУ "Российское агентство энергоэффективности.

ГП "Правление Российского внебюджетного межотраслевого фонда энергосбережения.

ГУП "Государственный межрегиональный центр энергосбережения".

Органы Госстроя, занимающиеся энергосбережением:

Отдел ресурсосбережения Управления жилищно-коммунальной сферы.

Федеральный центр энергоресурсосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Неправительственные организации федерального уровня

Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ).

Российский Союз энергоэффективности.

Российская межрегиональная ассоциация по вентиляции, кондиционированию воздуха, тепло-снабжению и строительной теплофизике (АВОК).

Ассоциация энергоменеджеров (АСЭМ).

Ассоциация "Российские демонстрационные зоны высокой энергетической эффективности" (РОС-ДЕМ).

Российско-Датский институт по энергосбережению (РДИПЭ).

Научно-технический инновационный центр энергосберегающих технологий и техники (НТИЦ ЭТТ).

ЗАО "Энерготест ВТИ"

Центр энергетической политики (ЦЭП).

Ассоциация "Институт правовых основ энергоэффективности" (ИПРОЭнерго).

Некоммерческое учреждение "Институт проблем энергоэффективности" (ЭПИ).

Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей (ОАО "Энергосетьпроект").

Основные функции Госэнергонадзора в сфере энергосбережения формируется из трех крупных блоков.

К первому блоку относится координация работ по выполнению программ энергосбережения. К этим программам относится федеральная целевая программа "Энергосбережение России", отраслевые и региональные программы энергосбережения.

Ко второму блоку функций относятся работы по лимитированию потребления топливно-энергетических ресурсов объектами бюджетной сферы и энергоаудиту. Необходимость решения задач, относящихся ко второму блоку, обусловлена тем, что Комиссией Правительства Российской Федерации по оперативным вопросам (Протокол от 27.10.98 № 14), а в последующем Правительством Российской Федерации (Протокол от 04.02.99 № 4) было принято решение о продолжении практики лимитирования энергопотребления федеральными органами исполнительной власти и

подведомственными им организациями, финансируемыми за счет средств федерального бюджета.

К третьему блоку функций относятся работы, связанные с информационно-аналитическим обеспечением рационального и эффективного потребления топливно-энергетических ресурсов. К этой функции относится учет и всесторонний анализ потребления энергетических ресурсов, включая электрическую и тепловую энергию, природный и сжиженный газ, уголь, продукты нефтепереработки и другие.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 12.08.98 № 998 трехзвенная структура управления государственного энергетического надзора выглядит следующим образом (Рис. 2).

## **РАЗДЕЛ 3. Нормативная база энергосбережения.**

### **3.1. Нормативно-правовые документы.**

#### Законы Российской Федерации и постановления Правительства Российской Федерации по энергосбережению.

1. Указ Президента Российской Федерации от 7. мая 1995 г. № 472 “Об основных направлениях энергетической политики и структурной перестройки топливно-энергетического комплекса до 2010 года.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 12.10.98 № 998 “О государственной поддержке создания в РФ энергоэффективных демонстрационных зон”.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 2 ноября 1995 № 1087 “О неотложных мерах по энергосбережению”.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 6 марта 1996 г. № 263 “О федеральной программе “Топливо и энергия” на 1996-2000 гг.”.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 8 июля 1997 № 832 “О повышении эффективности использования энергетических ресурсов и воды предприятиями, учреждениями и организациями бюджетной сферы”.
6. Федеральный закон РФ от 3 апреля 1996 г. № 28-ФЗ “Об энергосбережении”.
7. Указ Президента Российской Федерации от 11 сентября 1997 г. № 1010 “О государственном надзоре за эффективным использованием энергетических ресурсов в Российской Федерации”.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.97 № 1619 “О ревизии средств учета электрической энергии и маркировании их специальными знаками визуального контроля”.
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.01.98 № 5 “О снабжении топливно-энергетическими ресурсами организаций, финансируемых в 1998 году за счет средств федерального бюджета”.
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 24.01.98 № 80 “О федеральной целевой программе “Энергосбережение России” на 1998-2005 гг.
11. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.06.98 № 588 “О дополнительных мерах по стимулированию энергосбережения в России”.
12. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 августа 1998 № 938 “О государственном энергетическом надзоре в Российской Федерации”.
13. Федеральная целевая программа “Энергосбережение России” на 1998-2005 гг. (Аннотация).

### **3.2. Нормативно-техническая база энергосбережения.**

#### **Нормативные документы Государственного энергетического надзора**

Шифр	Дата	Утвержден	Наименование
	26.12.1995	Министерство топлива и энергетики РФ	Правила Системы сертификации электроустановок зданий. Основные положения.
	26.12.1995	Министерство топлива и энергетики РФ	Правила Системы сертификации электроустановок зданий. Порядок проведения сертификации.
	9.8.1996	Госстандарт России	О порядке представления заявок на аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий в системе сертификации электроустановок зданий.
	10.11.1995	Госстандарт России	Система аккредитации органов по сертификации, испытательных и измерительных лабораторий. Общие требования.
	16.8.1995	Минстрой России	Решение о реализации мероприятий по обеспечению норм электробезопасности в электроустановках жилых и общественных зданий.

	3.8.1995	Министерство топлива и энергетики РФ	Решение о реализации мероприятий по обеспечению норм электробезопасности в электроустановках жилых и общественных зданий.
	30.12.1899	Главгосэнергонадзор России	Инструкция по электроснабжению индивидуальных жилых домов и других частных сооружений
	14.3.1996	Госстандарт России	Оплата работ по сертификации и услуг
	11.11.1996	Главгосэнергонадзор России	О внесении изменений в перечень зданий, подлежащих обязательной сертификации
	9.8.1996	Главгосэнергонадзор России	О порядке представления заявок на аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий в системе сертификации электроустановок зданий.
	1.1.1989	Главгосэнергонадзор России	Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок.
	30.12.1899	Гидропроект	Нормы технологического проектирования гидроэлектрических и гидроаккумулирующих станций.
	30.12.1899	Энергосетьпроект	Нормы технологического проектирования электрических сетей и подстанций.
	1.1.1992	Главгосэнергонадзор России	Правила эксплуатации теплотребляющих установок и тепловых сетей потребителей.
	1.1.1992	Главгосэнергонадзор России	Правила техники безопасности при эксплуатации теплотребляющих установок и тепловых сетей потребителей.
	24.11.1992	Министерство топлива и энергетики РФ	Инструкция о порядке согласования применения электродкотлов и других электронагревательных приборов.
	1.1.1992	Главгосэнергонадзор России	Правила эксплуатации электроустановок потребителей.
	2.10.1996	Главгосэнергонадзор России	О компьютеризации органа по сертификации.
	1.8.1995	Главгосэнергонадзор России	Решение о внесении изменений и дополнений в гл. 1.7 "Заземление и защитные меры электробезопасности" и гл. 2.1 "Электропроводки" Правил устройства электроустановок, шестое издание, переработанное и дополненное (Москва, Энергоатомиздат 1986 г.)
	24.7.1996	Министерство топлива и энергетики РФ	Решение о внесении изменений и дополнений в гл. 1.7 "Заземление и защитные меры электробезопасности" и гл. 2.1 "Электропроводки" Правил устройства электроустановок, шестое издание, переработанное и дополненное (Москва, Энергоатомиздат 1986 г.)
	30.12.1899	Главгосэнергонадзор России	Руководящие материалы по сертификации электроустановок зданий (Сборник 2)
	2.8.1995	Управление технической политики в области сертификации Госстандарта России	Решение о внесении изменений и дополнений в гл. 1.7 "Заземление и защитные меры электробезопасности" и гл. 2.1 "Электропроводки" Правил устройства электроустановок, шестое издание, переработанное и дополненное (Москва, Энергоатомиздат 1986 г.)
	30.12.1899	АК "Электромонтаж"	Решение о внесении изменений и дополнений в гл. 1.7 "Заземление и защитные меры электробезопасности" и гл. 2.1 "Электропроводки" Правил устройства электроустановок, шестое издание, переработанное и дополненное (Москва, Энергоатомиздат 1986 г.)
	24.8.1995	Госстандарт России	Решение о реализации мероприятий по обеспечению норм электробезопасности в электроустановках жилых и общественных зданий.
	29.2.1996	Госстандарт России	Общие требования к испытательным лабораториям
	30.12.1899	Главное управление стандар-	Решение о внесении изменений и дополнений в

		тизации, технического нормирования и сертификации Минстроя России	гл. 1.7 "Заземление и защитные меры электробезопасности" и гл. 2.1 "Электропроводки" Правил устройства электроустановок, шестое издание, переработанное и дополненное (Москва, Энергоатомиздат 1986 г.)
	30.12.1899	Управление стандартизации и сертификации информационных технологий, продукции электротехники и прибо	Решение о внесении изменений и дополнений в гл. 1.7 "Заземление и защитные меры электробезопасности" и гл. 2.1 "Электропроводки" Правил устройства электроустановок, шестое издание, переработанное и дополненное (Москва, Энергоатомиздат 1986 г.)
	29.2.1996	Госстандарт России	Общие требования к органам по сертификации продукции и услуг
	10.7.1996	Госстандарт России	Электроустановки зданий. Требования к специальным электроустановкам. Ванные и душевые помещения.
	10.6.1996	Госстандарт России	Электроустановки зданий. Требования к специальным электроустановкам. Помещения, содержащие нагреватели для саун.
	10.7.1996	Госстандарт России	Электроустановки зданий. Требования к специальным электроустановкам. Стесненные помещения с проводящим полом, стенами и потолком.
	10.7.1996	Госстандарт России	Электроустановки зданий. Диапазоны напряжения.
	10.7.1996	Госстандарт России	Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники.
	10.11.1995	Госстандарт России	Общие требования к аккредитирующему органу
ВНТП 81	17.8.1981	НТС Минэнерго СССР	Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций.
ВСН 97-83	25.3.1983	Минэнерго СССР	Инструкция по проектированию городских и поселковых электрических сетей.
Постановление 15	25.7.1996	Госстандарт России	Изменение N 1 "Порядка проведения сертификации продукции в Российской Федерации"
Постановление 19	5.11.1993	Госстандарт России	О мерах по повышению электробезопасности электрооборудования бытового назначения
ППБ-С	21.3.1994	Главгосэнергонадзор России	Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей
ПУЭ	1.1.1985		Правила устройства электроустановок.
РД 34.09.101-94	2.9.1994	Главгосэнергонадзор России	Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении
РД 34.20.185-94	7.7.1994	Министерство топлива и энергетики РФ	Инструкция по проектированию городских электрических сетей
РД 34.20.185-94	31.5.1994	РАО "ЕЭС России"	Инструкция по проектированию городских электрических сетей
РД 34.20.501-95	24.8.1995	РАО "ЕЭС России"	Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.
РД 34.21.122-87	12.10.1987	Главтехуправление Минэнерго СССР	Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
СН 174-75	29.8.1975	Госстрой СССР	Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий.

## ***РАЗДЕЛ 4. Методы и критерии оценки эффективности энергосбережения.***

---

### **4.1 Общие положения**

Для того, чтобы охарактеризовать процесс производства, передачи или потребления энергии, оценить потенциал энергосбережения на различных объектах (установка, цех, предприятие, жилой район, регион, государство), обосновать правильность выбора энергосберегающих мероприятий применяются критерии энергетической эффективности.

Вспомним, что означает понятие «критерий». Критерий – это некоторая, достаточно общая характеристика процесса, которую можно выразить в численной форме. Критерий должен обладать универсальностью. Например, критерий Рейнольдса, представляющий собой отношение сил инерции к силам вязкости в потоке жидкости, характеризует гидродинамические потери на трение а также теплообмен при течения различных жидкостей в потоках различной геометрии при различных температурах, давлениях и т.д.

Когда мы имеем дело с энергией, мы должны рассматривать различные физические процессы – ее выработку, преобразование, хранение, передачу на различные расстояния и наконец, потребление. Применяемые на практике виды энергии – тепловая, электрическая, механическая – отличаются по своим свойствам. Физические процессы производства и потребления энергии также очень многообразны: это сжигание топлива, плавление, термическая обработка металлов, различные способы обогрева зданий, выпаривание, сушка, перегонка, ректификация и многие другие. Очевидно, что для описания всего этого многообразия процессов придется использовать не один, а много различных критериев.

Отметим, что если рассматривать деятельность человека в целом, то наибольшие нерациональные потери энергии наблюдаются при ее потреблении. При выработке и транспортировке потери энергии меньше. Именно потребление энергии, в промышленности, сельском хозяйстве, в быту и в общественной деятельности представляет главный резерв энергосбережения. Из этого следует, что наибольший интерес представляют критерии энергетической эффективности, связанные с потреблением энергоресурсов.

Определение показателя энергоэффективности дано в Федеральном Законе «Об энергосбережении».

Показатель энергоэффективности – абсолютная или удельная величина потребления или потери энергетических ресурсов любого назначения, установленная государственными стандартами.

Цель показателей эффективности использования энергии – установка ориентиров, к которым нужно стремиться, выявление слабых мест в расходовании энергии, определение резервов.

Один из таких ориентиров – теоретически необходимое количество энергетических ресурсов для проведения того или иного процесса. Теоретически необходимые затраты тепловой энергии для получения механической энергии можно определить через термический КПД цикла Карно. Затраты тепла на нагрев детали перед термической обработкой вычисляются как произведение разности начальной и конечной температур на теплоемкость и массу материала детали. Затраты на плавление металла – как произведение удельной теплоты плавления на его массу и т.д.

Однако использовать этот ориентир на практике не всегда представляется возможным поскольку теоретические затраты энергии по разным причинам бывает трудно определить.

Пример: В сушильной установке затраты тепла на сушку материала не могут быть всегда выражены только через теплоту парообразования. Известно, что существует энергия связей влаги и материала, которые может иметь различную физическую природу. Влага может удерживаться капиллярными силами, силами сорбции, могут возникать химические связи, как в кристаллогидратах и т.д. Тогда для удаления влаги до конечного состояния могут потребоваться дополнительные затраты энергии, количество которых зависит от вида материала, его первоначальной влажности и

т.д. То же касается разделения в ректификационной установке многокомпонентной смеси, с неизвестными свойствами.

Тем не менее, поскольку теоретические затраты тепла на испарение влаги близки теоретическим затратам тепла на сушку их часто используют для характеристики эффективности процесса.

Критерий часто не полностью отражает эффективность процесса использования энергии, а лишь дает информацию для его анализа.

Пример. Годовое потребление тепловой энергии на отопление населенного пункта, отнесенное к единице отапливаемой площади, не говорит об эффективности использования энергии, поскольку неизвестна средняя температура воздуха и длительность отопительного периода.

Основные типы используемых критериев и показателей.

На практике используются большое количество различных критериев критериев, которые применяются в различных случаях. Основные типы критериев – термодинамические, натуральные, экономические. Некоторые из них приведены в таблице 1.

Таблица 1

Название	Тип	Математическое выражение	Область Применения
Коэффициент полезного использования тепла	Термодинамический	Отношение	
Энергетический КПД	Термодинамический	Отношение полезно использованной энергии к общему ее расходу	
Эксергетический КПД	Термодинамический		
Удельный расход топлива (тепловой, электрической энергии) на единицу выпускаемой продукции	Удельный натуральный		
Удельный расход Топлива (тепловой, электрической энергии) на единицу переработанного сырья	Удельный натуральный		
Удельный расход топлива (тепловой, электрической энергии) на единицу стоимости выпускаемой продукции	Удельный натуральный		
Годовой (месячный, суточный и т.д.) расход энергоресурсов на предприятии, регионе в т.у.т. или в тоннах первичного условного топлива	Удельный абсолютный		
Срок окупаемости	Экономический		
Чистая современная стоимость	Экономический		
Коэффициент чистой приведенной стоимости	Экономический		
Доля затрат на энергетические ресурсы в себестоимости продукции	Экономический		

## Термодинамические критерии.

В качестве такого критерия можно использовать:

- ♦ термический КПД циклов тепловых двигателей (циклы паротурбинных, газотурбинных, парогазовых установок, двигателей внутреннего сгорания) и холодильных машин.
- ♦ Натуральные критерии оценки эффективности использования энергии на промышленных предприятиях.
- ♦ Удельный и совокупный удельный приведенный расход условного топлива.
- ♦ Индикаторы (частные критерии) эффективности использования энергии на объектах жилищно-коммунального хозяйства.
- ♦ Экономические критерии оценки эффективности использования энергии

Формы используемых критериев эффективности использования энергии на промышленных предприятиях очень многообразны. Часто это определяется видом получаемой продукции, ее номенклатурой, степенью использования собственных и внешних источников энергии, потребления вторичных энергетических ресурсов, выделения внутреннего тепла в технологических процессах (например, теплоты экзотермических реакций) и т.д.

Следует иметь в виду, что процесс с наилучшими энергетическими характеристиками не всегда является выгодным экономически.

**Пример:** Трубопровод, по которому передается вода можно покрыть слоем дорогостоящей изоляции и свести к минимуму тепловые потери, однако стоимость такой изоляции может не окупиться за весь срок ее службы.

В этом случае в качестве критерия, характеризующего меры по энергосбережению используются экономические критерии. Эти критерии имеют первостепенное значение поскольку эффективное использование энергетических ресурсов (согласно ГОСТ) – это достижение экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды.

Наиболее распространенным из них является срок окупаемости энергосберегающего мероприятия.

В расчете срока окупаемости учитываются капитальные затраты – стоимость используемых материалов и оборудования, проектных работ, монтажа, пуска в эксплуатацию и эксплуатационные затраты: например, затраты на обслуживание установленного энергосберегающего оборудования, его ремонта, расходных материалов, топлива и энергии на его работу и т.д. Через определенное время стоимость экономии энергетических ресурсов станет равна стоимости капитальных и эксплуатационных затрат. Тогда говорят, что достигнут срок окупаемости.

**Пример:** В системе теплоснабжения установлен тепловой насос, позволяющий получать горячую воду за счет повышения потенциала тепла сточных вод промышленного предприятия. Капитальные затраты включают работы по проектированию теплонасосной установки, стоимость монтажа, наладочные работы, пусковые испытания. Эксплуатационные затраты включают – стоимость обслуживания теплонасосной установки, стоимость электрической энергии на привод компрессора, стоимость теплоносителя, теряемого в процессе ремонтов и эксплуатации, стоимость дополнительной электроэнергии, необходимой для прокачивания теплоносителя через испаритель и конденсатор теплового насоса.

При расчете капитальных и эксплуатационных затрат необходим учет инфляции, а также изменения стоимости энергетических ресурсов (а также стоимости обслуживания) за время эксплуатации. Поскольку уровень инфляции и будущую стоимость энергетических ресурсов не всегда можно предсказать заранее, на практике используются прогнозы развития ситуации – например, пессимистичный, реалистичный, оптимистичный, каждому из которых соответствуют свои значения тарифов. Далее срок окупаемости рассчитывается по каждому из этих прогнозов.

Современная приведенная стоимость (net present value) - другой не менее важный экономический критерий. Он представляет собой разность полученной экономии и суммарных затрат на прове-



дение того или иного энергосберегающего мероприятия на рассматриваемый момент времени. При этом стоимость затрат и экономии берутся в дисконтированном виде, то есть с учетом инфляции. До наступления срока окупаемости чистая приведенная стоимость отрицательна, после – положительна.

В отличие от срока окупаемости современная приведенная стоимость зависит от момента времени в который мы ее рассматриваем и может быть представлена в виде табличной или графической зависимости. Характер этой зависимости зависит от уровня инфляции и от будущей цены на энергоресурсы, поэтому для ее построения используются прогнозы развития ситуации на рынке энергоресурсов.

Как срок окупаемости, так и современная приведенная стоимость обычно зависят от большого количества технических, стоимостных и других показателей, в частности от режима работы установки, ее конструктивных параметров.

**Пример:** Срок окупаемости сушильной установки зависит от уровня температур и расхода сушильного агента, определяющего режим сушки. Срок окупаемости теплообменника для утилизации тепла вытяжного вентиляционного воздуха зависит от площади поверхности теплообмена, степени оребрения поверхности и других конструктивных параметров.

Экономические критерии могут быть оптимизированы за счет подбора оптимальных значений режимных и конструктивных параметров процесса с использованием соответствующих математических методов. При этом можно получить значительный экономический эффект.

Подробнее эти и другие экономические критерии будут рассмотрены в главе, касающейся экономической оценки эффективности энергосберегающих мероприятий.

## **4.2 Энергетический баланс промышленного предприятия (установки, подразделения, региона, страны)**

Энергетический баланс предприятия, подразделения, технологической установки (его расходная часть) является основой для определения удельных показателей эффективности энергосбережения.

В главе рассмотрены цели разработки и анализа энергетического баланса промышленного предприятия. Описаны источники и основные потребители электрической и тепловой энергии, котельно-печного и моторного топлива на предприятии. Дается объяснение понятиям синтетического и аналитического баланса, поясняются их отдельные статьи.

Расходная часть энергетического баланса рассматривается как основа для определения показателей эффективности использования энергии на предприятии, в качестве которых рассматриваются удельное потребление топлива, тепла и электроэнергии на единицу переработанного сырья или на единицу выпускаемой продукции, а также доля энергозатрат в стоимости продукции.

Потребление энергии предприятием.

Основные статьи использования энергии на предприятии.

Оценка эффективности использования энергии на предприятии, в технологиях, аппаратах.

Интенсивное энергосбережение.

В настоящее время разработан методический подход к энергосбережению в технологических процессах и установках использующих тепловую энергию, состоящий в определении теоретически возможного уровня экономии энергии в рамках данной технологии, и наибольшего приближения

существующего технологического процесса к и максимально достижимому уровню экономии энергии.

Наибольшее применение он получил для анализа технологических процессов в высокотемпературных установках (плавление, обжиг, получение проката и т.д.), однако он может быть применен и для других технологий.

Важным элементом данного подхода является анализ температурных режимов технологических процессов на основе построения их температурных и тепловых (энергетических) графиков. Последние представляют собой зависимости изменения температуры и количества переданной теплоты во времени в различных технологических операциях в рамках рассматриваемого технологического процесса.

В данном методическом подходе кроме обычно применяемых критериев используются специально введенные критерии энергетической эффективности, такие как: коэффициент использования резерва интенсивного энергосбережения, интегральный коэффициент полезного использования первичной энергии и т.д.

В итоге может быть построен алгоритм диагноза энергетической эффективности заданного объекта и сделан вывод о том, какие резервы энергосбережения имеет заданная технология.

### **Эксергетические балансы теплотехнологических установок.**

В главе рассмотрен эксергетический метод анализа эффективности использования теплоты в установках. Объяснены понятия эксергии и анергии. Рассмотрен эксергетический баланс, являющийся дополнением энергетического баланса и дающий объективную термодинамическую оценку совершенства тепловых процессов. Описаны основные необратимые процессы, вызывающие эксергетические потери при производстве и потреблении энергии. Рассмотрен эксергетический баланс и эксергетический КПД рекуперативного теплообменника

Энергия, эксергия, анергия.

Методы определения термической составляющей эксергии.

Эксергетический баланс и эксергетический КПД рекуперативного теплообменника.

Государственный стандарт «Энергетическая эффективность. Состав показателей».

Сведения о показателях энергетической эффективности, их классификацию, рекомендации по их выбору и применению дает ГОСТ 51541-99. «Энергетическая эффективность. Состав показателей», введенный в действие 29 декабря 1999 г. Этот документ направлен на реализацию положений Федерального закона Российской Федерации «Об энергосбережении». Основные положения данного стандарта в виде выдержек приведены ниже.

### **Введение**

В настоящее время имеется несколько десятков государственных стандартов на промышленное оборудование, машины, приборы, которые с полным основанием можно отнести к стандартам энергетической эффективности, поскольку основное их назначение в регламентации показателей энергопотребления (энергоэффективности) этого оборудования. Разработан ряд нормативных и методических документов по энергетическим обследованиям и энергопаспортизации, в которых нашли отражение показатели энергетической эффективности технологических процессов. В государственной и отраслевой статистике имеется более десятка форм, в которых отражены показатели энергопотребления и эффективности энергоиспользования на предприятиях, в отраслях, регионах, на макроуровне экономики.

Таким образом, можно выделить три основные группы показателей (индикаторов) реализации энергосбережения:

- ◆ нормируемые показатели энергетической эффективности продукции, которые вносятся в государственные стандарты, технические паспорта продукции, техническую и конструкторскую документацию и используются при сертификации продукции, энергетической экспертизе и энергетических обследованиях (РД 50-374—82 [1]);
- ◆ показатели энергетической эффективности производственных процессов, которые вносятся в стандарты и энергопаспорта предприятий и используются в ходе осуществления государственного надзора за эффективным использованием топливно-энергетических ресурсов и проведении энергообследований органами государственного надзора;
- ◆ показатели (индикаторы) реализации энергосбережения (отражаются в статотчетности, нормативных правовых и программно-методических документах, контролируются структурами государственного управления и надзора).

Целью настоящего стандарта является формирование единого терминологического толкования и унифицированных методических подходов к представлению показателей энергосбережения и энергетической эффективности при разработке нормативных (технических, правовых) и методических документов в области энергосбережения в соответствии с требованиями Закона Российской Федерации «Об энергосбережении» [2].

### **1) Область применения**

Настоящий стандарт устанавливает основные виды показателей энергосбережения и энергетической эффективности, вносимых в нормативные (технические, методические) документы, техническую (проектную, конструкторскую, технологическую, эксплуатационную) документацию на энергопотребляющую продукцию, технологические процессы, работы и услуги.

Стандарт распространяется на все виды продукции, включая топливно-энергетические ресурсы (далее — ТЭР), материалы и изделия, использование которых по назначению связано с расходом (потерями) ТЭР, на технологические процессы, сопровождающиеся потреблением (потерями) ТЭР, а также на все виды деятельности, направленные на рациональное использование и экономию ТЭР.

Стандарт предназначен для использования юридическими и физическими лицами в их деятельности по энергосбережению, при разработке новых и пересмотре действующих нормативных документов в части, касающейся нормирования показателей энергетической эффективности, при разработке и проведении (энергетической) экспертизы проектной документации, при проведении энергетических обследований (энергетического аудита) и энергетической паспортизации потребителей ТЭР, при разработке нормативных и методических документов в обеспечение программ энергосбережения и статистической отчетности в области энергосбережения.

### **2) Определения и сокращения**

В настоящем стандарте используют следующие термины с соответствующими определениями:

1. энергосбережение: По ГОСТ Р 51387 .
2. энергоноситель: По ГОСТ Р 51387.
3. топливно-энергетический ресурс (ТЭР): По ГОСТ Р 51387.
4. энергопотребляющая продукция: Продукция, которая потребляет ТЭР при ее использовании по прямому функциональному назначению.
5. эффективное использование энергетических ресурсов: Достижение экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды.
6. показатель энергосбережения: Качественная и/или количественная характеристика проектируемых или реализуемых мер по энергосбережению.
7. показатель энергетической эффективности: По ГОСТ Р 51387.
8. показатель экономичности энергопотребления: По ГОСТ Р 51387.

9. энергоемкость производства продукции: По ГОСТ Р 51387.
10. экономия ТЭР: По ГОСТ Р 51387.
11. технологические процессы: По ГОСТ 3.1109.

В настоящем стандарте используют следующие сокращения:

КПД — коэффициент полезного действия.

ТЭР — топливно-энергетический ресурс.

### 3) Основные положения

1. Показатели энергосбережения характеризуют деятельность (научную, производственную, организационную, экономическую, техническую) юридических и физических лиц по реализации мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование ТЭР на всех стадиях их жизненного цикла.

Показатели энергосбережения используют при:

- ◆ планировании и оценке эффективности работ по энергосбережению;
- ◆ проведении энергетических обследований (энергетического аудита) потребителей энерго-ресурсов;
- ◆ формировании статистической отчетности по эффективности энергоиспользования.

Показатели энергосбережения различают по уровню интегрированности рассматриваемого объекта деятельности. Объектом деятельности по энергосбережению может быть определенная продукция, технологический процесс, участок, цех, производство, предприятие — потребитель энергоресурсов, регион, субъект федерации, Российская Федерация в целом.

2. Организационную, техническую, научную, экономическую деятельность в области энергосбережения характеризуют показателями:

- ◆ фактической экономии ТЭР, в т.ч. за счет нормирования энергопотребления на основе технологических регламентов и стандартов (отраслевых, региональных, предприятий); экономического стимулирования (отраслей, регионов, предприятий, персонала);
- ◆ снижения потерь ТЭР, в т.ч. за счет оптимизации режимных параметров энергопотребления; проведения не требующих значительных инвестиций энергосберегающих мероприятий по результатам энергетических обследований; внедрения приборов и систем учета ТЭР; подготовки кадров; проведения рекламных и информационных кампаний;
- ◆ снижения энергоемкости производства продукции (на предприятии) и валового внутреннего продукта (в регионе, в стране), в т.ч. за счет внедрения элементов структурной перестройки энергопотребления, связанной с освоением менее энергоемких схем энергообеспечения, вовлечением в энергетический баланс нетрадиционных возобновляемых источников энергии, местных видов топлива, вторичных энергоресурсов; реализации проектов и программ энергосбережения, энергосберегающих технологий, оборудования, отвечающего мировому уровню, и т.п.

3. Производственную (хозяйственную) деятельность в области энергосбережения характеризуют сравнительными показателями энергопотребления и энергоемкости производства продукции в отчетном году в сравнении с базовым годом в сопоставимых условиях — при приведении к равным объемам и структуре производства продукции.

Производственную (хозяйственную) деятельность в области энергосбережения характеризуют также абсолютными, удельными и относительными показателями энергопотребления, потерь энергетических ресурсов в ходе хозяйственной деятельности за определенный промежуток времени.

4. Применительно к изделиям, оборудованию, материалам, ТЭР (далее — продукция) и технологическим процессам для характеристики энергосбережения используют показатели их энергетической эффективности.

Различают следующие основные показатели энергетической эффективности:

- ◆ экономичность потребления ТЭР (для продукции при ее использовании по прямому функциональному назначению);
- ◆ энергетическая эффективность передачи (хранения) ТЭР (для продукции и процессов);
- ◆ энергоемкость производства продукции (для процессов).

**5.** Показатели экономичности энергопотребления продукции и энергетической эффективности при передаче, хранении ТЭР характеризуют техническое совершенство продукции и качество ее изготовления и определяются качеством конструкторской и технологической проработки изделий.

**6.** Показатели экономичности энергопотребления и энергетической эффективности передачи (хранения) ТЭР:

- ◆ устанавливают в нормативных документах по стандартизации на продукцию в виде нормативных значений, определяемых в регламентированных условиях;
- ◆ вводят в техническую (проектную, конструкторскую, технологическую, эксплуатационную) документацию на продукцию в виде:
  - а) нормативов потерь (расхода) энергии (энергоносителей), определяемых в регламентированных условиях использования продукции;
  - б) норм потерь (расхода) энергетических ресурсов (энергоносителей) для конкретных условий использования продукции (реализации технологического процесса).

**7.** Показатели энергоемкости производства продукции вводят в нормативную и техническую документацию на материалы, изделия, технологические процессы.

**8.** Нормативные показатели энергетической эффективности, устанавливаемые в нормативных документах по стандартизации, разрабатывают на основе:

- ◆ достижения экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов при существующем мировом уровне развития техники и технологий;
- ◆ соблюдения нормативных требований по охране окружающей среды;
- ◆ использования имеющегося опыта нормирования показателей энергоэффективности и обоснования принимаемых значений соответствующими расчетами, экспериментами, испытаниями;
- ◆ гармонизации с международными, региональными, зарубежными национальными стандартами.

**9.** Нормативные показатели энергоэффективности продукции устанавливают с указанием требований к допустимому изменению нормируемых значений показателей за период нормальной эксплуатации данной продукции. Подтверждение соответствия показателей энергоэффективности продукции установленным стандартами нормативам осуществляют с учетом ГОСТ Р 51380.

#### **4) Выбор номенклатуры и значений показателей экономичности энергопотребления**

**1.** Показатели экономичности энергопотребления могут быть выражены в абсолютной или удельной форме.

Абсолютная форма характеризует расход ТЭР в регламентированных условиях (режимах) работы.

Удельная форма характеризует отношение расхода ТЭР к вырабатываемой или потребляемой энергии, произведенной продукции, произведенной работе в регламентированных условиях (режимах) работы.

**2.** В качестве показателей экономичности энергопотребления предпочтительны удельные показатели, т.е. количество энергии или топлива, затрачиваемое машиной, механизмом на производство единицы продукции или работы.

**Пример:** В качестве показателя экономичности энергопотребления для автомобиля выбирают расход топлива на перевозку 1 т груза на 1 км пути, т.е. расход топлива на единицу работы.

3. Если потребляемая машиной (механизмом, оборудованием, установкой) мощность и развиваемая ею полезная мощность относительно неизменны во времени для определенного режима работы, то в качестве показателя экономичности энергопотребления предпочтительно выбрать отношение полезной мощности к потребляемой мощности.

**Пример:** В качестве показателя экономичности энергопотребления для насосов выбирают КПД, т.е. отношение полезной мощности насоса к мощности на приводном валу.

4. Если совершаемая полезная работа не может быть подсчитана непосредственно в физических единицах, то в качестве удельного показателя выбирают отношение расхода топлива или энергии к величине, косвенно (по однозначности) характеризующей совершаемую работу, или отношение к единице продукции.

**Пример:** Для сложного медицинского оборудования в качестве показателя экономичности энергопотребления может быть выбран расход электроэнергии на регламентированный набор процедур для одного пациента.

Для сушильных агрегатов в качестве показателя экономичности энергопотребления может быть выбран расход тепла на испарение определенного количества влаги.

5. Для ряда изделий количество полезной работы оценивают достижением полезного эффекта (результата работы), т.е. возможно нормирование только абсолютного значения показателя энергопотребления.

**Пример:** Для бытовых холодильников в качестве показателя экономичности энергопотребления может быть принят расход электроэнергии за 1 сут., который необходим для поддержания средней температуры в холодильной камере (например, минус 5 °С), температуры в низкотемпературном отделении (например, минус 16 °С) при определенной температуре окружающей среды (окружающего воздуха, например, 25 °С).

Для бытовых пылесосов в качестве показателя экономичности энергопотребления возможно выбрать расход электроэнергии на уменьшение на заданную величину (по массе) количества пыли, имеющей заданные характеристики (по крупности, составу, плотности, липкости и т.д.) и распространенной заданным образом на определенной площади пола заданного качества.

6. В нормативной документации на изделия, потребляющие одновременно различные виды топлива/энергии или топлива и энергии, должны устанавливаться показатели экономичности энергопотребления:

- ◆ по каждому виду топлива отдельно;
- ◆ по всем видам топлива в сумме в пересчете на условное топливо;
- ◆ по каждому виду энергии отдельно;
- ◆ по всем видам энергии в сумме в пересчете к одному виду единиц измерения.

7. Технические нормативы расхода топлива и энергии устанавливают в виде предельных значений показателей экономичности энергопотребления при данных (регламентированных) условиях эксплуатации изделий.

В качестве регламентированных условий указывают:

- ◆ характеристики перерабатываемых материалов и сырья, перемещаемых жидкостей и газов и т.п. (например, влажность, твердость, плотность, содержание примесей, агрегатное состояние, температура и т.д.);
- ◆ описание условий (режимов) работы изделия (последовательность операции, продолжительность операции, вид работы, степень загрузки, производительность, условия окружающей среды и т.д.);
- ◆ вид, свойства произведенной продукции, описание произведенной работы, процесс передачи, трансформации или преобразования энергии.

Условия, устанавливаемые в стандарте, должны быть воспроизводимы на практике.

В разделах стандартов (или отдельных нормативных документах) на методы испытаний должны быть оговорены методы проверки значений показателей экономичности энергопотребления, установленных в стандарте на энергопотребляющую продукцию.

**8.** Устанавливаемые в документах значения показателей экономичности энергопотребления должны охватывать (как правило) весь рабочий диапазон изделия. Для изделий непрерывного действия должны быть установлены показатели экономичности энергопотребления в допустимых интервалах изменения скоростей, производительности, полезной мощности и т.д. Для изделий периодического действия устанавливают показатели на ряд отдельных операций, состояний, видов работ, охватывающих режимы эксплуатации (работы) изделия.

*Примечание:* Допускается в качестве технического норматива устанавливать предельно допустимые значения показателей экономичности энергопотребления не для всех, а для наиболее вероятных условий эксплуатации или условий, наиболее полно характеризующих (отражающих) эксплуатационные свойства изделия. В качестве таких условий могут быть один или несколько режимов работы (эксплуатации) изделий.

**Пример:** Для электродвигателей следует установить КПД в зависимости от развиваемой полезной мощности на валу.

Технический норматив расхода электроэнергии индукционной тигельной печью для плавки алюминия устанавливает удельный расход электроэнергии на 1 т жидкого металла в зависимости от скорости плавки.

Технический норматив расхода кокса в вагранках на 1 т литейного чугуна устанавливает расход кокса для трех уровней температуры выпуска жидкого чугуна при двух диапазонах температур нагрева дутьевого воздуха.

Технический норматив расхода электроэнергии для индукционной вакуумной электропечи устанавливает удельный расход электроэнергии на расплавление и перегрев в зависимости от емкости печи.

**9.** Технические нормативы расхода топлива и энергии должны устанавливаться в нормативной документации с указанием требований к допустимым пределам изменения нормируемых значений показателей экономичности энергопотребления за период нормальной эксплуатации изделий.

**Пример записи:** «Снижение КПД газовой турбины в процессе нормальной эксплуатации в течение межремонтного периода должно быть не более 3% относительно первоначального значения».

**10.** Допускаются следующие формы записей технических нормативов расхода топлива и энергии:

- ◆ в виде числовых значений показателей экономичности энергопотребления;
- ◆ в виде таблиц числовых значений показателей экономичности энергопотребления;
- ◆ в виде графических зависимостей числовых значений показателей экономичности энергопотребления;
- ◆ в виде функциональных или иных зависимостей показателей экономичности энергопотребления, выраженных аналитическими или иными формулами.

**Пример:** КПД электрического генератора может быть задан в виде числового значения (одной точки) для условия номинального режима нагрузки. КПД может быть задан и в виде графика (кривой) в определенном диапазоне нагрузки. В данном случае предпочтительно иметь графическую запись (или табличную), дающую более полную информацию о потерях в зависимости от режима нагрузки генератора, так как генератор практически работает в одной точке режима (в т. ч. номинального) относительно непродолжительное время.

## **5) Выбор номенклатуры и значений показателей эффективности передачи энергии**

**1.** Показатели эффективности передачи энергии задают в виде абсолютных или удельных значений потерь энергии (энергонасосителя) в системе передачи энергии.

2. Удельные показатели эффективности передачи энергии представляют собой отношение абсолютных значений потерь энергии в системе к характерным параметрам системы. В качестве характерных параметров используют:

- ◆ расстояние, на которое передают энергию (энергоноситель);
- ◆ исходный энергетический потенциал (исходные параметры энергоносителя);
- ◆ размерные характеристики канала передачи энергии.

**Примеры:**

а) В качестве показателя эффективности передачи энергии для системы теплоснабжения используют величину тепловых потерь (снижение теплосодержания рабочего тела) на 1 км теплотрассы.

б) В качестве показателя эффективности передачи энергии для сети электроснабжения может быть использован допустимый процент потерь энергии в сети.

3. В нормативной документации на систему передачи энергии устанавливают нормативы потерь энергии (энергоносителя) в регламентированных условиях работы системы.

В качестве регламентированных условий указывают:

- ◆ исходный энергетический потенциал (на входе в систему);
- ◆ описание условий работы системы (вид энергоносителя, номинальные параметры энергоносителя, условия окружающей среды и др.);
- ◆ характеристики потребителя энергии.

4. Устанавливаемые в документации значения показателей эффективности передачи энергии должны охватывать весь рабочий диапазон параметров системы (исходный энергетический потенциал, режим расходования энергии, режим «подпитки» системы энергией и др.)

5. Нормативные показатели эффективности передачи энергии устанавливают в форме:

- ◆ числовых значений и таблиц числовых значений;
- ◆ графических зависимостей потерь энергии в функции характерных параметров системы;
- ◆ аналитических зависимостей.

**6) Выбор номенклатуры и значений показателей энергоемкости**

1. Показатели производственной энергоемкости изготовления продукции (изделия) могут быть представлены в абсолютной и удельной формах для внесения в стандарты, технологическую, проектную и другую документацию.

2. Абсолютные значения показателей энергоемкости изготовления продукции характеризуют затраты топлива и энергии на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции. Они выражаются в абсолютных значениях затрат энергоресурсов, приходящихся на единицу продукции. В качестве единиц продукции используют принятые для данного вида единицы измерения — метры, тонны, квадратные метры, штуки и т.д.

*Примечания:*

а) Энергоемкость изготовления единицы продукции не рассматривают как удельную величину. Понятие типа «Производственная энергоемкость всей продукции» может иметь смысл для определенного установленного интервала времени (за год, квартал, месяц и т.д.) и в этом случае будет отражать не техническую или технологическую характеристику изделия, а плановую или фактическую переменную производственного процесса за названный интервал, которая не подлежит стандартизации.

б) В общем случае понятие «энергоемкость» может иметь различное содержание в зависимости от степени интеграции по различным аспектам рассмотрения.

**Примеры:**



а) Интеграция по уровням управления. «Производственная энергоемкость изготовления продукции (изделия)» — уровень предприятия, «энергоемкость национального дохода», «энергоемкость валового общественного продукта» — уровень федерации.

б) Интеграция по конечной продукции. «Полная энергоемкость изготовления продукции» (т.е. включая расход ТЭР на добычу, транспортировку, переработку полезных ископаемых, производство сырья, материалов, деталей, комплектующих изделий с учетом коэффициента использования материалов).

**3.** Удельное значение показателей энергоемкости изготовления продукции характеризуется отношением абсолютного значения энергоемкости этой продукции к одному из показателей, отражающих основные эксплуатационные свойства изделия.

**Примеры:**

а) Удельная энергоемкость электродвигателя может характеризоваться отношением энергоемкости его изготовления к номинальной мощности, кВт·ч/кВт (показатель дает представление о том, во что обходится в энергетическом смысле производство 1 кВт двигательной мощности).

б) Удельная энергоемкость железнодорожного вагона может характеризоваться отношением энергоемкости его изготовления к грузоподъемности вагона, кВт·ч/т (показатель дает представление о прогрессивности конструкции и технологии в сравнении с аналогичными изделиями с точки зрения энергозатрат при производстве 1 т грузоподъемности подвижного состава).

**4.** Показатели энергоемкости продукции могут быть определены и установлены в стандартах предприятий, конструкторской, технологической и проектной документации для продукции (изделий) всех видов.

**5.** В документации на продукцию (изделия), при изготовлении которой расходуются различные виды топлива и энергии (топливно-энергетических ресурсов), должны устанавливаться показатели энергоемкости изготовления продукции (изделия):

- ◆ по всем видам топлива в сумме в пересчете на условное топливо;
- ◆ по всем видам энергии в сумме в пересчете к одному виду единиц измерения;
- ◆ суммарная энергоемкость по всем видам ТЭР в сумме в пересчете на условное топливо.

**6.** При расчете значений показателей энергоемкости изготовления продукции (изделий) учитывают расход ТЭР только на основные и вспомогательные процессы производства. Расход ТЭР на отопление, освещение, различные хозяйственные и прочие нужды не подлежит включению в объем затрат при подсчете значений показателей энергоемкости.

**7.** Величины показателей энергоемкости, вносимые в стандарты, конструкторскую, технологическую, проектную и другую документацию, устанавливают предельные значения энергоемкости при изготовлении изделия определенного вида в определенных технологических условиях.

В качестве таких условий могут выступать:

а) описание конструктивных технологических особенностей и характеристик изделия;

б) описание особенностей и характеристик основного и вспомогательного технологических процессов на данном предприятии, включающее:

- ◆ описание последовательности и режимов технологических операций по всем составным элементам, единицам и изделию в целом;
- ◆ характеристики исходного сырья, материалов, влияющие на затраты ресурсов топлива и энергии при их использовании и переработке на данном предприятии;
- ◆ характеристики деталей, заготовок, комплектующих изделий, влияющие на энергозатраты при их последующей обработке и использовании в процессе изготовления конечной продукции;
- ◆ характеристики основного оборудования (показатели его экономичности в отношении затрат топлива и энергии при эксплуатации), участвующего в технологических процессах ос-

новного и вспомогательного циклов, включая затраты топлива и энергии на подготовку технологической оснастки и инструмента;

в) характеристика и структура технологических потерь топлива и энергии в технологическом процессе для нормальных условий производства продукции на данном предприятии.

В соответствующих разделах должны быть оговорены методы проверки установленных значений показателей энергоемкости.

**8.** Установление в документах показателей энергоемкости может сопровождаться указанием допустимых пределов изменения значений показателя по оговоренным критериям (например, изменение характеристик исходного сырья и материалов, изменение характеристик основного технологического оборудования, изменение условий внешней среды и т.д.).

**9.** Запись значений показателей энергоемкости продукции (изделий) в стандарты, конструкторскую, технологическую, проектную и другую документацию предпочтительнее осуществлять в форме:

- ◆ - числовых значений;
- ◆ - таблиц числовых значений.

## **8) Классификация показателей энергетической эффективности**

Показатели энергоэффективности продукции классифицируют по:

а) группам однородной продукции.

**Пример:** показатели энергоэффективности электродвигателей, паровых турбин, холодильников;

б) виду используемых энергоресурсов (энергоносителей).

**Пример:** показатели энергоэффективности использования электроэнергии, топлива (котельно-печное, моторное), тепловой энергии (горячая вода, водяной пар, хладагенты), сжатого газа, воды, находящейся под давлением, энергии физических полей (электромагнитное, акустическое, радиационное) и т.п.;

в) методам определения показателей:

- ◆ расчетно-аналитический,
- ◆ опытно-экспериментальный,
- ◆ статистический,
- ◆ приборный,
- ◆ смешанный.

Расчетно-аналитический метод основывается на использовании методик определения расчетных значений показателей при проектировании изделий.

Опытно-экспериментальный метод основывается на данных специально организованных экспериментах с опытными образцами энергопотребляющей продукции с проведением специальных измерений характеристик для оценки показателей энергоэффективности.

Статистический метод основывается на подборе и обработке статистических данных по показателям энергоэффективности продукции, выбранным в качестве прототипов исследуемого образца.

Приборный метод основывается на проведении специальных испытаний промышленных образцов продукции и измерений фактических значений показателей энергоэффективности.

Смешанный метод представляет собой комбинацию двух или большего числа вышеперечисленных методов;

г) области использования:

- ◆ прогнозируемые показатели,
- ◆ планируемые показатели,

- ◆ фактические показатели;

д) уровню интегрированности рассматриваемого объекта;

**Пример:** показатели энергоэффективности станка, производственного технологического комплекса, системы энергоснабжения предприятия, региона и т.п.

- 4.1. Структура энергетического баланса промышленного предприятия.
- 4.2. Интенсивное энергосбережение.
- 4.3. Эксергетические балансы теплотехнологических установок.
- 4.4. Натуральные и экономические критерии оценки эффективности использования энергии.

---

## ***РАЗДЕЛ 5. Основы энергоаудита объектов теплоэнергетики.***

---

### **5.1. Законодательная база проведения энергетических обследований и энергоаудита.**

Документы, регламентирующие порядок проведения энергетических обследований, представлены:

- ◆ нормативно-правовыми документами;
- ◆ государственными стандартами (ГОСТами);
- ◆ справочными и методическими материалами
- ◆ договором на проведение энергоаудита между обследуемой организацией и организацией – энергоаудитором;
- ◆ техническим заданием (программой) проведения энергоаудита.
- ◆ нормативно-правовые документы:
- ◆ федеральные и региональные законы;
- ◆ постановления Правительства РФ и Правительств субъектов РФ;
- ◆ указы Президента РФ;
- ◆ федеральные и региональные программы по энергосбережению;
- ◆ приказы, руководящие документы и правила, утвержденные Министерством энергетики;
- ◆ документы региональных управлений государственного энергетического надзора, федеральные и региональные программы по энергосбережению.

Перечень основных из них:

1. Постановление Правительства РФ №1087 от 02.11.95 г. "О неотложных мерах по энергосбережению".
2. Федеральный Закон №28-ФЗ от 03.04.96 г. "Об энергосбережении".
3. Постановление Правительства РФ №80 от 24.01.98 г. "О Федеральной целевой программе "Энергосбережение России" на 1998-2005 гг."
4. Постановление Правительства РФ №588 от 15.06.98 г. "О дополнительных мерах по стимулированию энергосбережения в России".
5. Постановление Правительства РФ №938 от 12.08.98 г. "О государственном энергетическом надзоре в Российской Федерации".
6. Федеральная целевая программа "Энергосбережение России" на 1998-2005 гг.
7. Положение о государственном энергетическом надзоре
8. Постановления Правительств субъектов Российской Федерации.
9. Региональные программы по энергосбережению.
10. Временные руководящие указания по организации работ в сфере энергосбережения в управлениях государственного энергетического надзора в субъектах Российской Федерации, утвержденные зам. министра топлива и энергетики Российской Федерации 15.04.99 г.
11. Правила проведения энергетических обследований организаций. Утверждены зам министра топлива и энергетики Российской Федерации 25.03.98 г.
12. Правила проведения энергетических обследований, установленные федеральным органом, уполномоченным осуществлять энергонадзор.

#### ГОСТы:

1. ГОСТ Р 51379-99 Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Общие положения. Типовые формы.
2. ГОСТ Р Р51514-99 Энергетическая эффективность. Состав показателей.
3. ГОСТ Р 51387—99 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения.

#### Справочные и методические материалы:

- ◆ методики проведения энергетических обследований и составления энергетического паспорта потребителя топливно-энергетических ресурсов;
- ◆ методические пособия для работников энергонадзора и энергослужб предприятий;
- ◆ учебные пособия по энергоаудиту и энергосбережению;
- ◆ справочные пособия по энергетике и энергосбережению;
- ◆ правила технической эксплуатации и техники безопасности при эксплуатации электроустановок и теплотребляющих установок;
- ◆ технические нормативные материалы.

#### Примеры приведены ниже:

1. Методика проведения энергетических обследований предприятий и организаций. Утверждена начальником Главгосэнергонадзора РФ Б.П. Варнавским 23.12.98.
2. Б.П. Варнавский. Энергоаудит промышленных и коммунальных предприятий. Учебное пособие.
3. Пособие по курсу "Методология проведения энергетического аудита". Москва, АСЭМ, 1997.
4. Методические материалы для энергоаудита. Методическое пособие под ред. А.Г. Вакулко, В.М. Васильева, О.Л. Данилова, А.П. Ливинского. Москва, МЭИ, 1999.

Энергоаудит проводится в соответствии с Федеральным законом "Об энергосбережении", постановлением Правительства Российской Федерации "О неотложных мерах по энергосбережению" и "Правилами проведения энергетических обследований".

Постановлением Правительства Министерство топлива и энергетики Российской Федерации обязывалось разработать и утвердить положение о регулярном проведении энергетических обследований организаций всех форм собственности при годовом потреблении ими энергетических ресурсов более 6000 т.у.т. или более 1000 тонн моторного топлива. Проведение обязательных энергетических обследований нормативно оформлено Федеральным законом "Об энергосбережении 28-ФЗ от 3 апреля 1996 года.

Комплекс вопросов, определяющих общие положения, организацию, порядок проведения энергетических обследований, источники финансирования, правила оформления отчетов и другой документации определены действующими "Правилами проведения энергетических обследований", утвержденных Министерством топлива и энергетики в 1998 году.

Методика проведения энергетических обследований организаций утверждена начальником Главгосэнергонадзора Б.П. Варнавским 23.12.1998 г.

Порядок проведения энергетических обследований жилищно-коммунальных хозяйств определен указанием Главгосэнергонадзора от 10.06.97 г. №42-6/11-р.

Постановлением Правительства "О государственном энергетическом надзоре в Российской Федерации: №938 от 12.08.98 года органы и учреждения государственного энергетического надзора в соответствии с возложенными на них задачами организуют и проводят обязательные энергетические обследования (энергоаудит) организаций независимо от их формы собственности в части эффективного использования топливно-энергетических ресурсов.

Порядок проведения энергетических обследований определяется также "Временными руководящими указаниями по организации работ в области энергосбережения в управлениях государственного энергетического надзора", утвержденных Министерством топлива энергетики РФ в апреле 1999 года.

### **Цель и задачи проведения энергетических обследований.**

Энергетические обследования проводятся с целью оценки эффективности использования организациями и предприятиями топливно-энергетических ресурсов, снижения затрат потребителей и реализации энергоэффективных решений.

Энергоаудит распространяется на предприятия и организации, являющиеся юридическими лицами, независимо от форм собственности и их филиалы, использующие топливно-энергетические ресурсы для производства продукции и услуг, а также на собственные нужды. Обязательному обследованию подлежат предприятия и организации, потребляющие более 6000 т.у.т. в год или более 1000 тонн моторного топлива. По решению органов исполнительной власти субъектов Федерации проводятся обследования организаций, потребление энергоресурсов которыми составляет менее 6000 т.у.т. (1000 т моторного топлива) в год.

Энергоаудит решает следующие основные задачи:

- ◆ оценка фактического состояния энергоиспользования на предприятии (организации), выявление причин возникновения непроизводственных потерь ТЭР и их количественная оценка;
- ◆ разработка плана мероприятий, направленных на снижение потерь ТЭР
- ◆ выявление и оценка резервов экономии топливно-энергетических ресурсов (оценка потенциала энергосбережения);
- ◆ оценка рационального энергопотребления технологическими установками и на собственные нужды;
- ◆ разработка требований по созданию или совершенствованию системы учета и контроля расхода топливно-энергетических ресурсов;
- ◆ разработка рекомендаций по модернизации энергоиспользующего оборудования и совершенствованию технологических процессов с целью снижения энергопотребления;
- ◆ оптимизация структуры баланса энергопотребления.

### **Организация проведения энергоаудита**

Организация проведения энергоаудита регламентируется «Правилами проведения энергетических обследований».

Общее руководство и координация работ по проведению энергоаудита осуществляется Департаментом по государственному энергетическому надзору и энергосбережению Министерства энергетики РФ.

Организация работ по энергетическому обследованию на территории субъектов РФ осуществляется органами и учреждениями Госэнергонадзора - региональными и территориальными управлениями государственного энергетического надзора.

Органы и учреждения государственного энергетического надзора проводят обязательные энергетические обследования по планам, утвержденным Министерством энергетики согласованным с администрациями соответствующих субъектов РФ. Сводная Программа проведения обязательных энергетических обследований энергоемких предприятий РФ на 1999-2003 гг. согласована с администрациями субъектов РФ и утверждена приказом Министерства топлива и энергетики от 18 мая 1999 года №161. Всего в этой программе 5028 предприятий с годовым потреблением ТЭР 517 млн. т.у.т. в год (общее потребление всеми отраслями экономики ТЭР в Российской Федерации оценивается в 950 млн. т.у.т.).

Энергетические обследования проводятся по графику, утвержденному органами исполнительной власти субъекта РФ для предприятий и организаций, находящихся на его территории.

Энергоаудит осуществляется:

- ◆ региональными и территориальными управлениями государственного энергетического надзора;
- ◆ организациями, осуществляющими энергетические обследования (энергоаудиторы).

Энергоаудитор должен отвечать следующим требованиям:

- ◆ обладать правами юридического лица;
- ◆ иметь необходимое инструментальное, приборное и методологическое оснащение;
- ◆ располагать квалифицированным и аттестованным персоналом;
- ◆ иметь опыт выполнения работ в области энергоаудита;
- ◆ иметь лицензию на право проведение энергетических обследований, выдаваемую региональными управлениями государственного энергетического надзора;
- ◆ иметь аккредитацию управления государственного энергетического надзора.

В своей деятельности Департамент, органы и учреждения госэнергонадзора, организации - энергоаудиторы руководствуются нормативно-правовыми актами, перечисленными в 5.1.

Энергоаудитор руководствуется нормативными правовыми актами органов государственной власти РФ и субъектов РФ, а также собственным уставом.

Энергоаудитор до начала отчетного периода информирует о предстоящем обследовании органы и учреждения государственного энергетического надзора.

Периодичность проведения обязательных энергетических обследований потребителей ТЭР - не реже одного раза в три года.

Финансирование энергетических обследований организаций производится за счет средств федерального, местного бюджетов и внебюджетных источников, а также за счет их собственных средств.

Органы и учреждения Государственного энергетического надзора проводят энергоаудит по методикам, утвержденным Департаментом государственного энергетического надзора и энергосбережения.

Энергоаудиторы проводят энергетические обследования по методикам Государственного энергетического надзора или по собственным методикам, согласованным с региональными или территориальными органами госэнергонадзора.

Перед проведением обследования аудитор составляет техническое задание на выполнение работ в соответствии с выбранной методикой и согласовывает ее обследуемым потребителем ТЭР.

По завершении энергетических обследований энергоаудитором оформляется следующая документация:

- ◆ акт (отчет) о проведенном обследовании установленной формы, подписанный представителями энергоаудитора и обследуемого потребителя ТЭР (отчет передается потребителю ТЭР);
- ◆ инструментально - подтвержденный топливно-энергетический баланс;
- ◆ энергетический паспорт (передается энергоаудитором в региональное или территориальное управление госэнергонадзора);
- ◆ рекомендации по повышению эффективности использования ТЭР и снижению затрат энергоресурсов.

Согласно «Правилам проведения энергетических обследований» не допускается косвенная оценка эффективности использования энергоресурсов.

Результаты энергетического обследования должны содержать:

- ◆ оценку эффективности использования ТЭР потребителем энергоресурсов;

- ◆ причины выявленных нарушений в их использовании;
- ◆ оценку резервов экономии энергоресурсов;
- ◆ предложение по проведению технических и организационных мероприятий по энергосбережению с указанием прогнозируемого энергосберегающего эффекта в физическом и денежном выражении и стоимости работ по проведению энергосберегающих мероприятий.

### **Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов.**

Основные требования к построению, изложению и содержанию энергетического паспорта промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов изложены в ГОСТ Р 51379-99.

Энергетический паспорт потребителя ТЭР разрабатывают на основе энергетического обследования, проводимого с целью оценки эффективности использования ТЭР, разработки и реализации энергосберегающих мероприятий.

Разработку и ведение паспорта обеспечивает потребитель ТЭР. Методические рекомендации по заполнению и ведению энергетического паспорта разрабатывают энергоаудиторы и согласовывают с федеральными органами исполнительной власти, уполномоченными для государственного надзора за эффективным использованием ТЭР.

Ответственность за достоверность данных энергетического паспорта несут лица, проводившие энергетические обследования, административное руководство потребителя ТЭР.

Энергетический паспорт потребителя ТЭР должен храниться на предприятии, в территориальном органе государственного энергетического надзора и в организации, проводившей энергоаудит.

Энергетический паспорт состоит из следующих разделов:

- 1) Общие сведения о потребителе ТЭР;
- 2) Сведения о потреблении ТЭР:
  - ◆ общее потребление энергоносителей,
  - ◆ потребление электроэнергии,
  - ◆ потребление тепловой энергии,
  - ◆ потребление котельно-печного топлива,
  - ◆ потребление моторного топлива;
- 3) Сведения об эффективности использования ТЭР;
- 4) Мероприятия по энергосбережению и повышению эффективности использования ТЭР;
- 5) Выводы

Заключительный раздел энергетического паспорта потребителя ТЭР должен включать:

- ◆ перечень зафиксированных при обследовании потребителя фактов непроизводительных расходов ТЭР с указанием их величины в стоимостном и натуральном выражении;
- ◆ предлагаемые направления повышения эффективности использования ТЭР с оценкой экономии последних в стоимостном и натуральном выражении с указанием затрат, сроков внедрения и окупаемости;
- ◆ количественную оценку снижения уровня непроизводительных расходов ТЭР за счет внедрения энергосберегающих мероприятий:
  - ◆ беззатратных и низкозатратных;
  - ◆ средnezатратных;
  - ◆ высокозатратных.



## 5.2. Виды энергоаудита

В утвержденных Минтопэнерго «Правилах проведения энергетических обследований организаций», ориентированных в первую очередь на обеспечение безопасности эксплуатации энергетических установок, предусмотрены шесть видов энергетических обследований организаций: предпусковое и предэксплуатационное; первичное; периодическое (повторное); внеочередное; локальное; экспресс-обследование.

Согласно этим правилам перед пуском и вводом в эксплуатацию топливо- и энергопотребляющего оборудования, региональные (территориальные) органы Главгосэнергонадзора России проводят обследование смонтированного оборудования с целью проверки соответствия монтажа и наладки требованиям государственных стандартов и СНиПов по показателям энергоэффективности.

К энергетическим обследованиям, позволяющим оценить эффективности использования энергоресурсов можно отнести несколько видов обследований.

Так, при первичном обследовании производится оценка эффективности использования ТЭР (проверяется эффективность работы оборудования, использующего ТЭР, состояние учёта используемых ТЭР, отчётность по их использованию, анализ затрат на топливо - и энергообеспечение и т.д.).

При периодическом (повторном) обследовании проверяется выполнение ранее выданных предписаний (рекомендаций), оценивается динамика потребления ТЭР и их удельных затрат на выпуск продукции (энергоёмкость, стоимость ТЭР в общих материальных затратах производства).

Внеочередное обследование проводится, как правило, по инициативе регионального (территориального) органа Главгосэнергонадзора России или администрации субъекта Федерации в случаях, если по ряду косвенных признаков (рост общего и удельного потребления ТЭР, себестоимости продукции и топливной составляющей в ней, выбросов в атмосферу и т.д.) у них возникли предположения о резком снижении эффективности использования ТЭР, если результаты обследования, проведённого энергоаудитором, вызывают сомнения в их достоверности, а также в случае обращения потребителя ТЭР в органы государственной власти за предоставлением льгот, связанных с использованием топливно-энергетических ресурсов.

Локальные и экспресс-обследования носят ограниченный по объёму и времени проведения характер. При этом производится оценка эффективности использования либо одного из видов ТЭР (электрическая и тепловая энергии; твёрдое, жидкое или газообразное топливо), вторичных энергоресурсов, либо по отдельной группе агрегатов (отдельным агрегатам), либо по отдельным показателям эффективности.

Первичное, периодическое (повторное), внеочередное, локальное и экспресс- обследование имеют право проводить как органы Главгосэнергонадзора России, так и энергоаудиторы.

Контрольное энергетическое обследование предприятия состоит:

- ◆ в сборе информации: об организации работ по всем видам текущих плановых заданий (в части использования ТЭР, предписаний и программ, а также сведений о ходе выполнения соответствующих этапов этих заданий; об объёме и характере энергопотребления на заданном контрольном интервале времени по заданной контрольной выборке обследуемых объектов; о показателях энергетической эффективности технологических процессов и оборудования (ГОСТ Р 51541); о технологической и производственной дисциплине, квалификации персонала, состоянии нормативно-технической и правовой базы энергосбережения, соответствующей работе с кадрами; о финансовых затратах, связанных с обслуживанием потребностей предприятия в ТЭР;
- ◆ в анализе собранной информации: для оценки хода выполнения плановых заданий по энергосбережению; для выработки дополнительных рекомендаций и мероприятий, направленных на снижение энергозатрат; для укрупнённой оценки потенциала энергосбережения предприятия и возможностей использования этого потенциала;
- ◆ в подготовке и оформлении: отчетных материалов и рекомендаций; собранной первичной информации и промежуточных аналитических материалов.

Энергетический аудит предприятия согласно упомянутому выше проекту ГОСТа состоит:

- ♦ в сборе информации: о техническом состоянии зданий, сооружений, оборудования, установок, технических комплексов, технических систем и других технических элементов (объектов аудита); о режимах функционирования структурных элементов: оборудования, установок, зданий, сооружений, технических комплексов и технических систем, технологических процессов, технологических линий и производств; об уровне, объеме и структуре энергопотребления предприятия в целом и его структурных, технических и технологических элементов (объектов обследования); об организации и культуре эксплуатации и технического обслуживания элементов и технических систем, о нормативной базе выполнения этих работ, трудовой, производственной и технологической дисциплине; о финансовых затратах за поставленные энергоресурсы и договорно-правовых отношениях с поставщиками этих ресурсов; о выполнении нормативных требований экономического, социального, экологического характера, а также требований к качеству продукции, работ и услуг;
- ♦ в анализе собранных данных: для оценки уровня эксплуатации, технического обслуживания, технологических режимов с целью составления энергобалансов с учетом рекомендаций ГОСТ 27322 и выявления потенциала энергосбережения для выборки последующих предложений по подбору и внедрению энергосберегающих мероприятий, модернизации и реконструкции производства, переподготовке кадров и других организационных и технических мер; для составления или коррекции энергетического паспорта предприятия (по ГОСТ Р 51379; для оценки возможностей оптимизации финансовых затрат по расчетам за поставленные энергоресурсы и упорядочение взаимоотношений с поставщиками и потребителями; для оценки возможностей и последующей проектной проработки вопросов оптимизации внутризаводского учета и статистики энергопотребления;
- ♦ в подготовке и оформлении: отчетных материалов и данных для последующих разработок; собранных первичных данных и аналитических материалов.

Основной целью предаудита организаций, предполагающих на добровольной основе решать задачу повышения эффективности использования энергоресурсов, является определение необходимости проведения энергоаудита того или иного уровня. Для этого проводится оценка доли финансовых затрат на энергоресурсы (топливо, электроэнергия, тепловая энергия, вода и др.) в суммарных затратах предприятия, выявление динамики изменения этой доли за последние 2÷3 года.

Проведение предаудита. Оценка необходимости проведения энергоаудита того или иного уровня на стадии предаудита проводят или путем сравнения значений удельного (на единицу производимой продукции) энергопотребления со среднестатистическими, полученными на разных предприятиях, производящих один и тот же вид продукции, по сходной технологии, или путем вычисления доли финансовых затрат на энергоресурсы в себестоимости продукции.

Применительно к сегодняшнему состоянию экономики страны можно использовать следующие рекомендации: если доля энергозатрат составляет 5÷10%, то энергоаудит можно пока не проводить; при возрастании доли энергозатрат до 11÷15% проведение энергоаудита становится целесообразным; дальнейшее увеличение доли до 16÷20% и более требует проведения срочного энергоаудита.

С инженерной точки зрения более грамотно сравнение значений (среднестатистических, нормируемых и фактических) удельных энергопотреблений на производство единицы продукции.

Анализ полученных величин позволяет сделать обоснованный вывод о целесообразности проведения энергоаудита.

Покажем это на примере данных табл. 5, в которой приведены значения удельного энергопотребления при производстве некоторых видов продукции.

Таблица 5  
Удельное энергопотребление производств

	Единица	Хорошее	Среднее	Плохое
Котлы ДКВР-2,5-13÷ДКВР-20-13	кг у. т./Гкал	155	159	165
Котлы ПТВМ-30÷ ПТВМ-100	кг у. т./Гкал	158	160	164
Печи туннельные для обжига керамических плиток	кг у. т./м <sup>3</sup> ч	2,0÷2,3	2,0÷2,8	>3,0

	Единица	Хорошее	Среднее	Плохое
Камеры периодического действия для обработки железобетонных элементов (напольные камеры)	МДж./ м3	395	450	520
Сушилки для пиломатериалов (при сушке условного пиломатериала)	ГДж./ м3	0,94	1,05	>1,15
Получение чугуна	кВт×час/т	10	12	>15
Получения спирта этилового	кВт×час/т	1000	1200	>1350
Получение цемента	кВт×час/т	90	120	>150
Получение сахара-рафинада	кВт×час/т	55	70	>90
Получение автостекла	кВт×час/м2	32	38	>45

Очевидно, что сравнение полученных на обследуемом предприятии значений фактического удельного энергопотребления с имеющимися в табл. 2.1 показателями позволит предположить о существующем нерациональном использовании энергоресурсов и обосновать принимаемое решение о проведении энергоаудита первого и второго уровня.

Иногда подобным сравнением (табл. 6) можно выяснить необходимость проведения энергоаудита. Приведенные в табл. 6 данные показывают целесообразность проведения энергоаудита производства товарного железобетона, керамзитогравия, металлоконструкций, поскольку указанные в скобках цифры соответствуют фактическим удельным энергозатратам на одном из московских заводов железобетонных конструкций [13].

Для получения указанных в табл. 6 данных на стадии преаудита определяются основные характеристики предприятия - ассортимент выпускаемой продукции, состав потребляемых энергоресурсов, производственная структура, численность работников, состав основного оборудования и зданий, режим работы, структура управления, сведения о величине составляющей энергозатрат в себестоимости выпускаемой продукции и т.д.

На этом этапе следует четко определить доступную информацию по энергоиспользованию на предприятии, оценить степень ее достоверности, выделить ту ее часть, которая будет использоваться в энергоаудите. Оценку объективности получаемой информации можно иметь после осмотра предприятия; знакомства со схемами энергоснабжения; знакомства с системами учета энергоресурсов и с технологическими схемами. При этом следует уже на этапе знакомства с предприятием выделять наиболее энергоемкие подразделения, технологические циклы и места наиболее вероятных потерь энергоресурсов, что позволит обосновать перед руководителями предприятия необходимость дальнейшего энергоаудита.

Таблица 6

Среднегодовые удельные нормы энергоресурсов заводов ЖБИ

Вид продукции	Единицы измерения	Расход энергии		
		Электроэнергия, кВт×час	Тепловая энергия, Гкал	Топливо кг. у. т.
Товарный железобетон	м <sup>3</sup>	18,72(40)	0,41 (0,75)	—
Товарный бетон	м <sup>3</sup>	4	0,0363	—
Асфальтобетон	т	4,24	0,0363	—
Керамзитогравий	м <sup>3</sup>	13,25	—	124,5 (250)
Металлоконструкции	т	99,7 (400)	—	—
Выработка сжатого воздуха	м <sup>3</sup>	0,24 (0,12)	—	—
Выработка тепла котельной	Гкал	22,7 (10)	—	166 (160)

Преаудит заканчивается написанием краткого отчета, содержащего предварительный анализ структуры и эффективности энергопотребления, а также проект программы проведения углубленного энергоаудита.

Энергоаудит первого уровня имеет цели: определить структуру энергозатрат и структуру энергоиспользования; определить и убедительно показать руководству предприятия потенциал энергосбережения; выявить участки, где нерационально или расточительно расходуются энергоресурсы; расставить приоритеты будущей работы; выявить и доказать руководству предприятия целесообразность проведения углубленного обследования.

Энергоаудит первого уровня. В соответствии с указанными выше целями и задачами энергоаудита первого уровня следует установить фактический и расчетный топливно-энергетический баланс организации. Источниками первичной информации, позволяющими установить фактический топливно-энергетический баланс, могут быть: интервью и анкетирование руководства и технического персонала; схемы энергоснабжения и учета энергоресурсов; отчетная документация по коммерческому и техническому учету энергоресурсов; счета от поставщиков 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, ТЭО, проектная документация на любые технологические и организационные усовершенствования, утвержденные планом развития предприятия [13].

Предприятие должно предоставить для работы всю имеющуюся документальную информацию не менее чем за так называемый базовый и текущий годы по месяцам. Под базовым годом подразумевают 12 месяцев года, предшествующего году проведения обследования. При этом обследуемое предприятие отвечает за достоверность предоставленной информации.

Примером картины потребления энергоресурсов могут служить данные табл. 7.

Информацию об энергопотреблении при установлении приоритетности обследования потребление тех или иных энергоносителей следует представлять в виде, приведенном в табл. 8.

Таблица 7  
Сведения о потреблении энергоносителей обследуемого предприятия в 1998-1999 г.г.

Год, месяц	Потребление газа, млн. м3	Потребление электроэнергии, млн. кВт·час	Потребление сжатого воздуха, млн. м3	Теплопотребление, тыс. Гкал	Водопотребление, тыс. м3
1	22,887	42,643	20,109	209,323	134,912
2	21,379	33,219	18,718	183,131	122,614
3	22,315	38,623	20,084	182,774	132,699
4	21,416	39,107	17,796	180,763	126,368
5	15,218	43,985	16,864	159,939	125,107
6	12,259	41,170	16,528	132,092	110,908
7	12,272	37,652	17,742	124,831	115,514
8	15,038	43,559	18,727	156,148	121,423
9	15,811	43,137	18,332	157,649	116,122
10	18,964	39,911	19,012	160,262	119,739
11	22,313	42,012	18,209	184,763	119,807
12	24,587	44,033	19,831	203,167	110,784
Всего за 1998 г.	224,459	489,049	222,052	2034,752	1455,997
1	26,935	45,580	19,281	219,285	113,219

2	22,488	39,131	17,332	185,376	109,238
3	22,870	45,139	18,672	198,044	116,219
4	17,450	44,821	17,906	174,454	110,162
Всего за 4 мес. 1999 г	85,743	174,671	73,191	777,159	448,838

Таблица 8  
Потребление энергоресурсов и их стоимость

Энергоресурс	Ед. изм.	Потребление	Энерго содерж. Гдж/ед	Энергет. эквив. Гдж	% энергии	Стоимость, тыс. руб.	% стоимости	Тыс. руб Гдж
Электроэнергия	кВт×ч.	97514400	0,0036	351052	35,7	24758910	63,7	70.05
Природный газ	м3	1832900	0,0382	70017	7,1	1030090	2,7	10.47
Дизельное топливо	л	2692900	0,0401	107985	11,0	4739500	12,2	40.39
Мазут	л	85844800	0,0411	3528835	35,9	60007870	15,4	10.70
Сжиженный газ	кг	286100	0,0495	14162	1,4	702090	1,8	40.96
Кокс	кг	3038600	0,02875	87360	8,9	1619570	4,2	10.85
<b>ВСЕГО</b>				<b>983411</b>	<b>100,0</b>	<b>388509040</b>	<b>100,0</b>	

Годовое потребление различных энергоресурсов гипотетического предприятия приводят к единой единице измерения, например, ГДж, т.у.т. и т.п.

Таблица показывает не только долевое потребление различных энергоресурсов на предприятии, но и финансовые затраты на них.

Можно заметить, что в то время как мазут дает почти 36% требуемой энергии, его стоимость составляет всего 15,4%. Такой же уровень потребления электроэнергии соответствует 64% общей стоимости.

В качестве целей энергоаудита второго уровня можно назвать: нахождение возможностей внедрения энергосберегающих проектов; оценку их технико-экономическую эффективность; объединение в одну систему рекомендаций и технических решений по рациональному энергопользованию и энергосбережению; создание предпосылки для подготовки долговременного комплексного плана реализации энергосбережения на предприятии.

При проведении различных по глубине видов энергоаудита существенное значение наряду с техническим обследованием должен занимать и финансовый аудит, осуществляемый привлекаемыми к проверке специалистами. Это необходимо, поскольку результатом обследования должны быть рекомендации как технического, так и финансово-экономического характера.

Углубленный энергоаудит (энергоаудит второго уровня). На этой стадии обследования необходимо собрать следующие сведения:

- ◆ о выпуске основной и дополнительной продукции предприятием, о наличии энергетического паспорта, наличии организационно-технических мероприятий по экономии энергоресурсов;
- ◆ об энергопотреблении, тарифах и финансовых затратах на энергоресурсы (электроэнергия, теплоэнергия, топливо, вода, сжатый воздух, сжатый азот, холод);
- ◆ об учёте потребления энергоресурсов;
- ◆ об источниках энергоснабжения и параметрах энергоносителей (ГПП, ТП, ТЭЦ, котельная, компрессорные и холодильные установки)
- ◆ о коммуникациях предприятия;

- ◆ об установленной мощности электроустановок по направлениям использования;
- ◆ о технологическом теплопотребляющем оборудовании;
- ◆ о технологическом топливопотребляющем оборудовании;
- ◆ об источниках ВЭР;
- ◆ о системе сбора и возврата конденсата;
- ◆ о холодильном оборудовании;
- ◆ о компрессорном оборудовании (сжатый воздух, азот);
- ◆ о подогревателях, ГВС, отопления;
- ◆ о приточно-вытяжной вентиляции;
- ◆ о системах отопления зданий, сооружений, предприятий;
- ◆ о системах горячего и холодного водоснабжения, о количестве душевых сеток и водоразборных кранов;
- ◆ о системе освещения, электроприёмниках здания, сооружения;
- ◆ об удельных расходах ТЭР на выпускаемую продукцию;
- ◆ о техническом состоянии энергетического оборудования, уровне автоматизации работы этого оборудования, наличии технических паспортов, проведении балансовых испытаний и контрольных замеров.

По каждому разделу заполняются соответствующие таблицы.

Для реализации целей энергоаудита второго уровня следует дать количественную и качественную оценку состояния фактического энергоиспользования всех видов энергоресурсов и расчетным путем определить расчетно-нормативное потребление энергоресурсов. Разница фактического и расчетно-нормативного потребления энергии составит основную величину резерва экономии энергоресурсов. Использование для покрытия энергетических нагрузок вторичных энергетических ресурсов увеличит резерв экономии энергии. Анализ топливно-энергетического баланса промышленных предприятий и составление научно-обоснованного топливно-энергетического баланса часто позволяют выявить значительные резервы экономии энергии.

Помимо указанных видов энергоаудита особое место занимает так называемый инструментальный аудит.

Под инструментальным аудитом (ИА) согласно [12] понимают обследование объекта или его частей, выполняемое квалифицированными (подготовленными, имеющими лицензию на право проведения энергетических обследований) независимыми специалистами, с помощью сертифицированных и поверенных инструментов (средств измерений, как правило, автономных), которое имеет целью получение достоверной информации о потреблении ресурсов, параметрах состояния оборудования и коммуникаций объекта, объемах и качестве вырабатываемых продуктов, степени использования отходов.

Инструментальное обследование (ИА) применяется для восполнения отсутствующей информации, которая необходима для оценки эффективности энергоиспользования, но не может быть получена из документов или вызывает сомнение в достоверности.

В числе задач, решаемых с помощью ИА можно назвать: определение количественных значений и качества потребляемых ресурсов (в частности - энергоносителей, воды и т.д.) как в статических моделях, так и в динамических; диагностика и мониторинг параметров состояния оборудования объекта промышленного предприятия или ЖКХ; определение количественных значений и качества вырабатываемых продуктов (в частности таких, которые могут выступать в роли вторичных ресурсов) и оценка количества и степени (качества) утилизации отходов.

К задачам ИА относятся и экспресс-измерения (или однократные измерения) - отдельные разовые задачи получения объективной информации о параметрах состояния объекта.

Однократные измерения - наиболее простой вид измерений, при котором исследуется энергоэффективность отдельного объекта при работе в определенном режиме. Примером может служить измерение КПД котла, обследование насосов, вентиляторов, компрессоров и т.д. Для однократных измерений достаточен минимальный набор измерительных приборов, оснащение которых записывающими устройствами не обязательно.

В зависимости от поставленных задач, специфики объекта, выделенных финансовых средств, выбираются подходы к выполнению ИА. Если ставится задача короткого разового инструментального обследования (экспресс-измерений), то при этом обычно используются статические модели процессов и выполняются, как правило однократные прямые или косвенные измерения. Такой метод ИА иногда называют диагностикой в отличие от мониторинга, в котором используются уже динамические модели объектов и требуется определить поведение исследуемых величин в течение достаточно длительного времени (например, в течение недели).

В процессе ИА промышленных предприятий и отдельных его объектов возникает необходимость в измерении: статических (однократные) и динамических (длительная регистрация) контактных и бесконтактных измерений температуры; статических (однократные) и динамических (длительная регистрация) измерений расхода жидкости; статических (однократные) измерений влажности, температуры, скорости воздушного потока, давления, освещенности как внутри помещений, так и снаружи; анализа состава газов для оценки процессов горения, оценки КПД котла и определения удельных норм расхода топлива на выработку 1 Гкал тепла и т.д.

В задачу длительных измерений могут входить: регистрация часовых, суточных, недельных графиков нагрузки одно- и трехфазных электрических сетей (активной и реактивной мощности и энергии); оценка основных показателей качества электроэнергии; регистрация пусковых параметров электропривода и скорости оборотов; графиков нагрузок, симметрии нагрузки фаз; проверка параметров электрической изоляции и заземления; многоканальная регистрация суточных и недельных графиков температуры, влажности, расхода жидкостей и газов; оценка состояния теплотрасс, поиск дефектов, мест утечек, определение качества изоляции т.д.

Выполнение ИА проходит в общем случае в несколько этапов [12]: анализ задач обследования; выбор измерительного и компьютерного оборудования по функциональным возможностям, метрологическим и эксплуатационным характеристикам; выбор коллектива специалистов инструментального аудита (или подготовка собственной бригады); подготовка экспериментов; выполнение экспериментов; обработка и представление результатов.

### 5.3. Инструментальный энергоаудит

#### Приборы для энергоаудита

Математически тепловая энергия изменяющегося теплового потока теплоносителя, прошедшая через трубопровод за определенный интервал времени, в общем случае может быть представлена, как

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} m h dt = \int_{t_0}^{t_1} V h dt$$

где  $m$  - массовый расход теплоносителя,  $V$  - объемный расход теплоносителя,  $h$  - энтальпия теплоносителя,  $t_0$  и  $t_1$  - моменты времени, соответствующие началу и окончанию измерений.

Энтальпия является функцией температуры и давления теплоносителя. Таким образом, тепловая энергия зависит от текущих параметров теплоносителя (массового расхода, температуры и давления) и интервала времени, в течение которого проводятся измерения. Уравнение измерений тепловой энергии при реализации в средствах измерений, методиках выполнения измерений преобразуют, заменяя интеграл конечными суммами, а энтальпию и плотность теплоносителя выражают через соответствующие уравнения состояния.

$$Q_i = \sum G_i h_i$$

где  $Q_i$ -тепловая энергия, соответствующая  $i$ -ому интервалу времени,  $G_i$ -масса теплоносителя, прошедшего через трубопровод за  $i$ -й интервал времени,  $h_i$ -энтальпия теплоносителя, соответствующая  $i$ -ому интервалу времени,  $n$ -количество интервалов времени измерения. Погрешность измерений в результате замены интеграла суммой указывается в паспорте прибора или приводится в методике выполнения измерений. Вычислительный алгоритм, заложенный в прибор, должен соответствовать схеме подключения потребителя и обязательно соответствовать Правилам учета тепловой энергии.

Универсальным уравнением расчета потребленной тепловой энергии, которое должно реализовываться в системе учета тепловой энергии, является следующее:

$$Q = G_1(h_1 - h_{вх}) - G_2(h_2 - h_{вх}),$$

где  $G_1$  - расход теплоносителя по подающему трубопроводу,  $h_1$  - энтальпия теплоносителя в подающем трубопроводе,  $G_2$  - расход теплоносителя в обратном трубопроводе,  $h_2$  - энтальпия теплоносителя в обратном трубопроводе,  $h_{вх}$  - энтальпия холодного теплоносителя, поступающего в систему.

Уравнение названо универсальным потому, что применимо как для закрытых, так и для открытых систем теплоснабжения. Схема и алгоритм измерения любого теплосчетчика должны реализовывать универсальное уравнение. Для этого на прямом и обратном трубопроводах измеряются массовые расходы, температуры и давления теплоносителей. Алгоритм расчета содержит определение энтальпии (или плотности) для каждого потока по измеренным температурам и давлениям и вычислению разности в каждый момент времени, в который регистрируются текущие параметры, и вычисляется потребляемая тепловая мощность.

#### **Классификация теплосчетчиков**

По заложенному в конструкцию узла учета алгоритму вычисления следует различать комплекты, предназначенные для работы только в закрытых системах и универсальные, которые будут правильно работать как в закрытых, так в открытых системах. За рубежом распространены только закрытые (в том числе и индивидуальные) системы теплоснабжения. Поэтому практически все приборы учета выпускаемые западными фирмами предназначены для работы в закрытых системах теплоснабжения.

Другая классификация теплосчетчиков - по типу приборов, измеряющих расходы и входящих в комплект теплосчетчика. По принципу действия различают расходомеры:

- 1) на сужающем устройстве (диафрагма, сопло, труба Вентури)
- 2) ротационные (крыльчатые) расходомеры
- 3) электромагнитные
- 4) ультразвуковые
- 5) шариковые расходомеры
- 6) вихревые.

Первый тип теплосчетчиков методически наиболее отработан и применяется в течение относительно длительного времени. К недостатку следует отнести их относительную сложность и наличие вполне определенного гидравлического сопротивления, уменьшающего располагаемый перепад давления в системе теплоснабжения. Не везде возможно применение такого типа теплосчетчика без ограничения качества теплоснабжения.

Второй тип теплосчетчиков основан на ротационном принципе и требует гарантированного качества теплоносителя по чистоте от взвесей и вредных или агрессивных примесей.

Теплосчетчики, основанные на электромагнитном принципе измерения расхода чувствительны к содержанию железистых отложений в трубопроводах. В условиях России распространены системы со стальными трубопроводами и стальными отопительными приборами. Сами системы имеют неудовлетворительные показатели по содержанию воздуха (и кислорода) в циркулирующей в системах воде.



Метрологически наиболее перспективны ультразвуковые расходомеры в составе теплосчетчиков. Существенным преимуществом электромагнитных и ультразвуковых преобразователей давления является то, что они не представляют гидравлического сопротивления.

Шариковые расходомеры обладают достаточной точностью и простотой конструкции. Кроме того, они не предъявляют жестких требований к качеству теплоносителя (воды).

Подводя итоги к выбору типа преобразователя давления в составе комплекта для измерения количества тепловой энергии следует отметить, что наиболее проработанными в методическом плане и достоверными в своем диапазоне измерений являются теплосчетчики использующие традиционный метод измерения перепада давления на сужающем устройстве (например, СПТ-920, СПТ-941, СПТ-960). Его наладка и эксплуатация требует определенной подготовки пользователя. Приборы, основанные на других принципах измерения давления: вихревом, электромагнитном и ультразвуковом имеют ряд указанных преимуществ, но и обладают индивидуальными слабыми сторонами. Например, электромагнитные датчики чувствительны к содержанию соединений железа в воде, ультразвуковые расходомеры чувствительны к твердым взвесям и газовым включениям, у расходомеров типа вертушек ненадежна механическая часть.

При выборе теплосчетчика важно убедиться, что заложенный в нем вычислительный алгоритм соответствует схеме подключения потребителя. Кроме того следует обращать внимание на требования датчиков к качеству воды, это обеспечит надежную работу датчика в течение всего периода эксплуатации. Приборы, рассчитанные на массового пользователя должны быть просты в эксплуатации и доступны для обслуживания.

Достаточно хорошо известно около десяти ультразвуковых портативных расходомеров, использующих в качестве первичного преобразователя пьезоэлектрические датчики, работающие в ультразвуковом диапазоне. Например, Portoflow -300 MK-IIR (фирмы Mikronics, Великобритания), UFM-600 (фирмы KRONKE, Германия), UDM-100 (фирмы Seba Dinatron, Германия), DDF-3088 (фирмы Peek Measurement, США), Днепр-7 (Россия).

Принцип измерения расхода основан на базовом понятии эхолокации потока. Известно, что время распространения акустических волн вдоль течения жидкости меньше времени их распространения против течения и меньше времени распространения волн в неподвижной жидкости. Расходомер состоит из генератора ультразвуковых импульсов, излучателя сигналов, приемника сигналов, детектора и измерителя временных интервалов. Генератор формирует короткий ультразвуковой импульс, который одновременно запускает измеритель временных интервалов. Излучатель направляет сформированный импульс вдоль измеряемого потока. Приемник улавливает эхо-импульс и останавливает измеритель временных интервалов. Измеряемая задержка  $t$  эхо-импульса обратно пропорциональна скорости  $V$  потока жидкости в трубе. Зная скорость звука в измеряемой среде, площадь сечения трубы  $S$  и плотность среды  $\rho$ , можно вычислить объемный и массовый расход теплоносителя.

$L = V \cdot S \cdot dt$ , где  $V$  1/dt -объемный расход

$G = \rho \cdot V \cdot S \cdot dt$  - массовый расход

Расходомер PortoFlow-300 предназначен для измерения скорости движения жидкости по цилиндрическим трубопроводам и объемного расхода методом, основанным на регистрации разницы времени прохождения ультразвукового сигнала по потоку жидкости и против ее движения. Преимущество этого прибора является то, что измерения могут проводиться на трубопроводах, изготовленных из любого материала и практически любого диаметра. Для измерения нет необходимости вводить с помощью врезки первичных преобразователей (излучателей и приемников сигналов) в трубопровод, так как датчики накладываются на наружную поверхность.

Расходомер DDF-3088 предназначен для измерения средней по сечению скорости движения и объемного расхода теплоносителя в цилиндрических трубопроводах методом, основанном на эффекте Доплера. Преимущества те же, что и портативных расходомеров типа PortoFlow, а недостатком является слабая чувствительность при малой скорости движения измеряемой среды и невозможность регистрации нулевого расхода.

Портативный доплеровский ультразвуковой расходомер-счетчик Днепр-7 является прибором общепромышленного назначения с широким диапазоном контролируемых сред и накладным монтажом ультразвуковых датчиков. Явлением Доплера называется зависимость частоты волн, воспри-

нимаемых приемником, от скоростей движения источника волн приемника по отношению к среде, в которой распространяется волна. Частоты волн, в которых работают ультразвуковые расходомеры составляет до 50 МГц. Положительные и отрицательные свойства такие же, как и у первых двух расходомеров, Расширен диапазон измеряемых сред. В качестве контролируемой среды может быть вода (чистая питьевая, сточная, горячая (кроме оборотной) речная, с примесями, азрированная и т.д.), кислоты, щелочи, спирты и их растворы и т.д., а также насыщенный водяной пар при температуре от 100 °С до 200 °С. При индивидуальной градуировке возможна работа на мазуте и воздухе. Прибор позволяет проводить измерения расхода в трубопроводах с отложениями. Расходомер обеспечивает непрерывное зондирование жидкости ультразвуковыми импульсами постоянной частоты и преобразование доплеровского сдвига частотного спектра отражений, зависящего от скорости потока, в импульсный сигнал пропорциональной частоты, его обработку и цифровое измерение и индикацию мгновенного значения расхода жидкости.

Обобщая технические данные различных расходомеров можно указать основные их параметры (таблица 1).

Таблица 1  
Основные характеристики портативных расходомеров

Диаметры условного прохода трубопроводов при толщине стенки от 2 до 20 мм	20-5000 мм
Скорость движения жидкости	до 12 м/с
Объемный расход	от 0,05 до 140000 м <sup>3</sup> /ч
Погрешность измерения	2-3%
Температура рабочей среды	-10-+150 0С
Температура окружающей среды	-10-+55 0С
Вывод информации	Дисплей, аналоговый или импульсный выход. Возможность архивирования информации, связь с компьютером.
Питание	220 В, комплектуются автономными источниками питания

Особенности применения портативных расходомеров.

Для пересчета средней скорости жидкости в величину объемного расхода необходимо знать площадь поперечного сечения трубопровода. Поскольку непосредственное измерение внутреннего диаметра трубопровода нарушения его целостности невозможно, то применяют косвенный метод: измеряют наружный диаметр и толщину стенки трубопровода ультразвуковым толщиномером, а затем вычисляют внутренний диаметр.

Процесс измерений включает в себя:

- ◆ выбор места установки датчиков на трубопроводе
- ◆ установку датчиков
- ◆ обеспечение звукового контакта со стенкой трубопровода
- ◆ определение наружного диаметра трубопровода
- ◆ определение толщины стенки трубопровода
- ◆ вычисление площади поперечного сечения.

Каждая из этих операций может стать источником неточности и повлиять на точность определения расхода. Например, условием правильного выбора места установки датчиков является наличие прямого участка трубы не менее 10 Ду перед местом установки и 5 Ду - после места установки. Датчики устанавливаются на поверхность, очищенную от грязи, краски и ржавчины. Место установки для лучшего звукового контакта покрывается специальной смазкой. Измерения наружного диаметра трубопровода осуществляются штангенциркулем (Ду<200 мм) в двух взаимно перпендикулярных направлениях или рулеткой (Ду>200 мм) в двух сечениях, в последнем случае диаметр вычисляется по средней измеренной длине окружности. Толщину стенки рекомендуется определять, как среднюю по не менее 5 измерениям в различных точках по окружности трубы, причем результат каждого измерения не должен отличаться более чем на 5% от среднего значения. Как правило, указанные методические требования позволяют проводить измерения расхода среды в пределах 3-5% в диапазоне расходов от 3 до 100% и температуре жидкости от 3 до 150 °С.

Задачи применения портативных измерителей расхода в процессе энергоаудита:

- ◆ экспресс-обследование узла теплового ввода для определения экономического эффекта, получение которого возможно в результате установки приборов учета потребляемой тепловой энергии
- ◆ проведение измерений с целью правильного подбора типоразмера стационарного датчика расхода
- ◆ проверка материального баланса в точке теплосети
- ◆ определение потребления тепловой энергии объектом (зданием, организацией, промышленным предприятием) при проведении его энергетического обследования.

При экспресс-обследовании теплового узла до его реконструкции с помощью переносных приборов проводятся измерения потребляемой тепловой энергии, на основании которых проводятся расчеты часовых, месячных и годовых расходов тепловой энергии. Результаты этих расчетов сравниваются с действующими договорами с энергоснабжающими организациями и платежными требованиями, выставляемыми на основании этого договора. Такое сравнение позволяет сделать вывод об эффекте, который получит потребитель в результате перехода на приборный способ расчета за потребляемую энергию.

Большинство типов стационарных расходомеров имеют достаточно узкий диапазон измеряемого расхода. Поэтому для правильного его выбора предварительно надо измерить фактический расход теплоносителя в реальных режимах эксплуатации сети. Измерения в этом случае могут быть выполнены с небольшой точностью, важно выявить диапазон измеряемых расходов.

При проверке материального баланса сети измерения проводятся с максимально возможной точностью. В этом случае сравниваются расходы в прямом и обратном трубопроводах участка сети.

### **Бесконтактные (инфракрасные) термометры**

Переносные бесконтактные термометры предназначены для

- ◆ температурного контроля в подающих и обратных трубопроводах, камерах тепловых сетей, в узловых точках сетей, в центральных и индивидуальных тепловых пунктах;
- ◆ поиска мест прохождения тепло- и водомагистралей;
- ◆ поиска мест утечек горячей воды;
- ◆ проверки теплоизоляции зданий и сооружений;
- ◆ определения мест повреждения теплоизоляции и промерзания стен;
- ◆ измерения температуры удаленных и труднодоступных объектов;
- ◆ измерения температуры частей, не допускающих прикосновение (дефектных электроконтактных соединений, трансформаторов, электродвигателей и других установок без отключения напряжения).

Принцип действия.

Бесконтактные термометры используют принцип детектора инфракрасного (теплого) излучения. Интенсивность и спектр излучения тела зависят от его температуры. Измеряя характеристики спектра излучения тела в инфракрасном диапазоне волн, прибор косвенно определяет температуру его поверхности.

#### Основные характеристики

1) Диапазон температур и длина волны.

Рабочий диапазон температур зависит от длины волны излучения, на которую реагирует детектор прибора. Чем выше температура тела, тем короче длина волн в инфракрасном диапазоне. Высокотемпературные приборы имеют более короткую длину волн. Потребителя интересует температурный диапазон работы термометров. Рабочий диапазон бесконтактных термометров от -30 до 900°C. Существуют термометры специального назначения (с расширенным диапазоном измерения - от -30 до 1200 °C и высокотемпературные с диапазоном от 600 до 3000°C) .

2) Быстродействие.

Быстродействие оценивается временем достижения 95% установившегося состояния (время установления показаний). Время установления показаний для этих приборов составляет от 0,3 до 0,5 секунд.

3) Установка коэффициента излучения.

Точность измерения температуры зависит от установки коэффициента излучения тела (степени черноты). Большинство поверхностей по этой характеристике приближаются к абсолютно черному телу, но некоторые существенного от него отличаются (например, полированные поверхности). Простые приборы имеют фиксированный коэффициент излучения (0,95), погрешность измерения при этом может достигать нескольких градусов. Более сложные приборы позволяют его устанавливать, компенсируя погрешность измерений. Термометры с регулируемой степенью черноты имеют большую чувствительность (0,1 °C по сравнению с 0,2 °C для термометров с фиксированным коэффициентом излучения).

Погрешность измерений 1-2% от показаний.

Оптическое разрешение.

Температура окружающей среды 0-50 °C.

Отображение измеренных значений в цифровом виде на экране дисплея.

Дополнительные функции.

В зависимости от типа термометра помимо отображения текущей температуры возможен набор дополнительных сервисных функций:

- ◆ -запоминание разности температур, минимальной, максимальной и средней температуры;
- ◆ -встроенная таблица коэффициентов излучения;
- ◆ -аналоговый и цифровой выходы измеренного значения;
- ◆ -звуковой и световой сигнал при измерении температуры ниже заданной;
- ◆ -память на 100 значений температуры;
- ◆ -регистрация температуры с заданным интервалом времени;
- ◆ -порт для подключения компьютера или принтера;
- ◆ -дополнительный вход для подключения термопары.

#### **Контактные термометры**

Предназначены для измерений температуры контактным методом. Термометр состоит из электронного блока и набора датчиков температуры, представляющих собой термопары и термометры сопротивления в различных конструктивных исполнениях. Типовой комплект контактного термометра, как правило, представлен:

- ◆ термопарой для измерения температуры поверхности;
- ◆ погружной термопарой для измерения температуры сыпучих и жидких сред;
- ◆ бескорпусной термопарой для измерения температуры воздуха.

Конструктивно термопары могут быть встроены в корпус с ручным держателем. В зависимости от типа корпуса они подразделяются на воздушные (для измерения температуры воздуха и других газов), поверхностные (для измерения температуры поверхности твердых тел) и погружные (для измерения температуры в объеме жидких и сыпучих веществ).

Существуют специальные конструкции корпуса термопар, например клещи, предназначенные для закрепления на трубах систем теплоснабжения, или магнитные термопары, которые крепятся на металлические поверхности с помощью магнита.

Выпускаются бескорпусные термопары, представляющие собой два свитых провода в изоляции. Они характеризуются быстрой тепловой реакцией и применяются для замеров температуры на поверхности или в объеме среды.

В качестве сменных датчиков температуры используются стандартные термопары:

- ◆ хромель-алюмель (тип К по международной классификации, диапазон измерения температуры составляет от -50 до 1000 °С)
- ◆ хромель-копель (тип J по международной классификации, диапазон измерения температуры составляет от -50 до 600 °С)

Электронные блоки термометров могут иметь до двух переключаемых диапазонов измерения. Более узкий диапазон измерения характеризуется более высоким разрешением и точностью.

Выпускаются записывающие контактные термометры, имеющие память для хранения результатов до 6000 измерений, а также возможность проведения измерений с заданной частотой (периодичность измерений от 1 с до 24 часов). Такие термометры могут работать в комплекте с компьютером.

Основные характеристики контактных термометров, комплектующихся термопарами типа К представлены в таблице 2.

Таблица 2

Диапазон измерений	-50-1000 °С
Разрешение	0,1-10С *)
Точность измерений	0,5-1 0С*)

\*) Разрешение и точность измерений зависит от диапазона измерения. Более узкому диапазону соответствует лучшее разрешение и более высокая точность. Нижнее значение отвечает диапазонну -50-200 °С.

#### 5.4.. Методология энергоаудита промышленного предприятия

Несмотря на существование нормативно-технических документов, определяющих правила проведения энергетических обследований предприятия, энергоаудиторы в настоящее время не имеют конкретных узаконенных методик проведения обследований как предприятий в целом, так и отдельных его систем и установок.

Ниже рассматривается на примерах различных предприятий методология анализа статистической отчетности предприятия, получаемая энергоаудиторами на этапе сбора информации.

Для осознанного оперирования с исходной информацией следует в начале представить принципиальную схему материальных и энергетических потоков (например, рис.2). Представленные здесь и ниже графические примеры дают лишь общие представления о подходах к анализу и не нуждаются в расшифровке названия каждой технологии, цеха и т.п.

Как было показано выше, энергоаудит предприятия целесообразно начинать с анализа статистической информации и опросных листов, заполненных работниками предприятия.

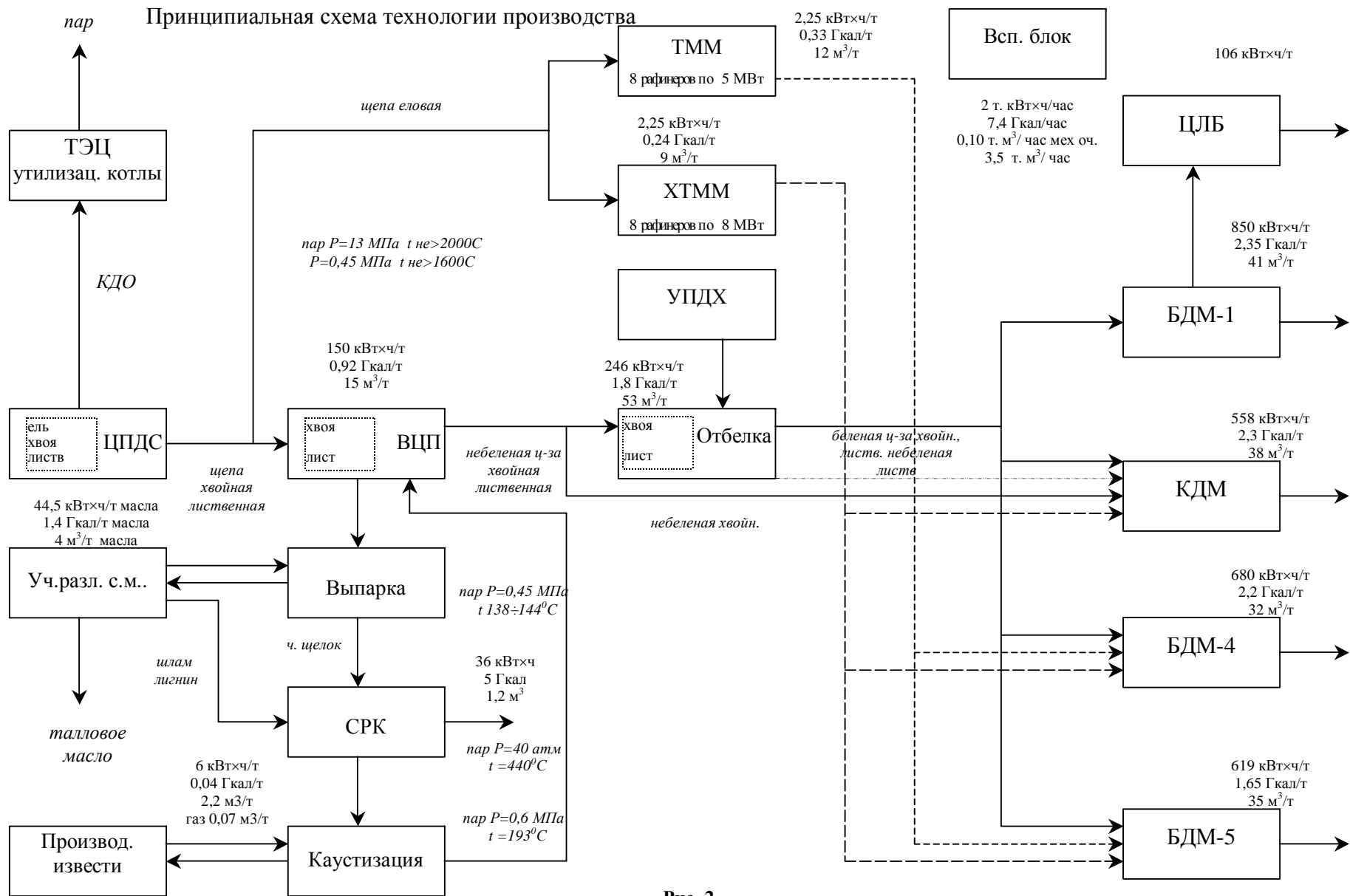
Анализ информации следует начинать с общих представлений об энергообеспечении и энергопотреблении предприятия (принципиальная схема энергообеспечения, топливно-энергетический баланс в натуральных и условных единицах, сопоставление стоимости единицы условного топлива подводимой с помощью различных энергоносителей).

Примером картины потребления энергоресурсов могут служить данные табл. 1.

Таблица 1

Сведения о потреблении энергоносителей обследуемого предприятия в базовом и текущем годах

Год, месяц	Потребление газа, млн. м3	Потребление электроэнергии, млн. кВт·час	Потребление сжатого воздуха, млн. м3	Теплопотребление, тыс. Гкал	Водопотребление, тыс. м3
1	22,887	42,643	20,109	209,323	134,912
2	21,379	33,219	18,718	183,131	122,614
3	22,315	38,623	20,084	182,774	132,699
4	21,416	39,107	17,796	180,763	126,368
5	15,218	43,985	16,864	159,939	125,107
6	12,259	41,170	16,528	132,092	110,908
7	12,272	37,652	17,742	124,831	115,514
8	15,038	43,559	18,727	156,148	121,423
9	15,811	43,137	18,332	157,649	116,122
10	18,964	39,911	19,012	160,262	119,739
11	22,313	42,012	18,209	184,763	119,807
12	24,587	44,033	19,831	203,167	110,784
Всего базовый год	224,459	489,049	222,052	2034,752	1455,997
1	26,935	45,580	19,281	219,285	113,219
2	22,488	39,131	17,332	185,376	109,238
3	22,870	45,139	18,672	198,044	116,219
4	17,450	44,821	17,906	174,454	110,162
Всего за 4 месяца	85,743	174,671	73,191	777,159	448,838



**Рис. 2**

Информацию об энергопотреблении при установлении приоритетности обследования потребление тех или иных энергоносителей следует представлять в виде, приведенном в табл. 2 .

Годовое потребление различных энергоресурсов гипотетического предприятия приводят к единой единице измерения, например, ГДж, т у.т. и т.п.

Таблица показывает не только долевое потребление различных энергоресурсов на предприятии, но и финансовые затраты на них.

При этом следует помнить, что в энергообеспечении предприятия могут участвовать и вторичные энергоресурсы. Например, на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности существуют горючие ВЭР в виде черных щелоков, древесных отходов. Их потребление должно быть учтено в приходной статье энергодобавки предприятия, если в дальнейшем предполагают расчет удельных расходов энергии.

Полезную информацию можно получить, если графически представить структуру потребления энергии по основным цехам предприятия (рис. 3.). Как видно, основные усилия энергоаудиторов особенно на уровне экспресс-обследования могут касаться цеха аэрофонтанной сушки (АФС) и цеха каустизации и регенерации извести (ЦКРИ).

Таблица 2

Потребление энергоресурсов и их стоимость

Энергоресурс	Ед. изм.	Потребление	Энерго сдерж. Гдж/ед	Энергет. эквив. Гдж	% энергии	Стоимость, тыс. руб.	% стоимости	Тыс. руб/Гдж
Электроэнергия	кВт×ч.	97514400	0,0036	351052	35,7	24758910	63,7	70.05
Природный газ	м3	1832900	0,0382	70017	7,1	1030090	2,7	10.47
Дизельное топливо	л	2692900	0,0401	107985	11,0	4739500	12,2	40.39
Мазут	л	85844800	0,0411	3528835	35,9	60007870	15,4	10.70
Сжиженный газ	кг	286100	0,0495	14162	1,4	702090	1,8	40.96
Кокс	кг	3038600	0,02875	87360	8,9	1619570	4,2	10.85
ВСЕГО				983411	100,0	388509040	100,0	

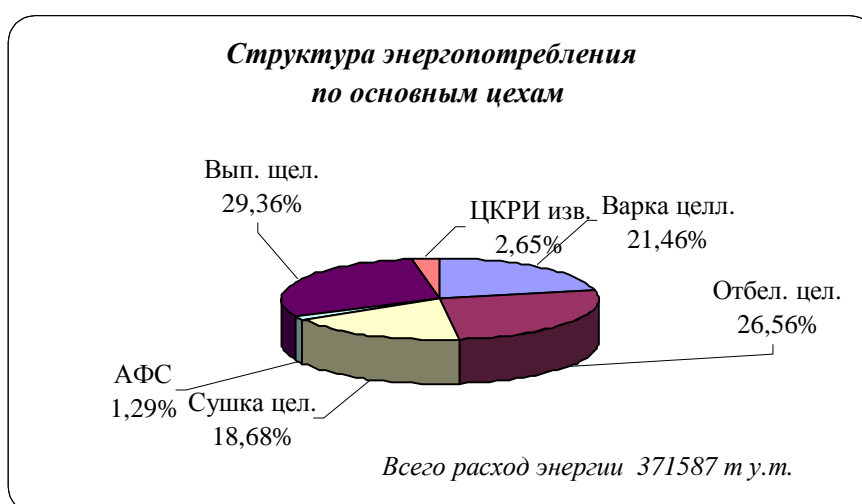


Рис. 3

Фактический топливно-энергетический баланс предприятия можно распределить по направлениям использования: технология, производство тепла и электроэнергии, отопление, вентиляция, горячее водоснабжение, обеспечение энергией социальной сферы предприятия, сторонние потребители, прочие энергозатраты и непроизводительные затраты энергии как небаланс между потребляемой энергией и суммой потребления энергии всеми перечисленными направлениями.



Дальнейший анализ можно и нужно вести как по отдельным энергоносителям, так и по основным цехам (рис. 4, 5, 6, 7, 8).

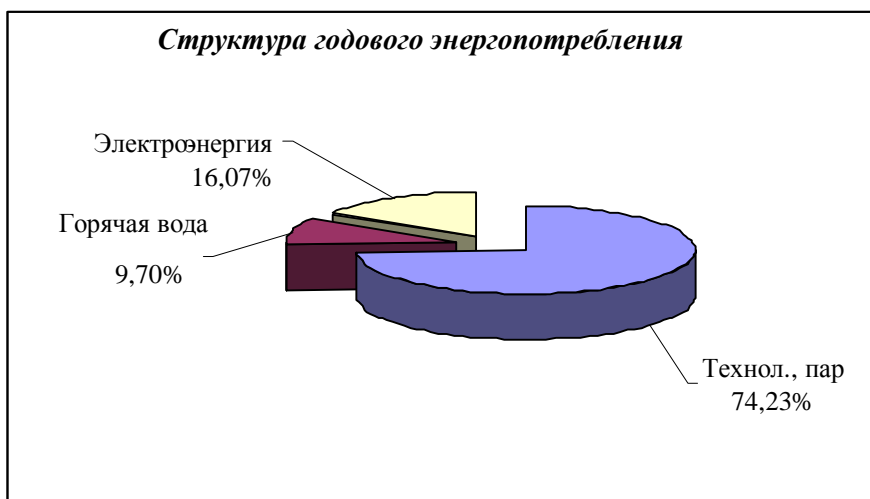


Рис. 4

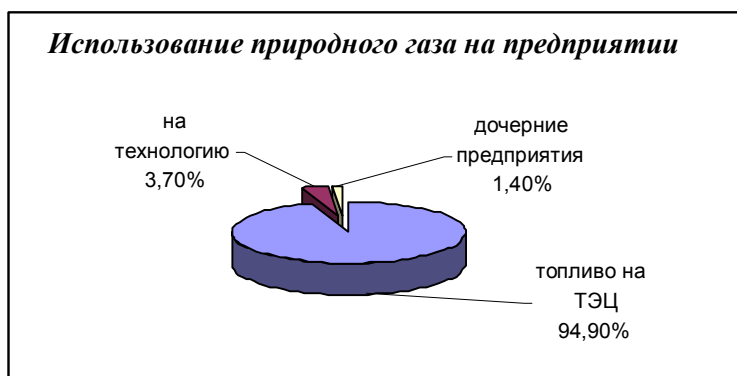


Рис. 5

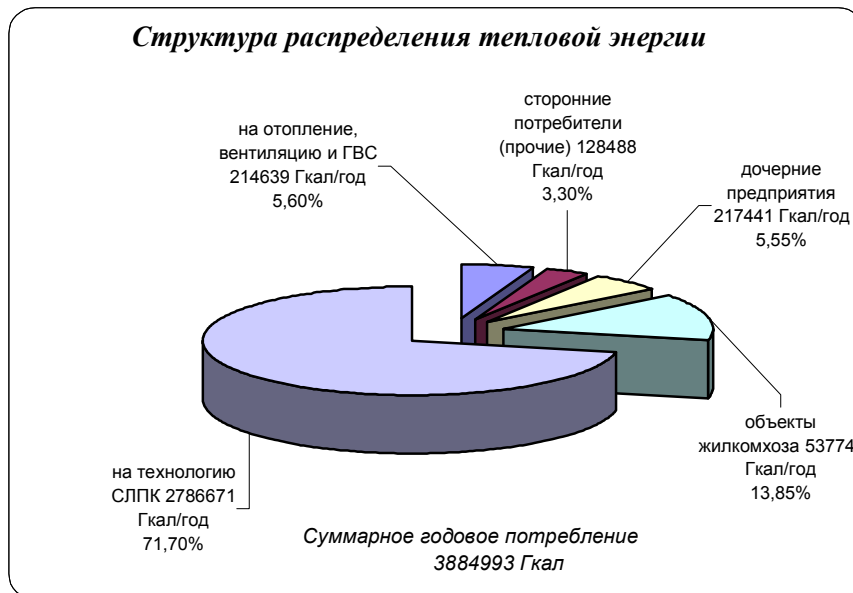


Рис. 6

### Структура энергопотребления в цехе варки

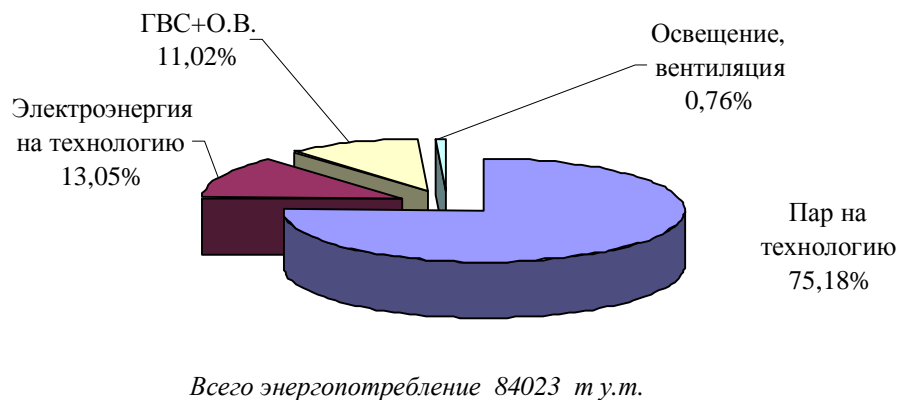


Рис. 7

### Структура расхода тепла по основным цехам

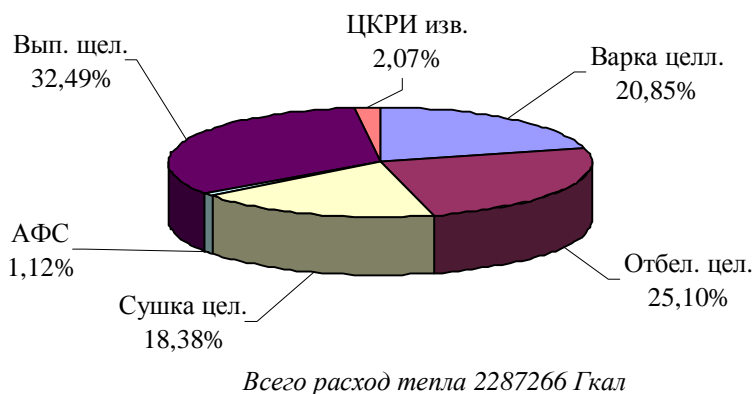


Рис. 8

Для ориентировочной оценки потенциала энергосбережения, имеющегося на предприятии, без реализации целенаправленных энергосберегающих мероприятий и косвенной проверки достоверности отчетных данных используют данные по удельным расходам энергии на выпуск продукции (рис. 9).

Приведя удельные затраты тепловой и электрической энергии к единой единице измерения (т у.т./ед. прод.) и строя зависимость  $q=f(\Pi)$ , где  $\Pi$  – выпуск продукции за месяц, получают возможность оценки минимального потенциала энергосбережения только за счет обеспечения ритмичной работы участка, цеха, предприятия (рис. 10, 11).

За базу сравнения принимают минимальное значение удельного расхода в конкретном технологическом цикле или на предприятии, реализованное в отчетном периоде. Потенциал энергосбережения рассчитывают как величину совокупных годовых потерь энергоресурсов за счет увеличения удельных показателей, вследствие негативных производственных факторов.

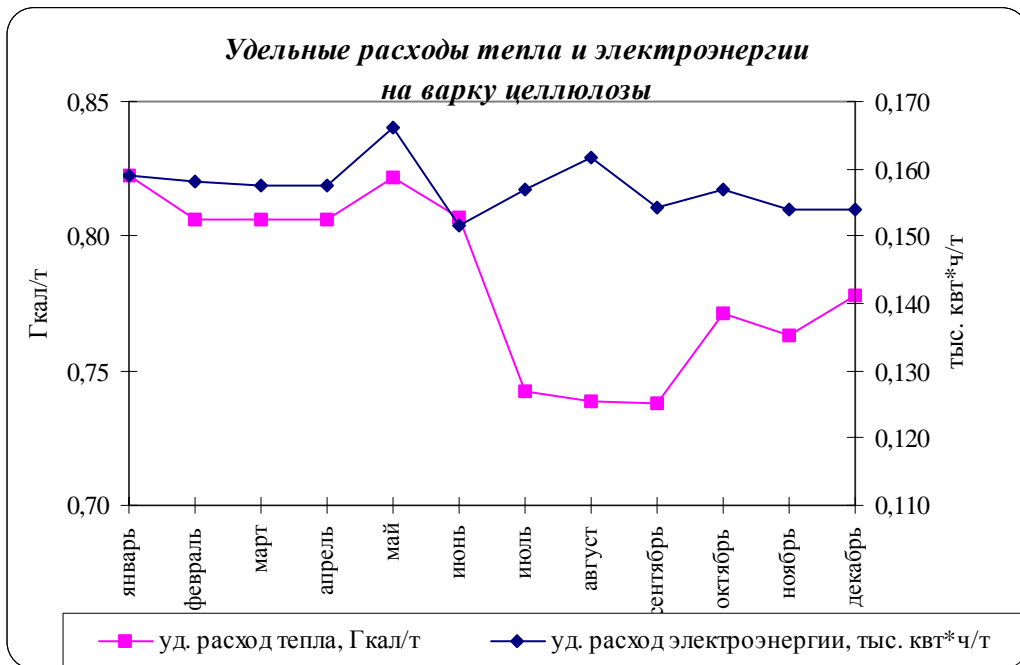


Рис. 9

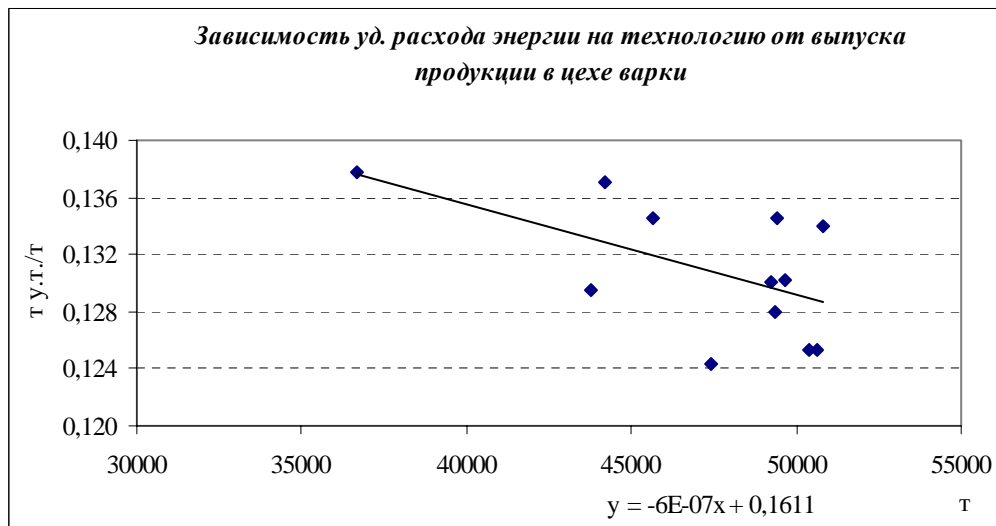


Рис. 10

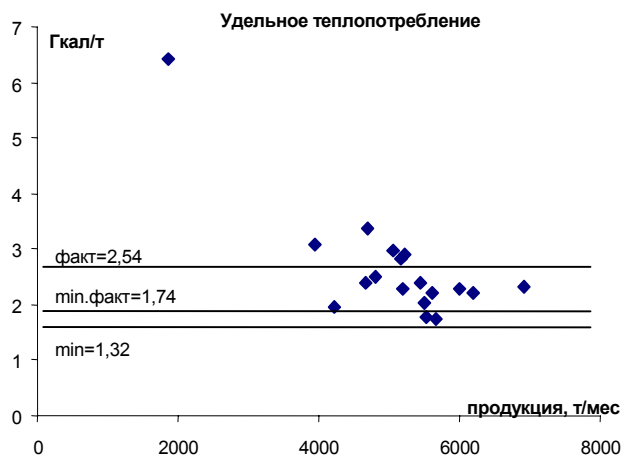


Рис. 11

$$\Delta \mathcal{E} = \sum_i (q_i - q_{\min}) P_i = \sum_i \mathcal{E}_i - q_{\min} \sum_i P_i = \mathcal{E} - q_{\min} \times P = (q_{\text{факт}} - q_{\min}) P$$

где  $q_i$ ,  $q_{факт}$ ,  $q_{min}$  - значение удельного расхода в отдельные месяцы, среднеарифметическое за отчетный и минимальное за рассматриваемый периоды;

$P_i$ ,  $\mathcal{E}_i$  - месячный выпуск продукции и потребление энергоресурсов;

$P$ ,  $\mathcal{E}$  - годовой выпуск продукции и годовое потребление энергии.

Относительный потенциал энергосбережения, в процентах, вычисляют в соответствии с выражением:

$$100\% \frac{\Delta \mathcal{E}}{\mathcal{E}} = \left( 1 - q_{min} \frac{P}{\mathcal{E}} \right) \times 100\%$$

Косвенной проверкой достоверности отчетных данных могут служить, например, графики (рис.12). Очевидно, что с увеличением производительности сокращается доля непроизводительных затрат энергии на пуск и останов оборудования и, соответственно, удельный расход должен снижаться.

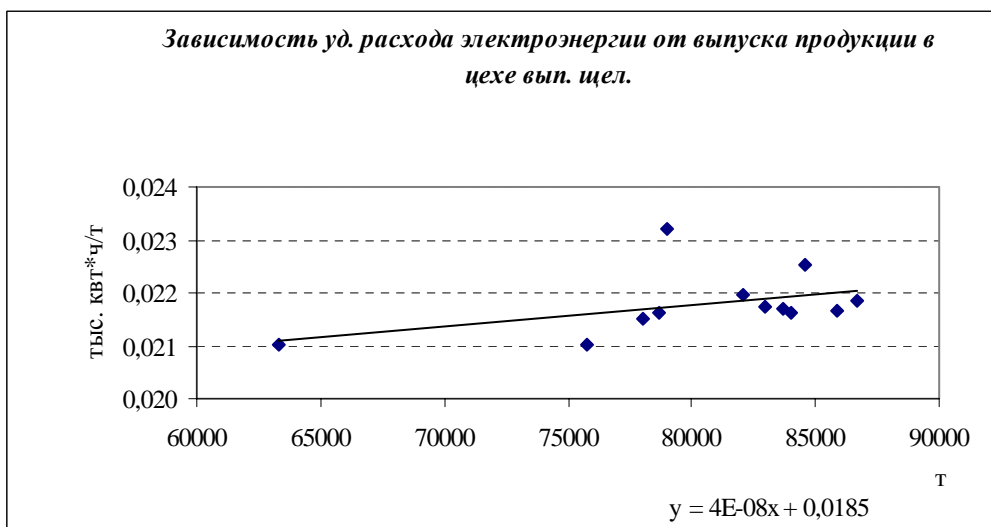


Рис. 12

При проведении углубленного энергоаудита следует определять не только фактические энергозатраты, но и нормативные и составлять расчетно-нормативный баланс (рис. 13).

Ниже приведены методы расчета некоторых составляющих расчетно-нормативного баланса тепловой энергии.

Определение расхода теплоты на отопление. Максимальный расход теплоты на отопление определяют по так называемому расчетному значению наружной температуры для отопления  $t_{н.о}$ , равному значению средней температуры наиболее холодных пятидневок, взятых из восьми наиболее холодных зим за 50-ти летний период по формуле:

$$Q_o = q_o (t_{вн} - t_{н.о}) V_n,$$



**Рис. 13**

где  $t_{вн}$  - расчетная температура воздуха внутри отапливаемых помещений, принимаемая для жилых и общественных зданий 180С, а для производственных зданий по характерной температуре в помещениях производственных цехов, 0С;  $q_{0v}$  - удельный расход тепла на 1 м<sup>3</sup> здания по наружному обмеру (отопительная характеристика здания, равная теплотерям одного м<sup>3</sup> здания при разности внутренней и наружной температур 10С), Вт/(м<sup>3</sup>·К) или ккал/(м<sup>3</sup>·ч·°С);  $V_n$  - наружный строительный объем зданий (без подвалов), м<sup>3</sup>.

Удельные отопительные характеристики жилых, общественных и производственных зданий можно выбирать, например, по [13].

При отсутствии сведений отопительные характеристики жилых зданий определяют по формуле:

$$q_{0v} = \alpha \varphi / V_n^{1/6},$$

где  $V_n$  – объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;  $\alpha$  - постоянный коэффициент, зависящий от типа строительства;  $\varphi$  - коэффициент учитывающий, климатические условия.

Коэффициент  $\alpha$  можно ориентировочно принимать равным, Дж/(с×м<sup>2</sup>,83×К): для кирпичных зданий – 1,85, для зданий из сборного железобетона – 2,3...2,6.

Коэффициент  $\varphi$  зависит от расчетной наружной температуры для отопления  $t_{но}$ : при  $t_{но} \geq -100С$   $\varphi = 1,2$ ; при  $-100С > t_{но} > -200С$   $\varphi = 1,1$ ; при  $-200С > t_{но} > -300С$   $\varphi = 1,0$ ; при  $t_{но} < -300С$   $\varphi = 0,9$ ; при неплотной застройке квартала потери теплоты возрастают на 5÷10%.

Для климатических районов, имеющих расчетное значение наружной температуры, отличное от  $t_{но} = -250С$ , вводят в величины удельной отопительной характеристики поправочный коэффициент  $K$  (табл. 3).

Таблица 3

Поправочный коэффициент для жилых зданий $K$			
Расчетная температура наружного воздуха $t_{но}, °С$	$K$	Расчетная температура наружного воздуха $t_{но}, °С$	$K$
0	1,90	-30	0,92
-5	1,55	-35	0,88
-10	1,34	-40	0,83
-15	1,19	-45	0,79
-20	1,08	-50	0,76
-25	1,00	-55	0,74

Средний за отопительный сезон часовой расход теплоты на отопление определяют по формуле:

$$Q_o^{cp} = Q_o \frac{t_{в.н} - t_{ср.о}^{cp}}{t_{в.н} - t_{н.о}}$$

где  $t_{ср.о}$  - средняя за отопительный сезон температура наружного воздуха, оС.  
 Годовой расход теплоты на отопление:

$$Q_{o.r} = Q_o \cdot \frac{t_{в.н} - t_{н.о}^{cp}}{t_{в.н} - t_{н.о}} \cdot n_o$$

где  $n_o$  – продолжительность отопительного периода в часах

Определение расхода теплоты на вентиляцию. Для упрощенного определения максимальных часовых расходов тепла на вентиляцию применяют удельные вентиляционные характеристики зданий  $q_v$ , (удельный расход тепла на 1 м<sup>3</sup> вентилируемого здания по наружному объему на 1К разности температур между усредненной расчетной температурой воздуха внутри вентилируемых помещений  $t_{в.н}$  и расчетной температурой наружного воздуха  $t_{н.в}$ ).

Максимальный часовой расход теплоты на вентиляцию:

$$Q_B = q_v (t_{в.н} - t_{н.в}) V_H$$

При температуре наружного воздуха ниже расчетной принимают расход теплоты на вентиляцию равным максимальному часовому расходу теплоты по формуле.

При температуре наружного воздуха выше расчетной принимают расход теплоты на вентиляцию пропорциональным расчетной разности температур по выражению:

$$Q_B^x = Q_B \frac{t_{в.н} - t_{н.в}^x}{t_{в.н} - t_{н.в}}$$

Средний за отопительный сезон часовой расход теплоты на вентиляцию определяют по формуле:

$$Q_B^{cp} = Q_B \frac{t_{в.н} - t_{н.в}^{cp}}{t_{в.н} - t_{н.в}}$$

Годовой расход теплоты на вентиляцию:

$$Q_{в.г} = \frac{Q_B \cdot Z_{в}}{24} \cdot \left[ n_o + \frac{t_{в.н} - t_{н.в}^{cp}}{t_{в.н} - t_{н.в}} \cdot (n_o - n_o) \right]$$

где  $t_{н.в}^{cp}$  - средняя температура наружного воздуха в диапазоне отопительного периода для вентиляции, °С;  $n_o$  - продолжительность отопительного периода в часах;  $n_v$  - число часов в отопительном периоде с температурами наружного воздуха для вентиляции ниже расчетной (при  $t_{н.в}=t_{н.о}$ ,  $n_v = 0$ );  $Z_v$  - число часов работы вентиляции в течение суток.

Определение расхода теплоты на горячее водоснабжение. Среднечасовой расход теплоты за сутки наибольшего водопотребления для горячего водоснабжения определяют по формуле:

$$Q_{гв}^{cp} = 1,2 \frac{m \cdot a \cdot (t_{г.в} - t_{х.в})}{24}$$

где  $m$  - количество единиц потребления;  $a$  - норма расхода горячей воды в литрах при температуре 65°С;  $t_{г.в}$  - температура горячей воды;  $t_{х.в}$  - температура холодной воды, подаваемой в систему горячего водоснабжения.

По СНиП температуру горячей воды в местах водоразбора принимают не выше 75°С для любых систем горячего водоснабжения и не ниже 55°С для систем централизованного горячего водоснабжения, присоединенных к открытым системам теплоснабжения, и систем местного горячего водоснабжения; не ниже 50°С для систем централизованного горячего водоснабжения, присоединенных к закрытым системам теплоснабжения.

Температуру холодной воды при отсутствии данных принимают зимой + 50С, летом - +150С.

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение определяют:

$$Q_{гв} = Q_{гв}^{cp} \cdot n_o + 0,8 \cdot Q_{гв}^{cp} \cdot \frac{t_{гв} - t_{х.в.л}}{t_{гв} - t_{х.в.з}} \cdot (8400 - n_o)$$

где  $t_{х.в.з}$  - температура холодной воды зимой (+5°C);  $t_{х.в.л}$  - температура холодной воды летом (+15°C);  $po$  - продолжительность отопительного периода в часах;

Суммарные расходы теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий можно определить через количество людей  $N$ .

При известных расчетных тепловых нагрузках на одного жителя для разных климатических районов  $Q_{обж}$  годовые расходы теплоты на отопление и вентиляцию общественных зданий определяют по формуле:

$$Q_o = (Q_{жоб}^{об} + Q_{жгвс}) \times N,$$

где  $Q_{жоб}$  – удельная тепловая отопительная и вентиляционная нагрузка общественных зданий на одного жителя;  $Q_{жгвс}$  – удельная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение на одного жителя.

#### 5.5. Энергоаудит системы воздухообеспечения (СВС)

Сжатый воздух – самый распространенный энергоноситель на любом промышленном предприятии, а СВС является одним из самых энергоемких потребителей.

Вместе с тем, сжатие воздуха - малоэффективный процесс. В промышленных компрессорах 80...90% потребляемой мощности выделяется в виде тепла и теряется при его отводе. Анализ энергопотребления во всей системе централизованного производства и распределения сжатого воздуха показывает, что потребители со сжатым воздухом используют не более 10% подаваемой на компрессор энергии.

Структурно СВС (рис. 14) состоит из компрессорной станции (1-6), трубопроводного и баллонного транспорта для подачи сжатого воздуха к потребителям (7) и потребителей сжатого воздуха (8).

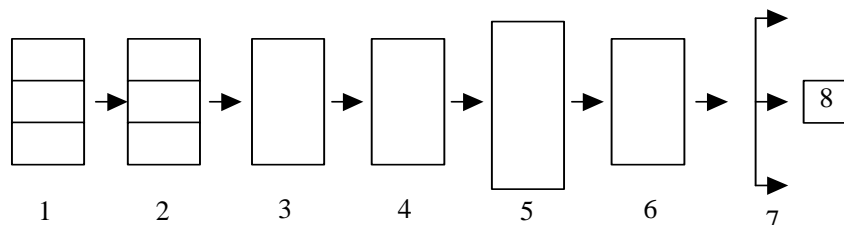


Рис. 14 . Блок-схема производства и распределения сжатого воздуха

1 - воздухозаборные фильтры, 2 - компрессоры, 3 - воздухоохладитель, 4 - влагоотделитель (может устанавливаться вместо (6)), 5 - воздушный ресивер, 6 - воздухоосушитель (необязательно), 7 - распределительная сеть, 8 - потребители.

В зависимости от необходимых потребителям расхода воздуха и его давления компрессорные станции оборудуются центробежными компрессорами с избыточным давлением сжатого воздуха 0,35...0,9 МПа и единичной производительностью 250...7000 м<sup>3</sup>/мин или поршневыми компрессорами с давлением 0,9...20 МПа и единичной производительностью не более 100 м<sup>3</sup>/мин. [8].

Целью энергетического обследования компрессорного оборудования, систем распределения и потребления сжатого воздуха на предприятии является анализ затрат, в основном, электрической энергии на его производство, а также оценка величины непроизводительных потерь сжатого воздуха и эффективности его использования у потребителей.

В процессе обследования выявляются резервы экономии затрачиваемых на производство сжатого воздуха топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и возможности рационального использования вырабатываемого и потребляемого на предприятии сжатого воздуха.

На этой основе осуществляется разработка предложений, направленных на повышение эффективности использования ТЭР и сжатого воздуха, реализацию конкретных энергосберегающих мероприятий, а также оценка затрат на их внедрение.

На ознакомительном этапе обследования энергоаудитору рекомендуется составить схему производства, распределения сжатого воздуха с указанием размеров воздухопроводов и давления в местах потребления, а также перечень потребителей (технологические процессы, пневмоинструмент, системы автоматики и т.п.). При этом желательно иметь представления об энергохозяйстве предприятия и доле затрат энергии на производство сжатого воздуха в общем энергопотреблении предприятия.

Анализ проектной документации (паспорта и регламенты компрессоров и потребителей и т.д.) и данных статистической отчетности (годовые и месячные отчеты о работе СВС, режимы работы компрессоров и др.) об эксплуатации СВС, а также конструктивных особенностей систем распределения сжатого воздуха позволяет по итогам ознакомительного этапа иметь данные о паспортной и фактической производи-

тельности компрессорной, удельных расходах электроэнергии на привод компрессоров, о максимально возможной, максимально длительной и средней нагрузке компрессорной.

На этом этапе обследования основными задачами являются: определение установленной, рабочей и резервной производительности компрессорной станции, расходов электроэнергии на привод, расходов охлаждающей воды и вспомогательных материалов, диаметров внутрицеховых и междцеховых трубопроводов сжатого воздуха, установление фактических удельных расходов электроэнергии на выработку сжатого воздуха, на водоснабжение и собственные нужды.

Фактическая производительность компрессора, которая определяет и все удельные энергетические показатели, оказывается при проверке значительно меньше паспортной. Причин, вызывающих занижение производительности компрессора, много: увеличенное против нормы вредное пространство, неплотности всасывающих и нагнетательных клапанов, неплотности поршневых колец, неплотности сальников, заниженные сечения клапанов, завышенные подъем и толщина клапанных пластин, завышенная температура всасываемого воздуха и др.

Существуют разные методы определения производительности компрессора. Наиболее простым и точным методом является определение производительности при помощи дроссельного расходомера.

Для испытания может быть использован дроссельный прибор, имеющийся на нагнетательном воздухопроводе компрессора и служащий для эксплуатационных измерений. К дроссельному прибору подключается дифманометр лабораторного типа.

В компрессорной, оборудованной несколькими компрессорами, дроссельный прибор для целей испытания должен быть установлен на нагнетательной линии каждого компрессора.

При определении фактической производительности также используют:

1. Пружинные манометры для измерения давления сжатого воздуха, воды и масла. Можно пользоваться установленными на компрессорах эксплуатационными приборами после поверки их в измерительной лаборатории.
2. Ртутные термометры для измерения температур воздуха, воды и масла.
3. Барометр.
4. Тахометр для измерения скорости вращения вала компрессора.
5. Электроизмерительный прибор для измерения мощности, потребляемой компрессором.

Производительность компрессора по условиям всасывания, м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле

$$Q_1 = Ad^2 \sqrt{hT_1 / P_1} \times \frac{P_1 T_0}{P_0 T_1}$$

где А - коэффициент, зависящий от: внутреннего диаметра трубы, диаметра отверстия диафрагмы, шероховатости трубы, заострения входной кромки диафрагмы, расширения воздуха при прохождении через диафрагму и расширения диафрагмы в среде горячего воздуха. Величина А принимается в зависимости от отношения d/D ( D - внутренний диаметр воздухопровода, см, d - диаметр отверстия диафрагмы, см), h - перепад давления на диафрагме, показываемый дифманометром, мм рт. ст., P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> – абсолютное давление воздуха на всасе и сжатого воздуха перед диафрагмой, кг/см<sup>2</sup> (ата), T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub> – абсолютная температура воздуха на всасе и сжатого воздуха перед диафрагмой, К.

Номинальная производительность поршневых и ротационных компрессоров указывается в паспортах и каталогах обычно в м<sup>3</sup>/мин, поэтому при сравнении действительной производительности Q<sub>1</sub> с номинальной, величину Q<sub>1</sub> нужно делить на 60.

Фактическая производительность компрессора должна быть не меньше 90% от номинальной. Если фактическая производительность поршневого или ротационного компрессора меньше 90% от номинальной, а турбокомпрессора меньше 95%, то компрессор должен быть остановлен на капитальный ремонт.

Удельный расход электроэнергии на 1000 м<sup>3</sup> воздуха определяется по данным испытаний компрессора, проводимых для определения его производительности, по формуле

$$\varepsilon = \frac{\mathcal{E} \times a \times 1000}{Q \times C}$$

где Э – затраты электроэнергии по компрессорной и насосной за время испытаний, кВт·ч,

Q – фактическая производительность компрессора, установленная испытанием по условиям всаса, м<sup>3</sup>/ч,



$a$  – коэффициент перевода действительного состояния воздуха в нормальное,

$C$  – длительность испытания, ч.

Коэффициент « $a$ » определяется по формуле

$$a = \frac{1,293}{\gamma} = \frac{2,79 \times (273 + t_0)}{B},$$

где  $\gamma$  - плотность всасываемого воздуха, кг/м<sup>3</sup>,

$t_0$  - температура всасываемого воздуха, °С,

$B$  - барометрическое давление наружного воздуха во время испытания, мм рт. ст.

Величина  $\mathcal{E}$  зависит от типа компрессора, развиваемого им давления, наличия или отсутствия охлаждения и меняется в пределах 80...140 кВт·ч/1000м<sup>3</sup> сжатого воздуха. В любом элементе СВС между компрессором и потребителем эта величина увеличивается вследствие потерь в системе, а у потребителя может быть в 1,5-2 раза выше приведенного значения.

Существует и расчетный метод определения удельного расхода электроэнергии на привод компрессора и насосов систем обратного водоохлаждения, базирующийся на расчете работы сжатия для идеального и далее действительного процесса сжатия [12].

На последующих этапах энергоаудита СВС составляют баланс сжатого воздуха в целом по предприятию и проводят сопоставление нормированных и действительных расходов сжатого воздуха, определяют непроизводительные расходы (утечки) воздуха в сетях и у потребителей. Примерный вид балансов воздуха приведен на рис. 15.

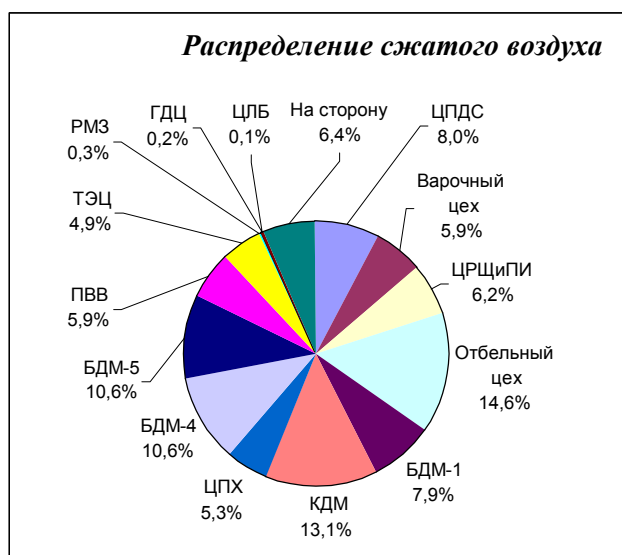


Рис. 15

Анализ баланса по целевому направлению позволяет определить удельный вес различных направлений (потенциальная и кинетическая энергия) использования сжатого воздуха по предприятию в целом и по отдельным цехам, а также долю различных потребителей (пневмомеханизмов) в рамках каждого направления. Анализ данных о величине потерь энергии и утечках при производстве, транспортировке и распределении сжатого воздуха по отдельным цехам и потребителям позволяют оценить резервы, связанные с повышением эффективности потребления и производства сжатого воздуха на предприятии в целом, по компрессорным станциям и по отдельным наиболее крупным потребителям сжатого воздуха.

Путем сравнения фактических показателей с нормативными, аналогичными на энергоэффективных предприятиях, проводят анализ эффективности использования сжатого воздуха, а также электроэнергии и энергоносителей на его производство.

При инструментальном определении утечек воздуха исходят из:

$$y = \frac{Q \times \tau_p}{\tau_p + \tau_x},$$

где  $Q$  – расход воздуха в входе в компрессор,

$\tau_p, \tau_x$  – средние за несколько циклов продолжительности работы компрессоров в рабочем и холостом режимах.

Для инструментального определения  $Q$  необходимо включить все пневматическое оборудование, включить компрессор и дождаться, пока будет достигнуто полное давление в линии и компрессор перейдет на холостой ход (утечки вызовут падение давления, и компрессор снова выйдет в рабочий режим), за несколько циклов вычислить среднее время работы в рабочем режиме ( $\tau_p$ ) и среднее время работы в холостом режиме ( $\tau_x$ ).

Утечки воздуха связаны с непроизводительными затратами электроэнергии (табл. 4).

Таблица 4

Диаметр отверстия повреждений d, мм	Давление в трубопроводе							
	4 бар		6 бар		8 бар		10 бар	
	Расход утечки л/с	Мощ- ность, кВт	Расход утечки л/с	Мощ- ность, кВт	Расход утечки л/с	Мощ- ность, кВт	Расход утечки л/с	Мощ- ность, кВт
1	0,7	0,2	1	0,3	0,3	0,5	1,6	0,7
5	18	4,6	26	8	33	13	40	17
10	73	18	103	33	132	50	161	69

На этапе разработки мероприятий по повышению эффективности использования ТЭР энергоаудитору полезно знать, что в СВС значимы: а) мероприятия по снижению расходов электроэнергии на выработку сжатого воздуха, б) мероприятия по снижению непроизводительных потерь воздуха на всех участках СВС, в) рациональная эксплуатация основного и вспомогательного оборудования.

К мероприятиям группы «а» можно отнести: установку системы регулирования давления, секционирование компрессоров, межступенчатое охлаждение воздуха, снижение номинального рабочего давления в СВС, автоматизацию открытия всасывающих клапанов, улучшение работы компрессоров при регулировании производительности, применение экономичных компрессоров и др.

Среди мероприятий группы «б» можно назвать: систематическое устранение неплотностей в сальниках, воздуховодах, соединительной и запорной арматуре, отключение отдельных неиспользуемых участков воздухораспределительной сети, отключение всей сети в нерабочее время, осушение воздуха перед поступлением его в сеть и др.

К третьей группе относят: снижение потерь со сбросным воздухом, в системе оборотного водоохлаждения, использование автономного воздухообеспечения удаленных (более 0,7...1,0 км) от компрессорной потребителей, работающих по переменному графику с малыми расходами воздуха и др.

Рассмотрим подробнее примеры мероприятий по снижению энергозатрат в СВС.

В СВС с потребителями с резко переменной суточной и недельной нагрузкой чаще всего используется один из самых неэкономичных способов регулирования – сброс избыточного сжатого воздуха в атмосферу, что является прямой потерей затрачиваемой в компрессоре энергии. Практика эксплуатации компрессоров показывает, что эта потеря может составлять 10...15% и даже достигать 30% [12].

Используя при покрытии основной неизменной нагрузки турбокомпрессоры, а переменной составляющей – поршневые компрессоры меньшей производительности, имеющие скоростное регулирование и даже выключаемые в период длительного снижения нагрузки, можно добиться снижения энергозатрат в СВС..

Как было показано выше снижение температур воздуха между ступенями компрессора приводит к значительному энергосбережению.

Снижение температуры воздуха на 8...10°C позволяет снизить потребляемую мощность на 5...8% или (для одного компрессора К-250 с номинальной мощностью 1600кВт) примерно на 128кВт, что при  $h=6000$  час/год составит 0,8 млн кВт·ч/год.

При эксплуатации систем оборотного водоснабжения возможно отложение загрязняющих веществ на поверхностях промежуточных охладителей, выход из строя отдельных трубок этого теплообменника,

снижение расхода охлаждающей воды, что приводит к повышению температуры воздуха между ступенями на 15...200С выше номинального и, как следствие, к непроизводительным затратам энергии.

Улучшению работы системы промежуточного охлаждения воздуха способствует использование замкнутых систем водоснабжения холодильников с так называемыми «сухими» градирнями. Это лишь некоторые из возможных направлений энергосбережения в СВС.

## 5.6 Энергоаудит теплотехнологической установки

Анализ энергетических затрат и выявление среди них доли непроизводительных затрат на отдельной теплотехнологической установке, как правило, требует не только наличия штатных измеряющих приборов, но и дополнительных измерений, определяемых спецификой установки.

Рассмотрим методологию углубленного энергоаудита теплотехнологической установки на примере непрерывнодействующей ленточной конвективной установки, предназначенной для сушки волокнистых (дисперсных) материалов.

Ленточная сушилка состоит из  $n$  однотипных секций, включающих газопроницаемый конвейер, нагнетатель с электроприводом, паровой калорифер. При работе в каждой секции наблюдается неравномерное поле скоростей воздуха, приводящее к неравномерному по ширине конвейера высыханию материала. Для выравнивания влагосодержания материала осуществляют его кондиционирование в дополнительном аппарате за счет впрыска воды  $\Delta W$ .

Принципиальная схема установки представлена на рис. 16

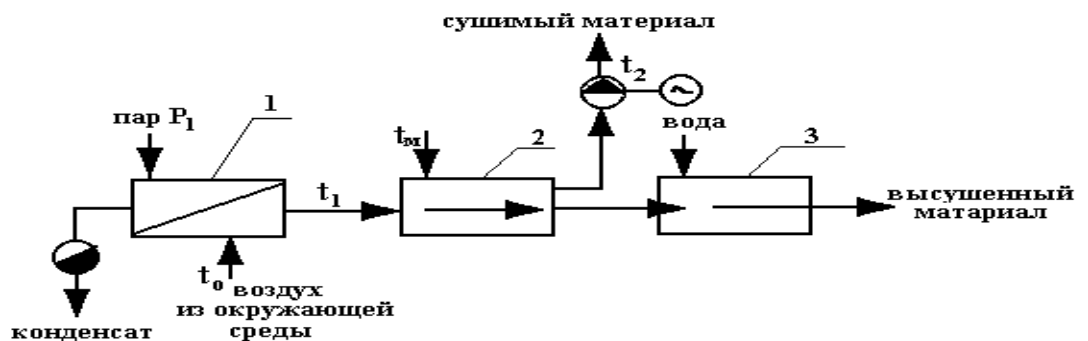


Рис. 16

1 – паровой калорифер, 2 – сушилка, 3 – установка кондиционирования материала

Инструментальный энергоаудит должен дать исходную информацию для составления материального и теплового баланса не только всей установки в целом, но и отдельных ее частей: калорифера (подогревателя), сушильной камеры, камеры кондиционирования материала.

Материальный баланс сушильной установки. Считается, что сушимый материал и нагретый воздух состоят из сухой части и влаги:

$$G_m = G_c + G_{вм}$$

$$G_a = L_{с.в.} + G_n$$

где  $G_m$  - расход материала,  $\frac{кг}{ч}$ ,  $G_a$  - расход воздуха,  $\frac{кг}{ч}$ ,  $G_c$  - расход сухой части материала,  $\frac{кг}{ч}$ ,  $G_{вм}$  - количество влаги в материале,  $\frac{кг}{ч}$ ,  $L_{с.в.}$  - расход сухой части воздуха,  $G_n$  - количество влаги в воздухе,  $\frac{кг}{ч}$ .

Расчетные соотношения, используемые при расчете статики сушки:

Влагосодержание воздуха:

$$d = 1000 \cdot \frac{C_v}{C_a} = 1000 \cdot \frac{M_v}{M_a} \cdot \frac{p_v}{B - p_v} \quad \frac{\text{г.вл.}}{\text{кг.сух.воздуха}}$$

где  $C_v, C_a$  - концентрации, соответственно, водяного пара и сухих газов в  $1 \text{ м}^3$  газа (воздуха),  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ,  
 $M_v, M_a$  - молярные массы, соответственно пара и газа,  $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ ,  $B$  - барометрическое давление,  $\text{Па}$ ,  
 $p_v$  - парциальное давление ненасыщенного пара,  $\text{Па}$ .

Влажность материала на сухую массу:

$$w_m = \frac{G_{\text{вм}}}{G_c} \cdot (100\%) = \frac{G_m - G_c}{G_c} \cdot (100\%) \quad \frac{\text{кг.вл.}}{\text{кг.сух.материала}} (\%)$$

Влажность материала на общую массу:

$$w_m^o = \frac{G_{\text{вм}}}{G_m} \cdot (100\%) = \frac{G_{\text{вм}}}{G_c + G_{\text{вм}}} \cdot (100\%) \quad \frac{\text{кг.вл.}}{\text{кг.влажного.материала}} (\%)$$

Формулы для пересчета влажности материала:

$$w_m = \frac{100 \cdot w_m^o}{100 - w_m^o}, \quad w_m^o = \frac{100 \cdot w_m}{100 + w_m} \quad \frac{\text{кг.вл.}}{\text{кг.влажного.материала}}$$

Количество испаренной влаги:

$$W = \frac{G_{m1} \cdot w_{m1}^o}{100} - \frac{G_{m2} \cdot w_{m2}^o}{100} = G_{m1} \cdot \frac{w_{m1} - w_{m2}}{100 + w_{m1}} = G_{m2} \cdot \frac{w_{m1} - w_{m2}}{100 + w_{m2}} \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Для конвективной сушильной установки материальный баланс выглядит следующим образом.

$$L_{c.в1} + G_{n1} + G_c + G_{\text{вм1}} = L_{c.в2} + G_{n2} + G_c + G_{\text{вм2}} \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Количество влаги, испаренной из материала в сушилке.

$$W = G_{\text{вм1}} - G_{\text{вм2}} = G_{n2} - G_{n1} = L_{c.в.} \cdot \frac{d_2 - d_1}{1000} \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Таким образом, для оценки материального баланса необходимы измерения влагосодержания материала на входе и выходе из установки и расход материала на входе или выходе.

Для проверки измеренного материального баланса необходимы измерения влагосодержания воздуха на входе  $d_0$  и выходе  $d_2$  из сушильной камеры и расхода сушильного агента через сушилку. Поскольку испаренная влага изменяет расход сушильного агента, то расчеты материального и теплового балансов ведут с использованием расхода абсолютно сухого воздуха  $L$ .

$$L = \frac{G_{B1}}{1 + d_0 \times 10^{-3}} = \frac{G_{B2}}{1 + d_2 \times 10^{-3}}$$

$$W = L \frac{d_2 - d_0}{1000}$$

Для экспериментального определения влагосодержания сушильного агента  $d_0, d_2$  используют показания двух термометров («сухого»  $t_2^c$  и «мокрого»  $t_2^M$  на входе и выходе сушильной установки. По этим показаниям на H-d диаграмме находят  $d_0, d_2$  (рис. 17).

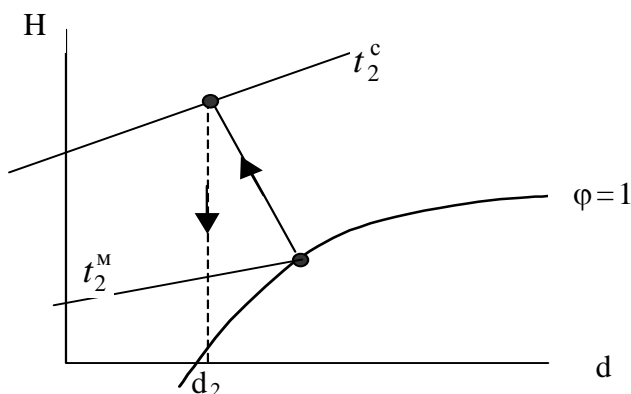


Рис. 17

Тепловой баланс калорифера составляют как по пару, так и по воздуху.

В первом случае

$$Q_{n.в.} = D \times h_{\Pi} - k \times h_k - \Pi \times h_{\Pi}'$$

где  $D, k, \Pi$  – общий расход пара, конденсата и пролетного пара,  $h_{\Pi}, h_k, h_{\Pi}'$  – соответственно энтальпии пара, конденсата и пролетного пара.

Очевидно  $k + \Pi = D$ .

Значения энтальпий берут из таблиц водяного пара, однако, для этого необходимы измерения давления и температуры:

$$h_{\Pi} = f(P_1, t_{\Pi}); \quad h_k = f(t_k); \quad h_{\Pi}' = f(P, t).$$

Тепловой баланс по сушильному агенту:

$$Q_e = G_{e1} (c_1 t_1 - c_0 t_0)$$

где  $c_1, c_0$  – удельные теплоемкости воздуха при  $t_1, d_0$  и  $t_0, d_0$ .

Предпочтительно тепловой баланс по воздуху записывать:

$$Q_e = L(H_1 - H_0)$$

где  $H_1, H_0$  – энтальпии влажного воздуха на выходе и входе калорифера, отнесенные к одному кг сухого воздуха.

$$H = c_B t + d \times 10^{-3} (r_0 + c_{\Pi} t)$$

где  $c_B, c_{\Pi}$  – удельные теплоемкости абсолютного сухого воздуха и водяного пара,  $r_0$  – скрытая теплота парообразования при 00С.

Измерения  $t_c, t_m$  на входе и выходе калорифера (рис. 18) позволяет установить герметичность калорифера (отсутствие перетечки пара в воздушное пространство) с помощью H-d диаграммы:  $d_0 = d_1$  при  $d_1 > d_0$  калорифер негерметичен.

Тепловой баланс сушильной установки [5,6]:

В общем виде тепловой баланс сушильной установки выглядит следующим образом:

$$Q_{н.в.} + Q_{\partial} + L_0 \cdot H_0 + G_{м2} \cdot c_{м1} \cdot t_{м1} + W \cdot c_{вл} \cdot t_{м1} + G_{мп1} \cdot c_{мп1} \cdot t_{мп1} = L_2 \cdot H_2 + G_{м2} \cdot c_{м2} \cdot t_{м2} + G_{мп2} \cdot c_{мп2} \cdot t_{мп2} + Q_5$$

где индексы «0», «1», «2» - соответственно параметры перед подогревателем, после подогревателя перед сушильной камерой, на выходе из сушилки.

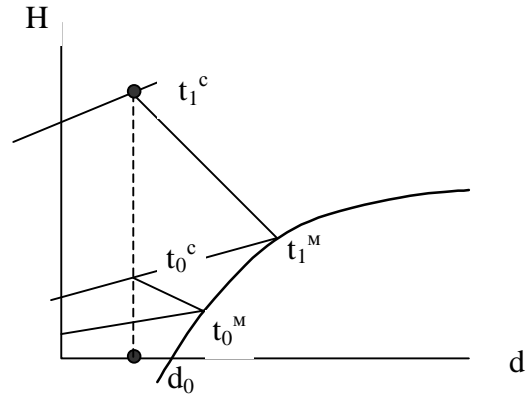


Рис. 18

Составные части теплового баланса:

Приходная часть	
$Q_{н.в.} = (H_1 - H_0) \cdot L_0$	теплота, переданная воздуху в подогревателе, <i>Вт</i> .
$Q_0$	теплота, дополнительно подведенная к воздуху в сушилке,
$L_0 \cdot H_0$	теплота, вносимая воздухом, <i>Вт</i> .
$G_{м1} \cdot c_{м1} \cdot t_{м1} = G_{м2} \cdot c_{м1} \cdot t_{м1} + W \cdot c_{вл}$	теплота, вносимая влажным материалом, состоящая из суриала и влаги, <i>Вт</i> .
$G_{мп1} \cdot c_{мп1} \cdot t_{мп1}$	теплота, вносимая транспортными устройствами, <i>Вт</i> .
Расходная часть	
$L_2 \cdot H_2$	потери теплоты с уходящим воздухом, <i>Вт</i> .
$G_{м2} \cdot c_{м2} \cdot t_{м2}$	потери теплоты с уходящим материалом, <i>Вт</i> .
$G_{мп2} \cdot c_{мп2} \cdot t_{мп2}$	потери теплоты с транспортными устройствами, <i>Вт</i> .
$Q_5$	потери теплоты в окружающую среду, <i>Вт</i> .

Принимается, что

$$L_0 = L_2 = L; \quad c_1 = c_2 = c_c \quad c_{1мп} = c_{2мп} = c_{мп}$$

Если отнести все составляющие теплового баланса к количеству испаренной влаги  $W$ , то выражение (11) можно записать в следующем виде:

$$l \cdot (H_1 - H_0) = l \cdot (H_2 - H_0) + q_m + q_{мп} + q_5 - c_{вл} \cdot t_{м1} - q_0$$

Важными характеристиками сушильной установки являются удельный расход сушильного агента и удельный расход тепла на единицу массы испаренной влаги, соответственно:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{z_2 - z_1} \quad \frac{\text{кг.возд.}}{\text{кг.исп.влаги}}$$

$$q = \frac{Q_{н.в.}}{W} = \frac{L \cdot (H_1 - H_0)}{W} = l \cdot (H_1 - H_0) \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг.исп.влаги}}$$

Таким образом для опытной проверки материального и теплового баланса сушильной установки необходима инструментальная диагностика (рис. 19, табл. 5)

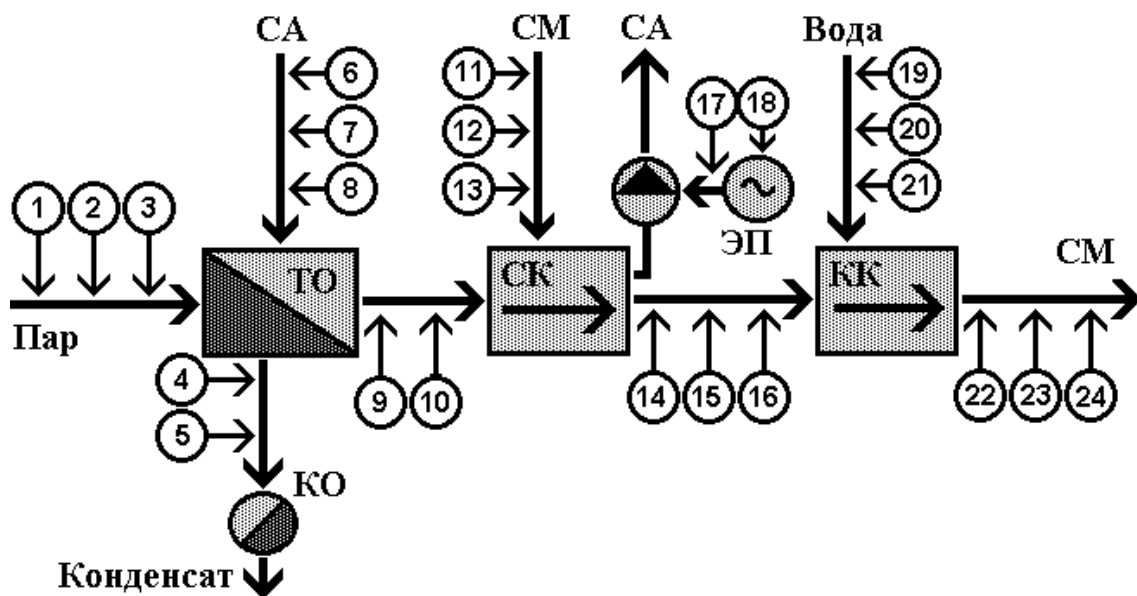


Рис. 19

ТО – калорифер, СК – сушильная камера, КК – камера кондиционирования, КО – конденсатоотводчик, ЭП – электропривод, СА – сушильный агент, СМ – сушимый материал

Таблица 5

№ №	Измеряемые величины и диапазоны измерения	Выбираемые измерительные приборы (типы)
1	Температура (+100 °С ...+300 °С)	Контактный термометр КМ44
2	Давление ( )	
3	Расход пара ( )	Вихревой расходомер
4	Температура (+100 °С ... +120 °С)	Контактный термометр КМ44
5	Давление ( )	Манометр
6	Температура (0 °С ... +30 °С)	Контактный термометр КМ44
7	Относительная влажность (30%...60%)	Измеритель влажности
8	Расход (скорость) воздуха (1 м3/с...10 м3/с)	Анемометр
9	Температура (+80 °С ... +150 °С)	Контактный термометр КМ44
10	Относительная влажность	Измеритель влажности
11	Температура	Контактный термометр
12	Относительная влажность	Измеритель влажности
13	Расход вещества (масса)	Измеритель расхода
14	Температура	Контактный термометр
15	Относительная влажность	Измеритель влажности
16	Расход вещества (масса)	Измеритель расхода
17	Скорость оборотов	Тахометр
18	Параметры электропривода	Регистратор / анализатор
19	Температура	Контактный термометр
20	Расход воды	Ультразвуковой расходомер
21	Давление	Манометр

Проведенная инструментальная диагностика позволяет не только предложить энергосберегающие мероприятия, но и достаточно точно определить энергетический потенциал от их реализации.

Подробно возможные энергосберегающие мероприятия и их классификация изложены в [6].



В качестве примеров рассмотрим некоторые из возможных мероприятий.

Рациональное снижение давления греющего пара. Давление и температура греющего пара, подаваемого в калорифер, как правило, выше требуемых по технологии. Использование для рационального снижения давления пара для отдельной технологической установки противоавлажнческих турбин типа Р не оправдано экономически. Появившиеся также противоавлажнческие паровые роторно-объемные машины (ПРОМ) обладают рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с турбинами Р, в настоящее время конструктивно недоработаны.

Использование для снижения давления РОУ и тем более РУ менее эффективно, чем применение пароструйных эжекторов.

Достижимая при этом экономия энергии определяется снижением на 10...20% расхода основного греющего пара восполняемого вторичным паром вскипания, снижением температуры возвращаемого конденсата (при повышении температуры конденсата и отсутствии баков сбора конденсата требуется дополнительное его захлаживание).

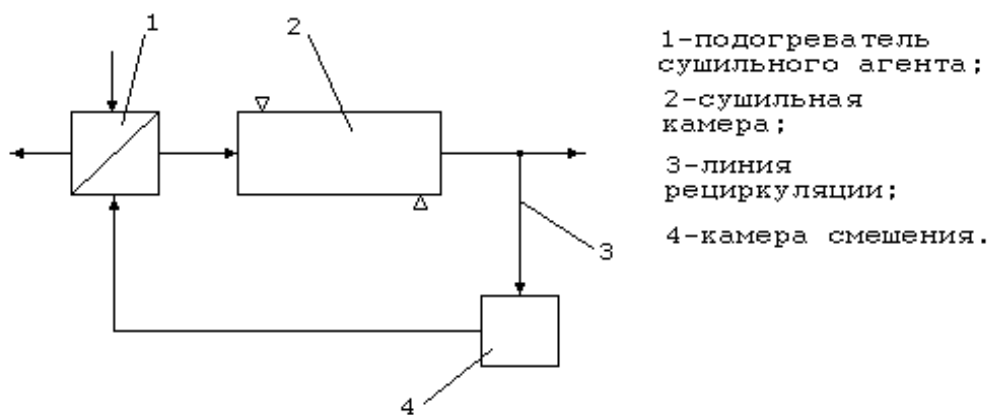
Рециркуляция сушильного агента. Наиболее очевидное энергосберегающее мероприятие в конвективных сушильных установках связано с возвратом части уходящего сушильного агента в контур его циркуляции (рециркуляция сушильного агента).

Возможные схемы приведены на рис. 20 а и б.

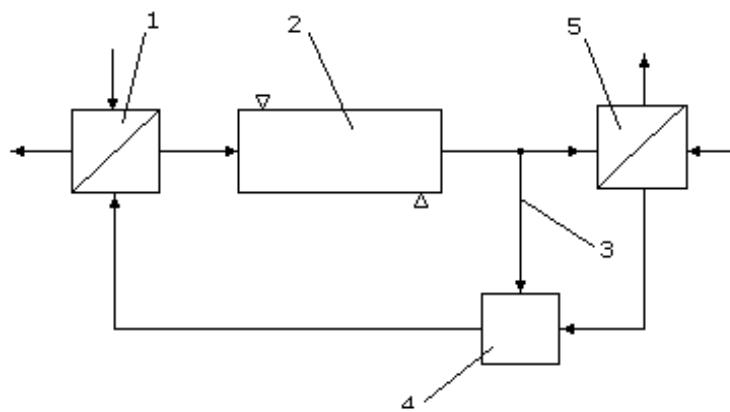
Существующее явление инверсии, интенсивности испарения при конвективной сушке, связанное с тем, что при температурах сушильного воздуха выше 180...2000С интенсивность испарения в воздух с повышенным влагосодержанием выше, чем в сухой, приводит к неоднозначным решениям по энергосбережению: при  $t > 180...2200\text{C}$  выгодна схема рис. 20 а, при  $t < 1800\text{C}$  выгодна схема рис.20 б с установкой дополнительного утилизационного рекуператора.

Управление неравномерностью сушки. К числу наиболее значимых энергосберегающих мероприятий относится, как правило, устранение неравномерности распределения параметров сушильного агента по поперечному сечению сушильной камеры [6].

Для оценки потенциала энергосбережения от такого мероприятия необходимы специфические дополнительные инструментальные измерения эпюр температур и скорости сушильного агента.



а



- 1-подогреватель сушильного агента;
- 2-сушильная камера;
- 3-линия рециркуляции;
- 4-камера смешения;
- 5-рекуператор.

6  
Рис.20

## **РАЗДЕЛ 6. Методы энергосбережения при производстве и распределении тепловой и электрической энергии.**

---

### **6.1. Энергосбережение в системах транспортировки тепловой энергии.**

Энергосбережение при транспортировке тепловой энергии (холода) жидкими и газообразными теплоносителями в различных отраслях промышленности могут базироваться как на общих закономерностях производства и эксплуатации технического оборудования, так и на особенностях характерных только для данной отрасли промышленности, области рабочих температур, месте расположения трубопровода, передаваемой мощности и т.д.

К общим закономерностям энергосбережения относятся:

1. Энергосбережение и экономичность при создании систем транспортировки, ремонтпригодность конструкции, позволяющая быстро обнаружить и устранить неполадки и отказы в надежной работе.
2. Эффективная теплоизоляция канала, надежно и долговечно работающая при условиях эксплуатации.
3. Мало гидравлическое сопротивление канала, по которому проходит транспортировка теплоносителя, что обеспечивает малую мощность, затрачиваемую на прокачку теплоносителя.
4. Герметичность систем транспортировки, что обеспечивает энергосбережение на воспроизводство теплоносителя.

Ниже будут рассмотрены вопросы энергосбережения при транспортировке тепла и холода как газообразными, так и жидкими теплоносителями.

#### **1) Методы энергосбережения при подземной и воздушной прокладке теплопроводов (хладонов)**

С точки зрения топливно энергетического баланса страны тепловое потребление – одно из основных статей. Поэтому эффективная эксплуатация теплопроводов позволяет осуществить энергосбережение при транспортировке тепла, которое в настоящее время составляет около 8% | 1 | от передаваемой энергии. Транспортировка тепловой энергии имеет место практически в каждой отрасли промышленности, но наиболее широко она представлена в системах теплофикации. Так, например, в системе «Мосэнерго» на 01.01.98 г. длина тепловых сетей в двухтрубном начислении составляет 2314 км, в том числе водяных сетей 2279 км. | 2 |.

Теплопроводы могут располагаться под землей или проложены по воздуху. Под землей они могут располагаться в проходных, полупроходных, непроходных каналах и непосредственно в грунте. Самые дорогие и сложные это теплопроводы в проходных каналах. Проще и дешевле осуществляется прокладка в грунте. В проходных каналах (высота которых  $\approx 2.5$  м) обслуживающий персонал может производить ремонт и сварочные работы, в полупроходных частично, а в непроходных находится трубопровод. Однако в некоторых случаях прокладка в грунте практически невозможна. Так в городах ремонт теплотрасс из-за выемки грунта затруднен. Поэтому в городах, как правило, применяется прокладка тепловых сетей в проходных каналах, в которых располагаются также силовые электрические кабели, кабели связи и водопровод. Это обеспечивает комплексное решение вопроса энерго- и водоснабжения, и, в конечном счете, ведет к энергосбережению.

Одной из существенных недостатков подземной прокладки тепловых сетей является разрушение теплоизоляции под действием влаги грунтовых вод и влажного воздуха в каналах, что приводит к большим тепловым потерям. Поэтому часто, где это возможно, применяют воздушную прокладку теплопроводов с металлической защитой от дождей, часто это цинкованное железо. Она проще в изготовлении и ремонте, и, следовательно, в этом плане обеспечивает энергосбережение. Однако она применяется только на окраинах городов или на территориях промышленных предприятий. Вопрос о выборе типа теплопровода (воздушный или подземный) решается с учетом местных условий и технико - экономического обоснования.

Энергосбережение при транспортировке тепловой энергии в первую очередь зависит от качества тепловой изоляции. Она должна иметь не только низкую теплопроводность, воздухо- и водопроницаемость, а так же низкую электропроводность, что уменьшает электрохимическую коррозию материала трубы, воз-

духо- и водопроницаемость, т.е. увеличение влажности изоляции может не только ухудшить теплопроводность изоляции более чем в 3 раза, но и способствует разрушению труб. В результате срок службы сократится до 4-5 лет вместо 30. [3\*]. поэтому сами трубы имеют антикоррозионное покрытие, например, в виде силикатных эмалей, изола и др. иногда сверху тепловой изоляции укладывают асбоцементные футляры с металлическими сетками, покрытые асбоцементной штукатуркой. Такие футляры препятствуют поступлению влаги из воздуха и грунта. Эта относительно сложная конструкция хотя и требует дополнительных энергозатрат на изготовление, но зато более долговечны и за счет этого более выгодны.

В последние годы начали широко внедряться теплопроводы типа «труба в трубе» с пенополиуретановой изоляцией в гидрозашитной оболочке [3]. такая конструкция предусматривает применение не только предварительно изолированных пенополиуретаном и заключенных в полиэтилен труб, но и всех компонентов системы (шаровой арматуры, термических компенсаторов и т.д.). Такая конструкция может укладываться в землю безканально и обеспечивает существенное энергосбережение за счет предварительного изготовления отдельных изолированных элементов в заводских условиях и практически полной ее термичности и влагонепроницаемости.

При транспортировке низкотемпературных теплоносителей (область температур холодной и криогенной техники) вопросы качества тепловой изоляции встают более остро, чем при высоких температурах. Это связано с тем, что выработка 1 кВт холода при низкой температуре (например  $t = -100^\circ\text{C}$ ) гораздо больше энергии, чем выработка 1 кВт при высокой температуре (например  $t = 100^\circ\text{C}$ ). Теплоизолирующие материалы для области низких температур должны удовлетворять основным требованиям теплоизоляционным материалам, которые работают при высоких температурах как, например, низким значениям  $\lambda$ , незначительной гигроскопичностью, огнестойкостью, однако необходимо чтобы при низких температурах теплоизоляции обладала морозостойкостью и эластичностью. В области криогенных температур широкое применение находят порошковые материалы (например на основе диоксида кремния) и различные виды вакуумной изоляции. Следует отметить, тепло в пористой изоляции передается от частички к частичке как кондуктивным путем, так и за счет лучистого теплообмена. Поэтому создавая в порошковой изоляции вакуум, уменьшают теплопроводность находящегося в пористом слое воздуха. При остаточном давлении

1,33 Па (1·10<sup>-2</sup> мм.рт.ст.) теплопроводность воздуха в десять раз меньше, чем у воздуха в нормальных условиях, т.е. 0,0023 Вт/(м·К). Вторым видом вакуумной изоляции является изоляция, состоящая из двух герметичных труб (труба в трубе), между которыми создается вакуум. Та же теплопроводность (0,0023 Вт/(м·К)) достигается при остаточном давлении 1,33·10<sup>-3</sup> Па. Третий тип вакуумной изоляции называется экранно-вакуумной теплоизоляцией: она состоит из чередующихся слоев, например, стекловолна и алюминиевой фольги. На 1 см. толщины изоляции приходится от 20 до 30 слоев. В такой изоляции фольга выполняет роль экранов и существенно уменьшает лучистую составляющую в теплопроводности, а за счет вакуума существенно уменьшает теплопроводность воздуха в порах. Поэтому в области криогенных температур данная теплоизоляция считается наиболее эффективной и находит широкое применение на практике.

В холодильной технике довольно часто применяется схема хладоснабжения с промежуточным хладоносителем. (см. рис 1.) данную схему применяют, как правило, тогда, когда источник потребления холода располагается на удаленном расстоянии от холодильной станции (расстояние может быть до 1 км.). Схему с промежуточным теплоносителем часто используют в системах кондиционирования воздуха, когда в испарителе холодильной машины охлаждается жидкий теплоноситель циркулирующий в промежуточном контуре и охлаждающий воздушные калориферы находящихся в комнатах помещения. В данном случае для циркуляции в промежуточном контуре жидкого теплоносителя необходимо дополнительное оборудование (насос, теплообменники и др.) по сравнению со схемой охлаждения воздуха кондиционирования непосредственно в испарителе холодильной машины и подачей этого воздуха в комнаты помещения. Однако транспортировать тепло жидким теплоносителем выгоднее, чем воздушно-, так как жидкость имеет большую теплоемкость и плотность, чем воздух, и мощность затрачивается на прокачку жидкого теплоносителя меньше, чем для газообразного при одинаковых передаваемых количествах тепла. Схемы с промежуточным теплоносителем довольно широко применяются в различных отраслях промышленности, как в области низких, так и высоких температур.

## 2) Энергосбережение за счет уменьшения мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителя.

При движении жидкого и газообразного теплоносителя по трубопроводам мощность, затрачиваемая на его прокачку равна:

$$N = \frac{G \cdot \Delta P}{\rho \cdot \eta_H}, \quad (1)$$

где G - расход теплоносителя, кг/с; ΔP - гидравлическое сопротивление трубопровода, Па; ρ - плотность, кг/м<sup>3</sup>; η<sub>н</sub> - КПД нагнетательного устройства.

Тепло, передаваемое по теплопроводу, равно:

$$Q = G \cdot C_p \cdot \Delta t,$$

где C<sub>p</sub> - теплоемкость теплоносителя, КДж/(кг·К), Δt- перепад температур на входе и выходе теплоносителя у потребителя, °С; N = (G·ΔP)/(C<sub>p</sub>·Δt · ρ·η<sub>н</sub>)

Отсюда следует, что при одинаковых передаваемых тепловых нагрузках Q перепадах температур Δt мощность, затрачиваемая на прокачку теплоносителя, будет тем меньше, чем выше теплоемкость и плотность теплоносителя при прочих равных условиях. Поэтому жидкие теплоносители имеют, в этом плане, преимущество по сравнению с газообразными, о чем уже говорилось выше.

Общее гидравлическое сопротивление ΔP складывается из потерь на трение ΔP<sub>т</sub>, на местные сопротивления ΔP<sub>м</sub> и учитывает изменение гидростатического сопротивления системы (для газовых теплоносителей ими можно пренебречь). Следовательно без учета последней составляющей можно записать:

$$\Delta P = \Delta P_t + \Delta P_m$$

Потери давления на трение

$$\Delta P = \xi \cdot ((\rho \cdot W^2)/2) \cdot (l/d) \quad (2)$$

Где ξ – коэффициент трения;

W – скорость, м/с;

D – диаметр, м;

l – единица длинны, м;

потери давления из-за местных сопротивлений:

$$\Delta P_m = \sum \lambda_m \cdot ((\rho \cdot W^2)/2) \quad (3)$$

Где λ<sub>m</sub> – коэффициент местного сопротивления;

Для уменьшения местных сопротивлений в последние годы применяют вместо задвижек шаровую запорную арматуру, которые хотя и дороже ранее применяющихся, но имеют гидравлическое сопротивление на порядок ниже ранее применяемых. [2]

Как видно из уравнений (2) и (3) потери давления, а, следовательно, и мощность затрачиваемая на прокачку теплоносителя N зависит прежде всего от скорости, и следовательно от диаметра. Следует отметить, что увеличение диаметра хотя и уменьшает N но зато увеличивается металлоемкость конструкции и энергозатраты на производство и монтаж трубопровода и т.д. поэтому увеличивая диаметр и уменьшая мощность затрачиваемую на прокачку теплоносителя вместо ожидаемой экономии энергозатрат можно получить их увеличение. Обычно скорости движения теплоносителей при их транспортировке по трубам в различных отраслях техники зависят от условий работы и рабочих параметров

[4],[5]. Ниже в таблице 1.1. даны справочные значения скоростей, наиболее часто встречающиеся на практике.

Таблица 1.1.

Справочные значения скоростей.

Наименование	Скорость W, м/с
Газ при P=20 Мпа	0,8÷0,3
Газ при P=2,0-3,0 Мпа	3÷8
Газ при P=0,1 Мпа	5÷25
жидкость в напорных линиях	0,8÷3
перегретый пар в паропроводах (dn<200 мм, P=0,7÷1,4 Мпа)	30÷50
перегретый пар в паропроводах	20÷70

(dn >200 мм, P=<5 Мпа)	
в мазуто- и маслопроводах на напоре	0,8÷1,2
на сливе	0,2÷0,3

Следует отметить, что в отдельных случаях, когда особенно остро стоят вопросы энергосбережения мощности затрачиваемой на прокачку теплоносителя, скорости теплоносителей могут существенно отличаться от вышеуказанных и выбираться из технико-экономических показателей всего изделия. Так на космические летательные аппараты, где электрическую мощность вырабатывают солнечные батареи скорости жидких теплоносителей в системах жизнеобеспечения могут более чем на порядок быть меньше, чем указано в таблице 1.1. За счет этого существенно уменьшается гидравлическое сопротивление и затрачиваемая на прокачку мощность.

### 3) Выбор толщины теплоизоляционного слоя.

Толщина изоляции определяется техническими и технико-экономическими соображениями. Технические соображения связаны с тем, что заданная по техническому заданию температура должна иметь строго определенное значение в определенных точках теплопровода (холодопровода) и должны быть строго выдержаны теплотерь (теплопритоков), при этом могут быть ограничения, когда температура поверхности изоляции не должна превышать строго определенное значение (например 40°C в рабочих помещениях) или не должна быть ниже температуры точки росы  $t_P$  при транспортировке по трубопроводу холодоносителя. Последнее требование связано с тем, что при температуре  $t_P$  на поверхности теплоизоляции конденсируется влага, которая может впитываться в пористую изоляцию, что приводит к ухудшению ее качества. На основании всех технических требований определяется минимальная толщина теплоизоляции. Вопросы целесообразности разности увеличения ее толщины решается технико-экономическим расчетом.

Рассмотрим перенос тепла через боковую стенку трубы, когда теплообмен между поверхностью изоляции и окружающей средой осуществляется конвективным путем. Выражение для теплового потока имеет вид:

$$q = \Delta t / R$$

здесь  $\Delta t$  – перепад температур между температурой теплоносителя в трубе и окружающей средой, °C;

R – общее термическое сопротивление, (м<sup>2</sup>·K/Вт);

Сопротивление R учитывает термическое сопротивление непосредственно изоляции  $R_k$  ( $R = R_{и} + R_k$ ). Пренебрегая термическим сопротивлением выражение для R запишем в виде:

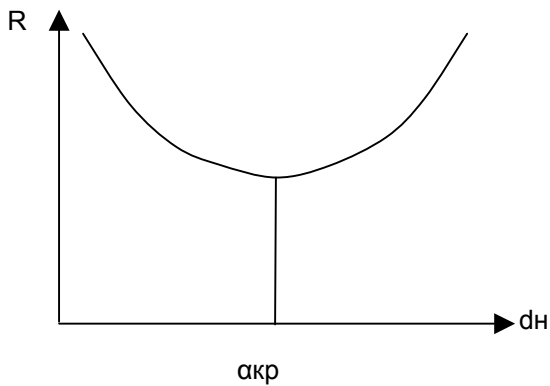
$$R = (d_t / 2\lambda) \cdot \ln(d_n / d_t) + (d_t / \alpha d_n)$$

Здесь  $\alpha$  – коэффициент теплообмена между окружающей средой и поверхностью изоляции, Вт / (м<sup>2</sup>·K);

$d_t$  – наружный диаметр трубопровода, м;

$d_n$  – диаметр теплоизоляции, м;

При рассмотрении вопросов энергосбережения конкретной трубы, когда известны и фиксированы  $\lambda$ ,  $d_t$ ,  $\alpha$  и  $\Delta t$  встает вопрос о выборе наиболее рациональной толщины теплоизоляции. Для этого строится зависимость термического сопротивления R от толщины изоляции (диаметр изоляции, вид которой представлен на рис.2.



Следует отметить, что при естественной конвекции  $\alpha$  зависит от температуры поверхности изоляции, которая меняется с изменением  $d_n$ , однако она меняется незначительно и при инженерных расчетах может быть вычислена по температуре теплоносителя. для более точных расчетов проводится итерация.

При малых значениях  $d_n$  ( $d_n < d_{кр}$ ) термическое сопротивление изоляционного слоя не велико, а термическое сопротивление поверхности значительно. При  $d_n > d_{кр}$  наоборот, лимитирующей составляющей является  $R_{из}$ , а  $R_k$  мало. Из рис. 2. видно, что при  $d_n < d_{кр}$  увеличение толщины теплоизоляции дает отрицательный эффект, т.е. термическое сопротивление  $R$  уменьшается и тепловые потери увеличиваются. В большинстве прикладных задач  $d_n > d_{кр}$ , т.к. при малых  $d_n$  температура поверхности обычно высока и не удовлетворяет условиям технического задания.

Значение  $d_{кр}$  определяется по уравнению  $\delta R / d_{кр} = 0$  и имеет вид  $d_{кр} = (2 \lambda) / \alpha$ .

Как уже упоминалось выше по техническому заданию могут иметь ограничения по температуре поверхности изоляции  $t_i$ . Эта температура может быть определена из уравнения теплового баланса. При стационарной работе теплопровода тепло передаваемое от горячего теплоносителя с температурой  $t_g$  к поверхности изоляции с температурой  $t_i$  равно теплу, которое передается от поверхности изоляции в окружающую среду с температурой  $t_0$ . Для однослойной теплоизоляции, пренебрегая термическим сопротивлением стенки трубы получаем:

$$((t_r - t_i) / ((d_t / 2\lambda) \cdot \ln(d_n / d_t))) = ((t_i - t_0) \cdot \alpha \cdot d_i) / d_t$$

По данному уравнению можно найти минимально допустимый диаметр теплоизоляции, при котором, например, температура поверхности изоляции  $t_i$  не превышает заданную по техническому заданию.

Как уже упоминалось выше, при транспортировке холодоносителя температура поверхности изоляции не должна быть ниже температуры точки росы  $t_p$ . рассуждая аналогично предыдущему в этом случае можно получить:

$$((t_p - t_x) / ((d_t / 2\lambda) \cdot \ln(d_n / d_t))) = ((t_0 - t_p) \cdot \alpha \cdot c) / d_t$$

где  $t_x$  – температура холодного теплоносителя.

Зная значение  $t_p$  по данному уравнению можно найти минимальный диаметр теплоизоляции  $d_{мин}$  при котором начинается выпадение влаги из воздуха окружающей среды на поверхности изоляции. Для надежности работы холодопровода необходимо, чтобы диаметр  $d_i$  был более  $d_{мин}$ .

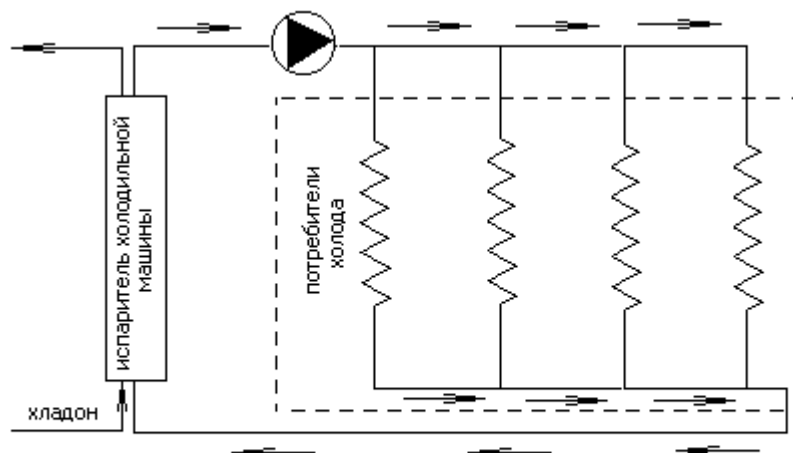


Рис.1. Схема подключения промежуточного контура к испарителю холодильной машины

### 7.1. Эффективность использования энергии в отраслях теплоэнергетического комплекса и типовые энергосберегающие мероприятия

#### 7.1. Энергосбережение в теплотехнологиях.

- 7.1.1. Рациональное энергоиспользование в низкотемпературных технологиях.
- 7.1.2. Тепловая экономичность сушильных установок и приемы ее повышения.
- 7.1.3. Использование теплообменных аппаратов для утилизации тепла ВЭР.
- 7.1.4. Тепловые насосы
- 7.1.5. Способы утилизации теплоты в системах вентиляции и кондиционирования воздуха

#### 7.1.1. Рациональное энергоиспользование в низкотемпературных технологиях.

##### Способы энеросбережения в выпарных аппаратах поверхностного типа

Выпарные аппараты получили широкое применение для концентрирования растворов солей и нелетучих жидкостей в химической, пищевой промышленности, промышленности минеральных удобрений. Удаление влаги из растворов в аппаратах большой производительности требует очень значительных энергетических затрат, связанных с подогревом и испарением больших масс жидкости.

На современных крупных предприятиях выпаривание ведут в многокорпусных (многоступенчатых) установках непрерывного действия. При этом происходит использование образующегося над раствором так называемого вторичного пара каждого корпуса в последующих корпусах с более низким давлением в качестве греющего или с передачей части вторичного пара (экстра-пара) другим тепловым потребителям. Раствор в таких установках перетекает из корпуса в корпус, выпариваясь при этом частично в каждом корпусе до определенной концентрации.

Экономия энергии в выпарных установках может достигаться следующими основными способами:

использованием теплоты вторичного пара в многоступенчатых выпарных установках;  
применением сжатия паров при помощи струйного эжектора или механического компрессора,  
подогревом раствора, направляемого на выпарку вторичным паром или конденсатом.

Кроме того, возможно использование теплоты вторичных энергетических ресурсов, получаемых при выпаривании (вторичный пар, конденсат) в теплоснабжении или других технологических установках (внешнее использование теплоты). Теоретически возможно также использование теплоты концентрированного раствора, однако это не всегда можно осуществить на практике.

В технологических схемах для концентрирования растворов существенную экономию пара дает применение многокорпусных выпарных установок. При этом образующийся вторичный пар из первого корпуса направляется в качестве греющего во второй, из второго - в третий и т.д. В результате расход греющего пара на установку от внешнего источника снижается и может быть рассчитан по формуле

$$D = \frac{W}{n\varphi}, \quad (9)$$

где  $W$  – количество растворителя, удаленного из раствора;  $n$  – количество корпусов выпарных аппаратов, включенных последовательно по пару;  $\varphi$  – поправочный коэффициент для учета увеличения тепловых потерь при увеличении числа корпусов. Для трех-четырёхкорпусных установок  $\varphi = 0,9$ , для пятишестикорпусных установок  $\varphi = 0,85$ .

Такое техническое решение не удастся реализовать в малотоннажных производствах по технико-экономическим соображениям. У аппаратов малой производительности существенно выше удельный расход металла на их изготовление. Поэтому снижение затрат на греющий пар при увеличении числа корпусов будет сопровождать более заметным ростом стоимости самой установки. Регенеративный подогрев исходного раствора конденсатом греющего пара позволяет снизить расход последнего не более чем на 5-10 %, поэтому основным решением для однокорпусных выпарных установок является внешнее энергоиспользование, например отпуск вторичного пара в качестве теплоносителя внешним потребителям.



Для экономии греющего пара в схеме выпарной установки можно использовать паровой эжектор или механический компрессор. При этом вторичный пар сжимается с помощью пара высоких параметров или за счет подвода механической энергии до давления, которое обеспечивает необходимую температуру конденсации в 1-м корпусе. Эжектор или компрессор можно устанавливать за любым корпусом установки. Чем ниже давление всасываемого пара, тем полнее утилизация теплоты, но больше требуется энергии на сжатие. Место установки ступени сжатия должно определяться на основании технико-экономических расчетов. Имеются сведения, что установка парового эжектора в трехкорпусной выпарной установке позволяет добиться такой же экономии пара, как установка еще одного дополнительного корпуса.

Применение механического компрессора более выгодно, чем использование парового эжектора из-за низкого КПД последнего. Кроме того, в схеме с применением парового эжектора невозможна полная утилизация теплоты, так как дополнительное количество пара, полученное от парового котла, должно быть сконденсировано.

Правильный выбор типовой схемы выпарной установки позволяет существенно снизить теплотребление на процесс выпаривания. Наиболее распространенные схемы установок с поверхностными аппаратами приведены на рис 13.

В установках с нуль-корпусом (рис.13, г) кроме направляемого в него пара высоких параметров, в первый корпус можно подавать пар более низкого давления. Этот пар может поступать не от ТЭЦ или котельной, а от котлов-утилизаторов, использующих теплоту вторичных ресурсов, которые могут получаться на данном предприятии. В результате решается задача замещения части первичного топлива вторичными энергоресурсами (ВЭР).

Применение противоточных схем (рис.13 ж) способствует замедлению процесса отложения солей на поверхностях нагрева и, как следствие, уменьшению тепловых потерь через наружные поверхности аппаратов. Но для перемещения раствора из корпуса в корпус, в отличие от прямоточных установок, необходимо использовать насосы. Более того, в этих установках практически исключена возможность регенеративного подогрева раствора, поэтому снижение тепловых потерь сопровождается увеличением расхода электроэнергии на установку. Окончательный вывод о целесообразности такого решения можно сделать только на основе технико-экономического сравнения вариантов.

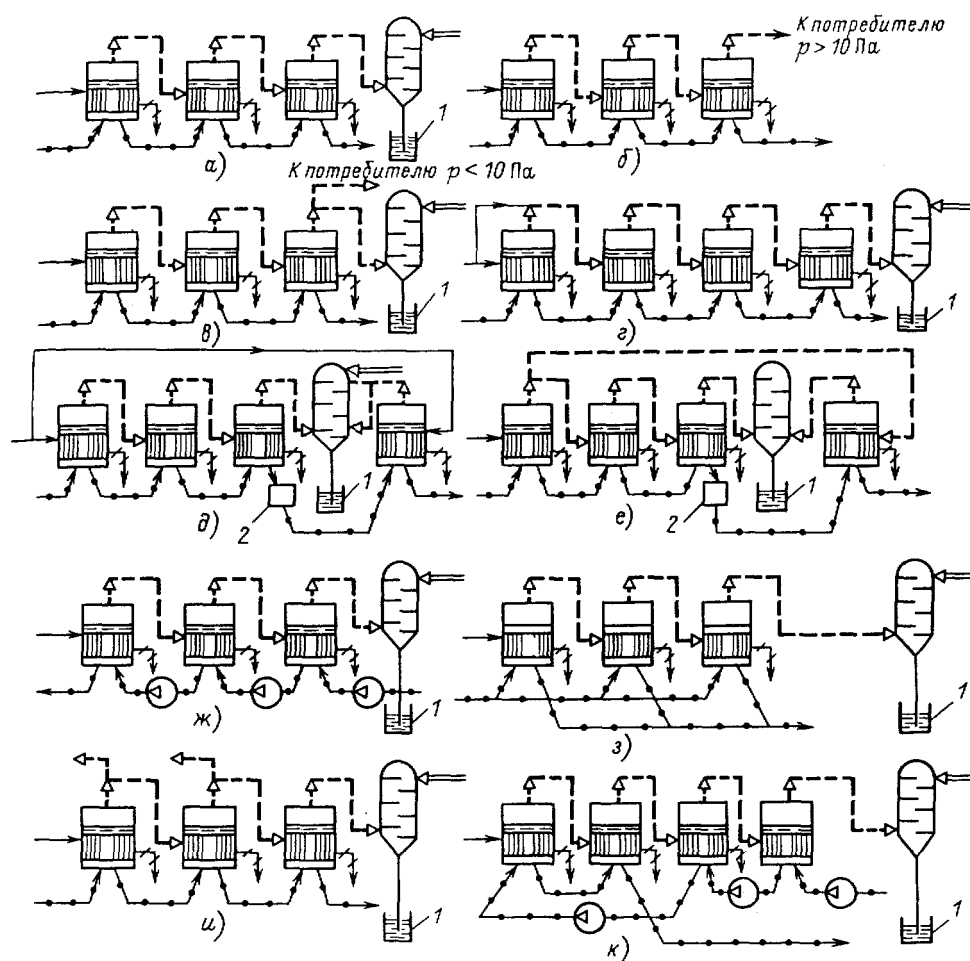
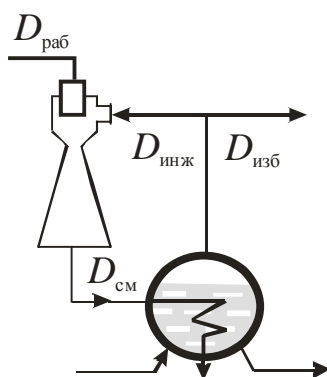


Рис.13. Схемы выпарных установок.

а – прямоточная с конденсатором; б – прямоточная с противодавлением; в – с ухудшенным вакуумом; г – с нуль-корпусом; д – двухстадийная, с обогревом корпуса второй стадии острым паром; е – двухстадийная с обогревом корпуса второй стадии вторичным паром первой ступени; ж – противоточная; з – с параллельным током; и – с отбором экстра-пара; к – со смешанным током.

Установки с отбором экстра-пара (рис.13) относятся к классу энерготехнологических поскольку кроме решения чисто технологической задачи – повышения концентрации раствора они служат одновременно и источником теплоты (экстра-пар) для внешних потребителей.

Для предварительного подогрева раствора, поступающего на выпаривание, которое осуществляют практически до температуры кипения обычно используют теплоту конденсата греющего пара из первого корпуса и конденсата вторичного пара из последующих корпусов. Тем самым обеспечивается регенеративное (внутреннее) использование теплоты в схеме, что ведет к снижению расхода греющего пара от ТЭЦ или котельной на установку. Такое решение позволяет снизить расход греющего пара, направляемого на однокорпусную установку на 5-15 %.



В том случае, если применяется многокорпусная установка, подогрев исходного раствора приводит к еще более значительной экономии пара. В частности, в четырехкорпусной установке для экономии греющего пара от ТЭЦ или котельной может достигать  $(5 - 15) \cdot n_{\phi} = 18 - 54 \%$ .

Применение схем с конденсатором за последней ступенью (рис.13 а, давление пара в конденсаторе 0,01 – 0,02 МПа) позволяет подавать в первый корпус пар более низкого давления, нежели в установках с противодавлением. Это расширяет возможности использования вторичных энергоресурсов для выпарной установки, в частности пара от котлов-утилизаторов. В то же самое время установки с противодавлением (рис 13 б) могут

служить источником пара из последней ступени для внешних потребителей, работающих при более низком давлении.

При анализе действующих схем выпарных установок важно принимать во внимание, что решения об использовании схем с одноступенчатыми выпарными установками принимались в период, когда доля энергоресурсов в себестоимости продукции не превышала 5% и с технико-экономической точки зрения могли быть оправданными. В настоящее время, вследствие опережающего роста тарифов на энергоресурсы в этих же производствах доля энергоресурсов в стоимости продукции достигает 30%, 40% и более. Поэтому перспективным является переход к схемам с несколькими ступенями выпаривания.

### Способы энергосбережения в выпарных аппаратах с погружными горелками

Если процесс выпаривания осуществляется в выпарных аппаратах с погружными горелками, в которых теплоноситель - продукты сгорания топлива непосредственно контактируют с выпариваемым раствором, а их температура на выходе из аппарата практически равна температуре раствора, применение многокорпусных установок с последовательным включением аппаратов по теплоносителю вообще бессмысленно. Вся теплота продуктов сгорания, затраченная на испарение, уносится из аппарата образующейся в процессе выпаривания парогазовой смесью. На предварительный подогрев раствора может быть израсходовано не более 10-15% теплоты этой смеси. Для внешнего энергоиспользования она имеет недостаточно высокий потенциал. Ее температура обычно составляет 85-95°C. В системах отопления требуется вода с расчетной температурой до 110-150°C. Конечно, этого уровня температур достаточно для систем горячего водоснабжения. Согласно действующим нормативам температура санитарной горячей воды 55°C. В моечных машинах машиностроительных, ликероводочных и других заводов – 60-80°C. Но затраты теплоты на горячее водоснабжение для санитарно-технических целей обычно не превышают 2-3 % от затрат на отопление и вентиляцию. Возможности использования горячей воды в технологии тоже ограничены. Поэтому на кафедре Теплообменных процессов и установок МЭИ была разработана схема, позволяющая вести процесс выпаривания при непосредственном контакте продуктов сгорания с упариваемым раствором так, чтобы парогазовая смесь на выходе из аппарата имела более высокую температуру. Для этого было предложено выходное сопло горелки не погружать в раствор, а располагать его выше уровня раствора на расстоянии, достаточном для поддержания не барботажного, а струйного режима течения продуктов сгорания в газожидкостном пространстве. Меняя указанное расстояние, можно устанавливать любую необходимую температуру парогазовой смеси. Расход топлива на упаривание раствора при этом выше, чем в обычных аппаратах с погружными горелками, но с учетом замещения внешних источников теплоты для горячего водоснабжения, отопления и вентиляции использование теплоты сгорания топлива оказывается более эффективным. Действительно,

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{B \cdot Q_H^p}, \quad (10)$$

где  $Q_1$ - теплота растворения;  $Q_2$ - теплота парогазовой смеси, израсходованная на получение горячей воды;  $V$ - расход топлива;  $Q_H^p$  – низшая теплота сгорания топлива.

Схема установки приведена на рис.14. Холодная вода, поступающая в водоподогреватель из обратной линии систем отопления, вентиляции или горячей водоснабжения, проходит сначала скрубберную часть, где нагревается до 85...95 °С при непосредственном контакте с парогазовой смесью и затем - рекуперативную, в которой теплообмен осуществляется через теплопередающую стенку. Температура парогазовой смеси за рекуперативной зоной поддерживается на уровне, достаточном для предупреждения конденсации пара, чтобы снизить опасность разрушения поверхности вследствие коррозии. Конденсация пара из парогазовой смеси происходит в скрубберной зоне. Температура уходящих газов на выходе из нее зависит от уровня температуры воды, поступающей в водоподогреватель, и может опускаться до 35 °С. При этом эффективность использования теплоты топлива достигает 90-95 %.

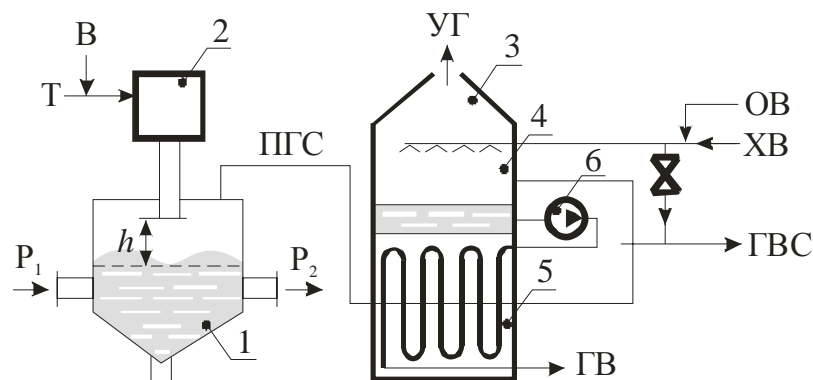


Рис.14. Схема водогрейной установки

1 – барботажно-струйный испаритель; 2 – горелка или топочное устройство; 3 – контактно-поверхностный водоподогреватель; 4 – скрубберная зона водоподогревателя; 5 – рекуперативная зона водоподогревателя; 6 – насос; Т – топливо; В – воздух;  $P_1$  и  $P_2$  – исходный и концентрированный растворы; ПГС- парогазовая смесь; УГ – уходящие газы; ХВ – холодная вода; ГВС – вода на горячее водоснабжение; ГВ – горячая вода в систему отопления и вентиляции

### Способы энергосбережения в ректификационных установках

Ректификационные установки широко применяются при получении продуктов переработки нефти, в химической промышленности и в пищевых производствах (производство спирта). Разделение жидких смесей является очень энергоемким процессом. По опытным данным нефтеперерабатывающие заводы на переработку нефти и производство нефтепродуктов потребляют в виде топлива, теплоты и электроэнергии 8-12% объема перерабатываемой нефти.

В технологических схемах с ректификационными колоннами (см. рис.15) также возникает проблема использования низкопотенциальной теплоты. Вторичными энергетическими ресурсами в ректификационных установках являются теплота паров низкокипящих компонентов, уходящих из верхней части колонны, а также теплота кубового остатка.

Расход теплоты на предварительный подогрев исходной смеси, поступающей на ректификацию, мал по сравнению с тем количеством теплоты, которое отводится с охлаждающей водой из конденсатора флегмы и конденсатора готового продукта. Более того, для предварительного подогрева смеси вполне достаточно теплоты конденсата греющего пара. В этих условиях важным способом экономии топлива является внешнее энергоиспользование. Например, на ликероводочных заводах встречаются схемы, в которых охлаждающая вода нагревается в конденсаторах флегмы и готового продукта до 65 °С и используется затем в моечных машинах, в системах горячего водоснабжения санитарно-технического назначения и др.

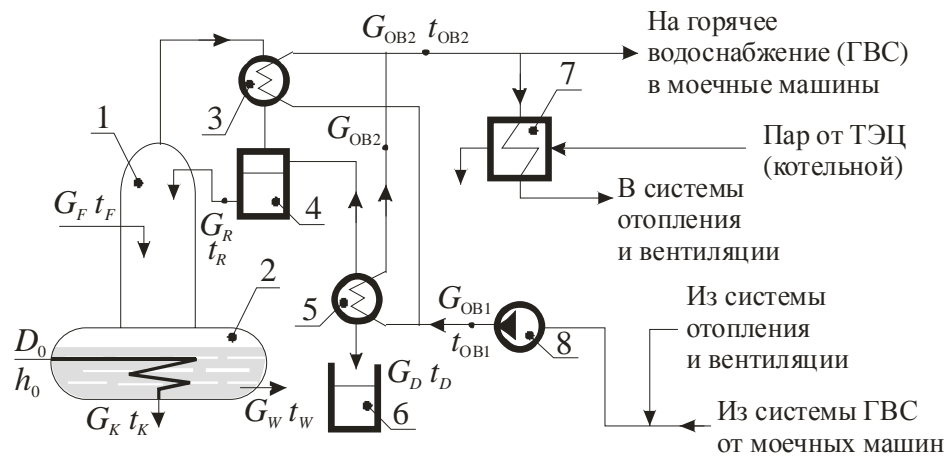


Рис. 15. Схема ректификационной установки для регенерации органических растворителей

1 – ректификационная колонна; 2 – куб; 3 – конденсатор флегмы; 4 – дефлегматор; 5 – конденсатор готового продукта; 6 – сборник готового продукта (дистиллята); 7 – водоподогреватель; 8 – насос циркуляционный

Схема ректификационной установки для регенерации растворов органических растворителей показана на рис.15. Отработанный раствор в количестве  $G_F$  при температуре  $t_F$  поступает на разделение в колонну, куб которой обогревается паром. Расход пара  $D_0$ , энтальпия  $h_0$ . Пары летучих компонентов из колонны охлаждаются последовательно в конденсаторе флегмы 3 и конденсаторе готового продукта 5, между которыми установлен дефлегматор 4 для отделения жидкой фазы - флегмы в количестве  $G_R$ , возвращаемой на орошение колонны. Дистиллят в количестве  $D$  при температуре  $t_D$  направляется в сборный бак 6 и возвращается в технологический цикл.

Нагретая в конденсаторах флегмы и готового продукта вода направляется в систему горячего водоснабжения и обеспечивает работу моечных машин. Часть горячей воды, после дополнительного подогрева паром ТЭЦ или котельной в водоподогревателе 7 направляется в систему отопления.

Уравнение теплового баланса установки можно представить в виде

$$D_0(h_0 - c_k) \eta = G_D \cdot c_D \cdot t_D - G_F \cdot c_F \cdot t_F + G_w \cdot c_w \cdot t_w + G_{OB} \cdot c_{OB} \cdot (t_{OB2} - t_{OB1}) + \sum Q_{OC} \quad (11)$$

где  $t_k$  – температура конденсата греющего пара;  $c_k, c_D, c_F, c_w, c_{OB}$  – удельные теплоемкости конденсата греющего пара, дистиллята, исходной смеси, кубового остатка и охлаждающей воды;  $t_{OB1}$  и  $t_{OB2}$  – температуры охлаждающей воды до и после конденсаторов. Так как  $G_{OB1} c_{OB} (t_{OB} - t_{OB1}) = (G_R + G_D)(h_{п2} - h_{см})$ , где  $h_{см}$  – энтальпия и  $G_{OB2} c_{OB} (t_{OB2} - t_{OB1}) = G_R(h_{п2} - c_D t_D)$ , понятно, что расход греющего пара тем больше, чем больше флегмовое число  $R = G_R/G_D$ . Обычно  $R = 3-4$ . Поэтому на получение 1 т дистиллята расходуется несколько тонн греющего пара, большая часть теплоты которого (до 85%) передается охлаждающей воде в конденсаторах. Тепло этой воды часто сбрасывается в окружающую среду через градирню. Это тепло может быть полезно использовано либо напрямую для работы моечных машин и горячего водоснабжения, как это показано на рис.15, или после повышения его потенциала путем дополнительного подогрева либо с помощью теплового насоса. В этом случае теряется не более 15% теплоты через наружные поверхности аппаратов и трубопроводов.

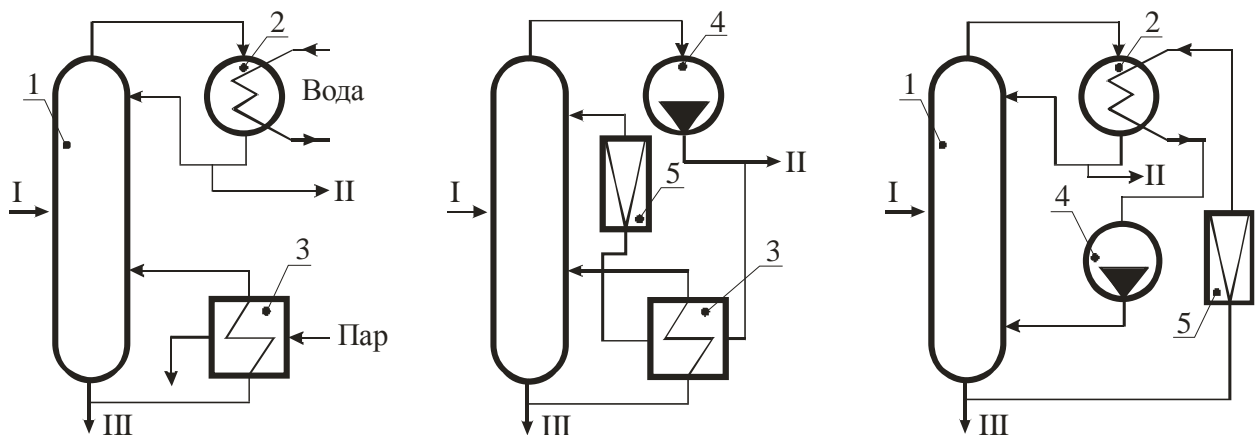


Рис.16. Принципиальные схемы разделения близкикопящих смесей

а – обычная схема; б – схема с тепловым насосом на верхнем продукте; в – схема с тепловым насосом на нижнем продукте; I – разделяемая смесь; II – верхний продукт; III – нижний продукт; 1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – рибойлер; 4 – компрессор, 5 – дроссель.

В тех установках, где подогрев куба колонны осуществляется паром с относительно низкой температурой, можно использовать для этой цели предварительно сжатые механическим компрессором или паровым эжектором пары, уходящие из верхней части колонны, т.е. использовать схемы с тепловым насосом. Примеры применения таких схем приведены на рис.16 [5].

### 7.1.2. Тепловая экономичность сушильных установок и приемы ее повышения.

Тепловая сушка, являясь составной частью многих технологий, относится к числу наиболее энергоемких технологий. По данным Комитета по сушке затраты топливно-энергетических ресурсов на сушку составляют около 12% всех затрат энергии в промышленности и сельском хозяйстве. Широкая распространенность процессов сушки и низкие (в среднем 30-35%) коэффициенты полезного использования энергии в них обуславливают актуальность энергосбережения в сушильных установках, что опосредованно скажется на снижении энергоемкости ВВП.

Поскольку конвективные сушильные установки преобладают в общем парке обезвоживающих устройств (рис.1.), будем проблему энергосбережения рассматривать применительно к конвективной сушке, например, дисперсных материалов.

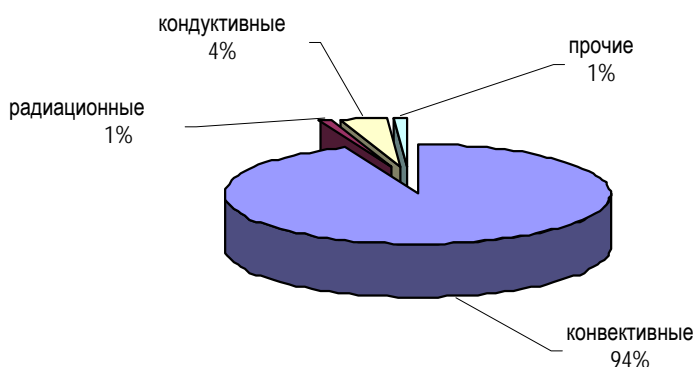


Рис.1. Основные типы сушильных установок, используемых в России и странах СНГ

В первом приближении технологические процессы, включающие конвективную тепловую сушку, можно представить состоящими из трех стадий: 1) подготовительной, на которой используют аппараты подготовки сушильного агента и сушимого материала; 2) основной, реализуемой при помощи сушильных (одной или нескольких) камер; 3) заключительной, в которую могут входить утилизация вторичных энергетических ресурсов, улавливание пыли и т.п.

В соответствии с таким укрупненным представлением групп технологических процессов на каждой стадии существуют в зависимости от вида сушимого материала свои специфические способы повышения тепловой экономичности.

Анализ литературных источников по теории, технике и технологии сушки позволяет назвать такие способы снижения удельных затрат на обезвоживание материала на подготовительной стадии, как предварительное нагревание, пенообразование, дробление, воздействие поверхностно-активного вещества (ПАВ), виброобработка, снижение энергии связи влаги со скелетом материала, совершенствование тепловых генераторов и др.

На заключительной стадии снижение тепловых затрат достигается, в основном, за счет утилизации теплоты уходящих газов и высушенного материала. Эта теплота с помощью рекуперативных, регенеративных или контактных теплообменников используется для нагрева воздуха, подаваемого в топочную камеру, теплофикационной или технологической воды, предварительного подогрева сушимого материала. Достаточно эффективна утилизация теплоты сушильного агента в контактных теплообменниках.

Для классификации методов повышения тепловой экономичности собственно сушилок на базе анализа физической сущности происходящих в них процессов отметим вначале, что процесс сушки определяется статикой и кинетикой.

Под статикой сушки понимают материальный и тепловой балансы сушилки, которые позволяют определить расходы сушильного агента и теплоты, а также оценить тепловую экономичность сушилки. Изменение во времени среднеинтегральных влагосодержания материала и его температуры называют кинетикой сушки. Знание последней позволяет определить продолжительность сушки и габариты установки. Габариты установки во многом определяют тепловые потери в окружающую среду, а, следовательно, тепловую экономичность сушилки. Таким образом, при анализе возможностей повышения тепловой экономичности следует учитывать факторы, влияющие на кинетику сушки.

Процесс сушки в общем случае состоит из периода подогрева, I и II периодов сушки, интенсивность удаления влаги в которых зависит от различных факторов. В первом периоде интенсивность сушки определяется скоростью подвода теплоты к сушиму материалу и отвода массы с его поверхности в окружающую среду  $q_{м.внеш}$  (внешняя задача сушки), во втором периоде — скоростью передачи теплоты в глубь материала и подвода массы из внутренних слоев материала в зону испарения  $q_{м.внутр}$  (внутренняя задача сушки).

Одна из возможных классификаций приемов энергосбережения приведена на рис.2.

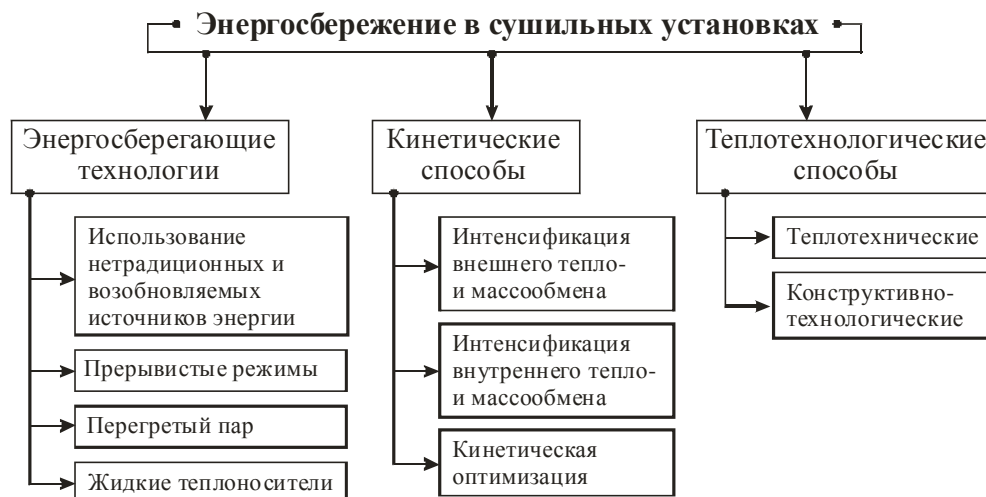


Рис.2. Частная классификация энергосберегающих мероприятий в сушильных установках

Как видно из рис.2, все энергосберегающие мероприятия можно разбить на 3 группы: теплотехнологические, кинетические и энергосберегающие технологии.

*К первой группе, касающейся сушильной установки в целом, можно отнести:*

- ◆ теплотехнические (выбор тепловой схемы, режимных параметров сушки – температуры, скорости и влагосодержания сушильного агента, режимов работы установки, коэффициентов рециркуляции, управление конечным влагосодержанием сушильного агента и т.д.);
- ◆ конструктивно-технологические (оптимизация числа зон промежуточного подогрева сушильного агента, выбор направления взаимного движения сушильного агента и материала, совершенствование систем подвода теплоты, улучшение аэродинамической обстановки в сушильной камере и т.д.).

*Ко второй группе методов относятся:*

- ◆ методы интенсификации внешнего тепло- и массообмена (повышение температурного напора, повышение движущей силы массообмена, коэффициента теплоотдачи к сушиму материалу, поверхности тепло- и массообмена и т.д.);
- ◆ методы интенсификации внутреннего тепло- и массообмена (повышение температуры материала в первом периоде сушки, снижение термодиффузионной составляющей потока массы при ее разнонаправленности с диффузионной составляющей, использование внешних полей – электрических, магнитных, звуковых, использование ПАВ и т.д.);
- ◆ методы кинетической оптимизации (управление профилем скорости, температуры и влагосодержания сушильного агента на входе в установку, линеаризация кинетики сушки изменением формы сушильной камеры, активизация процесса взаимодействия сушильного агента и материала, реверсия и др.).

*К третьей группе методов можно отнести:*

- ♦ использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, приводящее к замещению органического топлива (солнечные сушильные установки, использование ветровой энергии для сушки материалов растительного происхождения и др.);
- ♦ использование прерывистых режимов подвода тепла за счет радиационного излучения, реверсия потоков сушильного агента и др.);
- ♦ использование в качестве сушильного агента паров растворителя, водяного пара атмосферного давления и др.

Приведенный перечень методов повышения тепловой экономичности сушилок не полон, но и он дает представление о большом количестве возможных направлений поиска рациональных и оптимальных с точки зрения энергозатрат вариантов организации процесса сушки.

Первая группа методов, относящихся к традиционным методам энергосбережения, основана на выборе рациональной теплотехнологической схемы установки, параметров режима сушки, выявлении ВЭР и их использовании в том же самом (регенеративное энергоиспользование) или другом (внешнее энергоиспользование) технологическом процессе. Такой подход позволяет влиять на постоянные затраты первичного топлива. Однако, реализация мероприятий требует, как правило, создания утилизационного или технологического оборудования. В этом случае достигаемая экономия постоянных затрат энергии уменьшается за счет увеличения расхода других ресурсов.

Соотношение непроизводительных затрат энергии в конвективных сушильных установках при использовании таких методов энергосбережения приведено на рис.3.

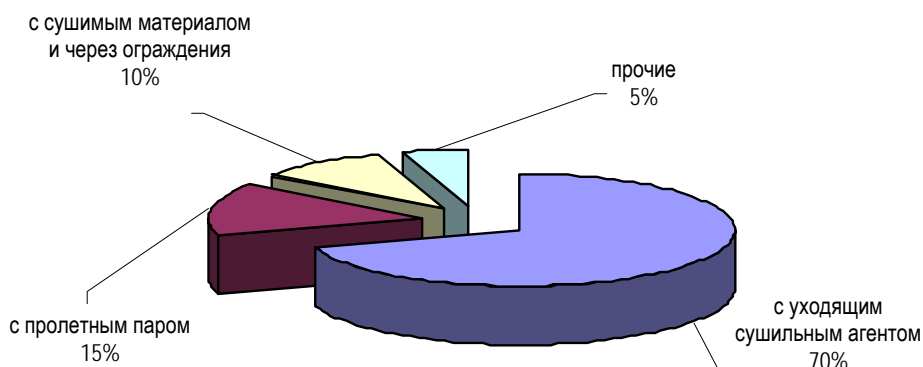


Рис.3. Традиционное распределение нерациональных энергетических затрат.

Рассмотрим примеры энергосбережения в конвективных сушильных установках.

Из анализа тепловых балансов конвективных сушильных установок (рис.4) следует, что наибольшие потери теплоты обуславливаются отходящим сушильным агентом и потерями теплоты в окружающую среду. Таким образом, становятся очевидными принципиальные пути повышения тепловой экономичности конвективных сушильных установок: снижение потерь теплоты с уходящим сушильным агентом (или рациональное использование этого вида вторичных энергетических ресурсов) и в окружающую среду конструкциями установок. Очевидно, что перспективным направлением в экономии топлива и энергии при обезвоживании влажных материалов в конвективных СУ является не рациональное использование теплоты уходящего сушильного агента в различного рода утилизационных установках, а всемерное сокращение этого вида потерь. Последнее в первую очередь достигается за счет рециркуляции части отработавшего сушильного агента, что сокращает расходы уходящего сушильного агента в десятки раз.

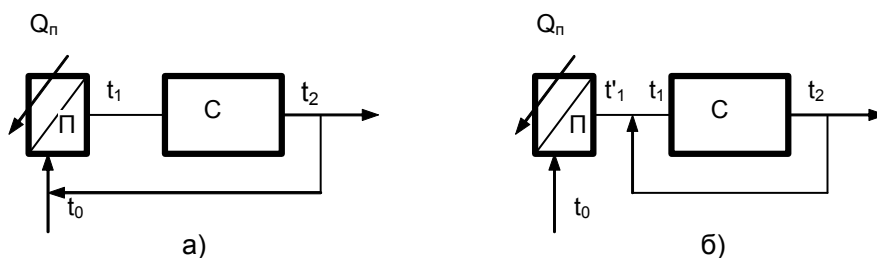


Рис.4. Принципиальные схемы конвективных сушильных установок (сушильный агент - воздух)  
П - подогреватель; С - сушильная камера

Существуют две возможности организации рециркуляции в установках, использующих в качестве сушильного агента воздух (рис.4):

- а) часть отработавшего воздуха возвращается в зону перед подогревателем так, что весь сушильный агент (свежий и отработавший воздух) подогревается до температуры на входе в сушилку;
- б) часть отработавшего воздуха подается в зону после подогревателя, смешивается с нагретым свежим воздухом и далее подается непосредственно на сушку.

Наиболее распространена первая схема, хотя и требующая подогрева всего сушильного агента, но до более низких температур, чем во второй схеме.

Качественно анализировать изменение удельного энергопотребления  $q$ , кДж/кг исп. вл., можно, используя изображение изменения состояния воздуха в  $H-d$  диаграмме (рис.5).

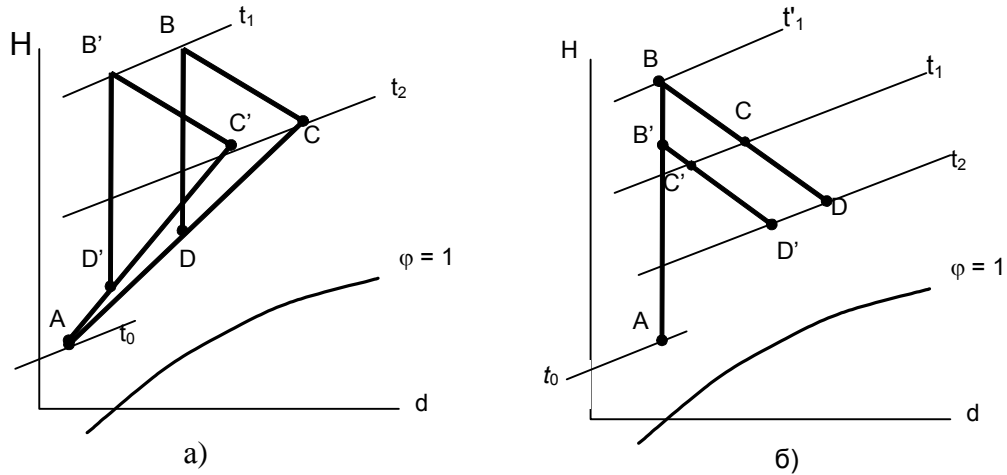


Рис.5. Изменение состояния сушильного агента в сушилках с рециркуляцией

Тангенс угла наклона линий  $AD$ ,  $AD'$  пропорционален удельным энергозатратам  $q$ .

Качественный анализ тепловой экономичности сушилок с рециркуляцией показывает, что для схемы рис.4а при  $t_1$ ,  $t_2$  и  $\Delta$ , остающихся постоянными, увеличение коэффициента рециркуляции  $K_p$  (по существу, увеличение влагосодержания сушильного агента на выходе из сушилки) ведет к снижению удельного расхода теплоты. Снижение удельных теплотерь до нуля при  $t_1 = \text{const}$  и  $t_2 = \text{const}$  также приводит к снижению  $q$ .

Увеличение  $t_1$  при  $d_2 = \text{const}$  и  $t_2 = \text{const}$  не изменяет удельного расхода теплоты. Указанные условия реализуются при уменьшении коэффициента рециркуляции. Последнее приводит к компенсации преимуществ повышения начальной температуры сушильного агента. Реальные зависимости для  $q$  в сушилках с рециркуляцией при изменении различных параметров приведены на рис.5. При неизменной начальной температуре сушильного агента снижение конечной температуры приводит к сокращению удельных расходов теплоты. Так, при  $K_p = 4$  и  $t_1 = 200^\circ\text{C}$  снижение  $t_2$  со 130 до  $70^\circ\text{C}$  приводит к росту  $\eta$  с 0,68 до 0,95. Обратим внимание на то, что при тех же исходных условиях КПД сушилок с однократным использованием воздуха изменяется от 0,3 до 0,57. Представленные на рис.6 зависимости при больших коэффициентах рециркуляции асимптотически стремятся к минимуму.

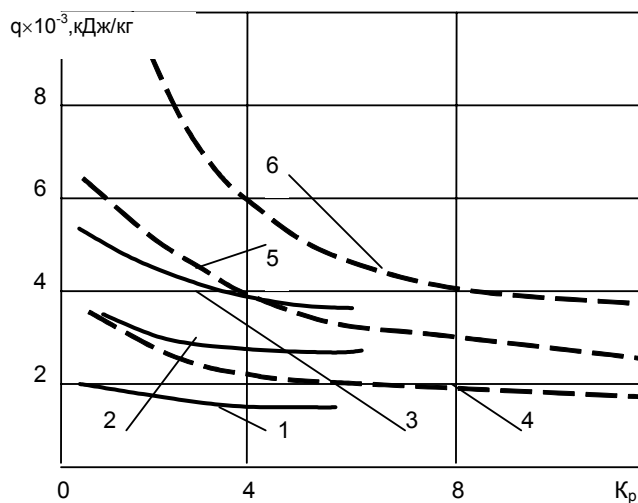


Рис.6. Влияние параметров режима сушки на удельные энергозатраты в сушилке с рециркуляцией воздуха.

- 1,2,3 –  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ ,
- $t_2 = 70^\circ\text{C}$ ,
- 4,5,6 –  $t_1 = 200^\circ\text{C}$ ,
- $t_2 = 130^\circ\text{C}$ ,
- 1,4 –  $\Delta = 1000$  кДж/кг,
- 2,5 –  $\Delta = 0$ ,
- 3,6 –  $\Delta = -1000$  кДж/кг,

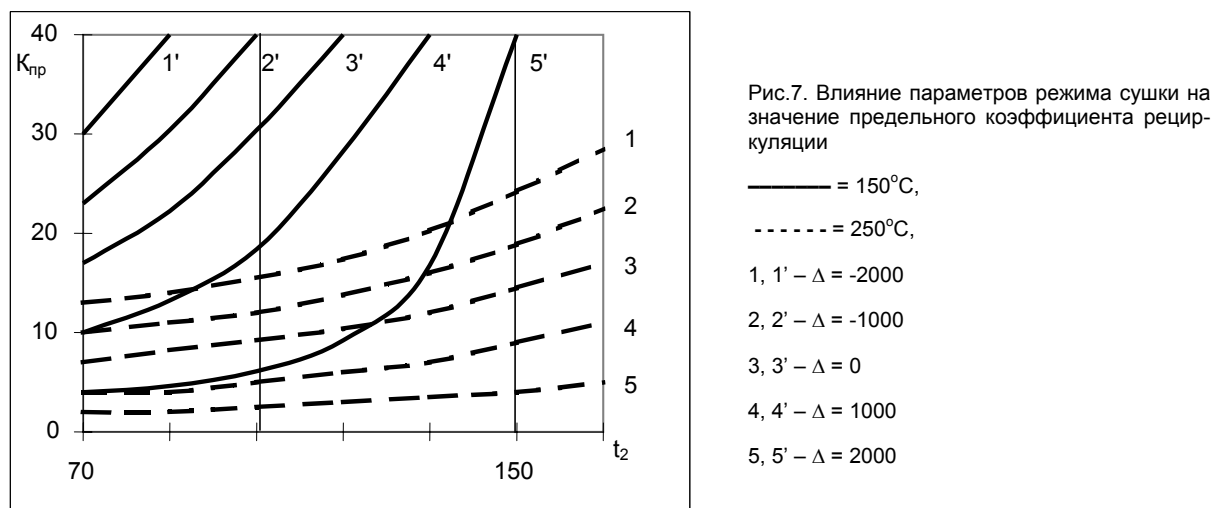


Коэффициент рециркуляции для схемы а (рис.4) при заданных  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_0$  имеет предельное значение, определяемое выражением:

$$K_{p.пр.} = \frac{h_2 - \Delta}{c_n(t_1 - t_2)} \quad (1)$$

где  $h_2$ ,  $c_n$  - энтальпия и удельная теплоемкость пара при температуре сушильного агента  $t_2$  на выходе из сушильной камеры.

При известных  $t_1$ ,  $t_2$  и  $\Delta$  коэффициент рециркуляции может выбираться в пределах от 0 до  $K_{p.пр.}$ . При этом следует помнить, что чем ближе  $K_p$  к  $K_{p.пр.}$ , тем ближе  $\eta$  к единице. Характер изменения  $K_{p.пр.}$  приведен на рис.7.



Рассмотрим еще одно значимое направление энергосбережения – кинетическая оптимизация, целенаправленное управление локальной кинетикой процессов, в частности процесса сушки, при наличии, например, неравномерных по площади сушильной камеры профилей параметров сушильного агента.

Кинетическая оптимизация сушильной установки может заключаться в создании оптимального профиля одного из параметров одновременно с сокращением ее длины, снижением массового расхода сушильного агента или мощности конвективного потока тепла сушильного агента.

Расчет нескольких сушильных установок с разными профилями параметров сушильного агента позволяет оценить не только направленность воздействия изменения профиля, но и его рациональный с точки зрения энергосбережения вид. Этому же способствует и интенсификация неравномерного теплообмена.

Смысл интенсификации локального теплообмена заключается в том, что путем турбулизации потока рабочей среды, изменения угла набегания рабочей среды на рабочие элементы технологического аппарата и т.п. изменяется локальный закон теплообмена. При интенсификации неравномерного теплообмена локальный закон теплообмена остается неизменным, а изменяется пространственно-временная неравномерность полей изменяющихся физических величин в рабочей камере технологического аппарата. К этой группе может быть отнесено множество разнообразных операций, традиционно зачастую даже не рассматриваемых как ресурсосберегающие, например, выравнивание неравномерных профилей плотности потока массы и начальных параметров рабочих сред на входе в технологический аппарат, изменение схемы движения рабочих сред и т.д. [2].

Необязательно, чтобы кинетическая оптимизация сопровождалась изменением только одного параметра. Возможно одновременное согласованное изменение нескольких параметров, в чем находит свое выражение многопараметричность задачи оптимизации.

Потенциал энерго- и ресурсосбережения в процессах и аппаратах промышленной теплоэнергетики, связанный с оптимизацией кинетики – созданием равномерности или оптимальной неравномерности процессов теплообмена является скрытым, то есть не может быть обнаружен наиболее широко распространенными инженерными методами расчета аппаратов, игнорирующими реальную кинетику процессов.

Теоретически потенциал энерго- и ресурсосбережения, связанный с оптимизацией неравномерного теплообмена, в отдельных теплотехнологических аппаратах, может быть сколь угодно велик. Как показали работы [1, 2], затраты энергии и других ресурсов в различных сушильных установках в результате оптимизации неравномерного теплообмена могут быть сокращены в 1,5-2 раза.

Учет кинетического несовершенства процесса сушки в другом свете представляет распределение непроизводительных затрат энергии в конвективной сушильной установке (рис.8).

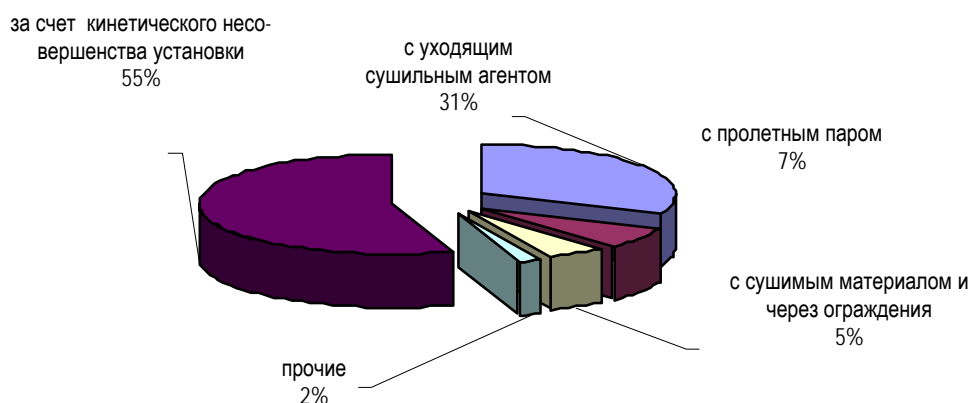


Рис.8. Перераспределение нерациональных затрат энергии при учете кинетического несовершенства процесса сушки.

Однако, для случая, когда оптимизация неравномерного тепломассообмена приводит к одновременному пропорциональному уменьшению единовременных и постоянных затрат на организацию технологического процесса, в качестве частного технического критерия оптимизации может быть использовано относительное паразитное удлинение.

Этот частный технический критерий оптимизации представляет собой отношение продолжительности сушки при неравномерном распределении управляющего параметра к продолжительности сушки при равномерном распределении этого параметра:

$$\omega = \frac{\tau_n}{\tau_p} \quad (2)$$

Минимизация этого показателя соответствует минимуму энергетических затрат.

Рассмотрим некоторые примеры устранения этих неравномерностей применительно к сушильным установкам и методы оценки энергосберегающего эффекта.

Управление профилем скорости сушильного агента. Равномерное распределение сушильного агента в поперечном сечении сушильной камеры, выравнивание профиля скорости сушильного агента является одним из методов устранения неравномерной сушки, паразитного удлинения, сокращения капитальных и энергетических затрат на сушку.

Неравномерность профиля скорости сушильного агента в поперечном сечении сушильной камеры значительно больше при боковом подводе сушильного агента к сушимому материалу, когда поток сушильного агента разворачивается внутри сушильной камеры, чем при фронтальном подводе, когда поток сушильного агента набегаёт на сушимый материал, не изменяя направление движения. Уменьшению неравномерности способствует замена прямоугольного поперечного сечения сушильной камеры на треугольное.

Неравномерность профиля плотности потока массы (скорости) рабочей среды при боковом подводе возникает вследствие образования обширных зон обратных токов (рис.5, а). Качественное изменение неравномерного профиля плотности потока массы (скорости) рабочей среды путем изменения формы рабочей камеры показано на рис.9, б.

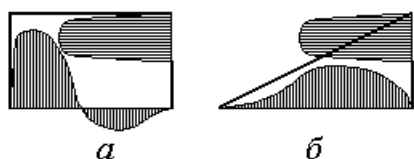


Рис.9. Неравномерный профиль скорости рабочей среды в сушильной камере.

а – профиль скорости при прямоугольной форме рабочей камеры;

б – профиль скорости при треугольной форме рабочей камеры.

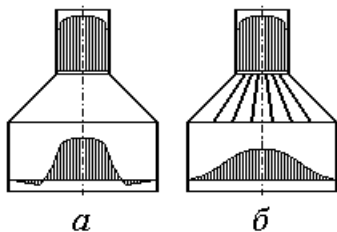


Рис.10. Выравнивание неравномерного профиля скорости рабочей среды при помощи направляющего аппарата.

При прямом подводе рабочей среды неравномерность профиля плотности потока массы (скорости) возникает из-за того, что поперечное сечение трубопроводов, подводящих рабочую среду в рабочую камеру технологического аппарата, меньше поперечного сечения рабочей камеры. В месте внезапного расширения канала возникает отрыв потока от стенок с образованием затопленной струи и зон обратных токов (рис.10, а).

Уменьшению неравномерности способствует также установка внутри сушильной камеры направляющих аппаратов в виде перегородок (рис.10, б).

При фронтальном подводе сушильного агента к сушиму материалу неравномерность профиля скорости сушильного агента может быть также снижена путем установки в поперечном сечении канала, подводящего сушильный агент, распределенных аэродинамических сопротивлений.

Различают тонкие и толстые аэро- или гидродинамические сопротивления. Примером тонкого сопротивления может служить проволочная сетка, примером толстого – сотовая структура, хонейкомб.

Для тонкого сопротивления существует оптимальное значение коэффициента аэро- или гидродинамического сопротивления,  $\zeta_{\text{орт}} = 2$ , при котором происходит полное выравнивание неравномерного профиля плотности потока массы (скорости) (рис.11, б). При меньших значениях коэффициента сопротивления наблюдается неполное выравнивание неравномерного профиля плотности потока массы (скорости) (рис.11, а). При превышении оптимального значения наблюдается «опрокидывание» неравномерного профиля плотности потока массы (скорости).

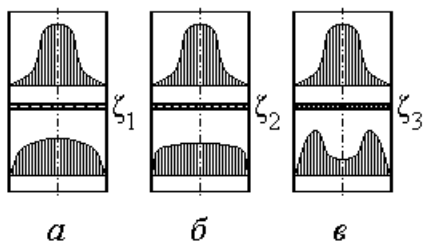


Рис.11. Изменение неравномерного профиля скорости рабочей среды на тонком аэродинамическом сопротивлении (коэффициент гидродинамического сопротивления  $\zeta_1 < \zeta_2 < \zeta_3, \zeta_2 = \zeta_{\text{орт}}$ ).

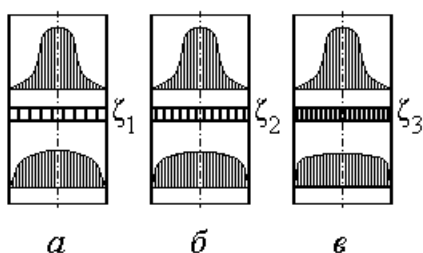


Рис.12. Изменение неравномерного профиля скорости рабочей среды на толстом аэродинамическом сопротивлении (коэффициент гидродинамического сопротивления  $\zeta_1 < \zeta_2 < \zeta_3$ ).

Качественное влияние роста коэффициента аэро- или гидродинамического сопротивления на степень равномерности профиля плотности потока массы (скорости) показано на рис.12.

Выравнивание профиля скорости приводит к сокращению паразитного удлинения только при полном отсутствии активизирующих мероприятий типа перемешивания материала.

Экономия тепла и условного топлива за счет изменения профиля скорости можно подсчитать по следующим формулам:

$$\Delta Q_3 = Q \frac{\omega - 1}{\omega} \tau; \quad \Delta B_y = \frac{\Delta Q_3}{7}, \quad (3)$$

где:  $\Delta Q_3$  – годовая экономия теплоты, Гкал;  $\Delta B_y$  – годовая экономия условного топлива.

При этом следует использовать следующие входные параметры и промежуточные величины:  $W_{нд}$  - начальное влагосодержание материала кг/кг;  $W_{кд}$  - конечное влагосодержание материала кг/кг;  $W_p$  - равновесное влагосодержание материала кг/кг;  $\tau$  - число часов работы установки за год;  $U_1$  - скорость сушильного агента в правой части сушильной камеры, м/с;  $U_2$  - скорость сушильного агента в левой части сушильной камеры, м/с;  $m$  - показатель степени при Re;  $w_0$  - начальное приведенное влагосодержание,  $w_k$  - конечное приведенное влагосодержание.

$$w_0 = W_{нд} - W_p, \quad w_k = W_{кд} - W_p \quad (4)$$

$\omega$  - отношение времени сушки в процессе без выравнивания ко времени сушки в процессе с выровненным профилем скорости сушильного агента

$$\omega = \frac{w_0 - 2w_k}{w_0 - w_k} \frac{(U_1^m + U_2^m)(U_1 + U_2)^m}{2^{2+m} U_1^m U_2^m} + \sqrt{\left(\frac{w_0 - 2w_k}{w_0 - w_k}\right)^2 \frac{(U_1^m + U_2^m)^2 (U_1 + U_2)^{2m}}{2^{4+2m} U_1^{2m} U_2^{2m}} + \frac{w_k}{w_0 - w_k} \frac{(U_1 + U_2)^m}{2^{2+m} U_1^m U_2^m}}$$

Кинетическая линейаризация – второй тип оптимизирующих технологических операций, увеличивает диапазон потенциалов рабочих сред, в котором их потенциалоёмкость постоянна, что приводит к снижению вредного влияния неравномерности на длительность технологического процесса и даже при равномерности - к увеличению средней интенсивности технологического процесса и к уменьшению его продолжительности. Линейаризация кинетики сушки приводит к снижению критического влагосодержания, к увеличению продолжительности первого периода сушки. В результате уменьшается неблагоприятное влияние поперечной неравномерности на сушку, сокращается паразитное удлинение.

В качестве примера может рассматриваться камерная сушильная установка с переменным поперечным сечением, приводящим к увеличению скорости сушильного агента по высоте камеры и, как следствие, к увеличению коэффициента теплообмена.

Экономию тепла и условного топлива можно подсчитать аналогично предыдущему случаю, если вычислить паразитное удлинение:

$$\omega = \frac{C_1^2 - 2_1 w_k + w_0 w_k}{C_2^2 - 2_2 w_k + w_0 w_k}; \quad (6)$$

$$C_1 = W_{кр1} - W_p, \quad C_2 = W_{кр2} - W_p, \quad (7)$$

где  $C_1, C_2$  - критическое приведенное влагосодержание материала до и после кинетической линейаризации;  $W_{кр1}, W_{кр2}$  - критическое влагосодержание материала до и после кинетической линейаризации.

Для оценки энергосберегающего эффекта по толщине слоя от распределения дополнительных источников энергии при конвективно-радиационной сушке Шаповаловой Г.П. предложено паразитное удлинение времени сушки определять по следующему соотношению:

$$\omega = \frac{w_0 - 2w_k}{w_0 - w_k} \frac{(q_1^m + q_2^m)(q_1 + q_2)^m}{2^{2+m} \cdot q_1^m \cdot q_2^m} + \sqrt{\left(\frac{w_0 - 2w_k}{w_0 - w_k}\right)^2 \frac{(q_1^m + q_2^m)^2 (q_1 + q_2)^{2m}}{2^{4+2m} \cdot q_1^{2m} \cdot q_2^{2m}} + \frac{w_k}{w_0 - w_k} \frac{(q_1 + q_2)^m}{2^{2+m} \cdot q_1^m \cdot q_2^m}} \quad (8)$$

где  $q_{1,2} = \sqrt[0,66]{\frac{Q_{1,2}}{A}}$ ,  $A = 0,005 \cdot S \cdot \ln\left(\frac{z_s + 0,622}{z_0 + 0,622}\right) \cdot L \cdot \gamma$ ,  $Q_1$  - конвективный тепловой поток,  $Q_2$  - конвективно-радиационный тепловой поток.

Как и в рассмотренных выше энергосберегающих мероприятиях, наибольшие значения экономии теплоты и условного топлива достигаются при увеличении начального влагосодержания, расхода материала, продолжительности работы установки и уменьшении конечного влагосодержания, причем зависимости имеют практически линейный характер.

### 7.1.3 Использование теплообменных аппаратов для утилизации тепла ВЭР

Известно, что теплообменные аппараты применяются в технике для того, чтобы:

- ♦ придать нагреваемой или охлаждаемой среде необходимую температуру, например, поступающему в помещение приточному воздуху или воде, поступающей в систему отопления или горячего водоснабжения жилого здания;

- ♦ осуществить переход среды в другое фазовое состояние (например, фазовый переход рабочего агента в циклах тепловых двигателей или парокомпрессионных холодильных машин);
- ♦ отвести тепло от охлаждаемых элементов конструкций, тепловыделяющей аппаратуры;
- ♦ полезно использовать теплоту уходящих из теплогенерирующих и теплоиспользующих установок энергетических отходов - так называемых *вторичных энергетических ресурсов (ВЭР)*.

Решение этих задач может происходить одновременно.

Вторичные энергетические ресурсы разделяют на следующие большие группы [1]:

- ♦ *горючие (топливные) ВЭР*: горючие отходы технологических процессов переработки углеродистого и углеводородного сырья, биогаз, твердые и жидкие топливные отходы, отходы, непригодные для дальнейшей технологической переработки (обрезки, щепа, опилки) и т.д.;
- ♦ *тепловые ВЭР*: физическое тепло отходящих газов технологических агрегатов, тепло отработавшего пара и горячей воды, тепло шлаков, золы, твердых технологических продуктов;
- ♦ *ВЭР избыточного давления*: потенциальная и кинетическая энергия газов и жидкостей.

Уходящие из установок тепловые вторичные энергетические ресурсы несут, как правило, значительное количество теплоты. Эта теплота может быть полезно использована двумя способами:

- ♦ возвратом тепла в установку – *регенеративное теплоиспользование*;
- ♦ использованием его в другой установке – *внешнее теплоиспользование*.

Пример регенеративного использования теплоты в сушильной установке изображен на рис 1.

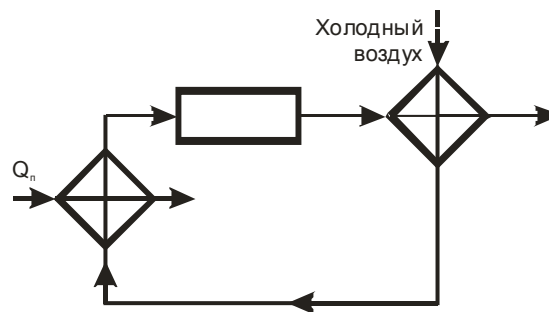


Рис. 1. Регенеративное использование вторичных энергоресурсов.

1 – подогреватель, 2 – сушильная установка, 3 – рекуперативный теплообменник (утилизатор)

В качестве ВЭР используется отработавший сушильный агент, теплота которого используется для предварительного нагрева воздуха в рекуперативном теплообменнике-утилизаторе 3 [8].

Регенеративное теплоиспользование приводит к повышению энергетической эффективности установки и увеличению коэффициента полезного использования теплоты, представляющий собой отношение полезно использованной теплоты в сушильной установке 2 к теплоте, подведенной к установке  $Q_n$  в подогревателе 1.

В определенных случаях возможно использование теплоты вторичных энергоресурсов за счет непосредственного возврата их части в установку. Например, теплый вентиляционный воздух из помещения может частично возвращаться туда уже в качестве приточного воздуха. Осуществляется так называемая *рециркуляция*. Рециркуляция – наиболее простой и дешевый способ регенеративного использования вторичных энергетических ресурсов. Ее осуществление требует минимальных капитальных затрат. Полная рециркуляция уходящих из теплоиспользующих установок газов и жидкостей без их дополнительной обработки невозможна. Однако даже частичная рециркуляция возможна далеко не всегда. Например, запыленный, имеющий токсичные примеси или неприятный запах вентиляционный воздух не должен возвращаться в помещение по санитарным нормам. В этих случаях для утилизации тепла вторичных энергоресурсов путем подогрева веществ, поступающих в установку, используют теплообменные аппараты.

Возвращаемую в установку теплоту можно использовать для нагрева:

- ♦ жидкого или газообразного топлива;
- ♦ воздуха, используемого в процессе горения в качестве окислителя;
- ♦ воды, направляемой в котельную установку;
- ♦ приточного вентиляционного воздуха;

- ◆ сушильного агента;
- ◆ технологического сырья и др.

Внешнее теплоиспользование – использование теплоты ВЭР уходящих из установки для нужд других энергоиспользующих установок. Пример внешнего теплоиспользования – использование теплоты паро-конденсатной смеси, уходящей из сетевого подогревателя для получения пара, направляемого на технологические нужды, изображен на рис 2.

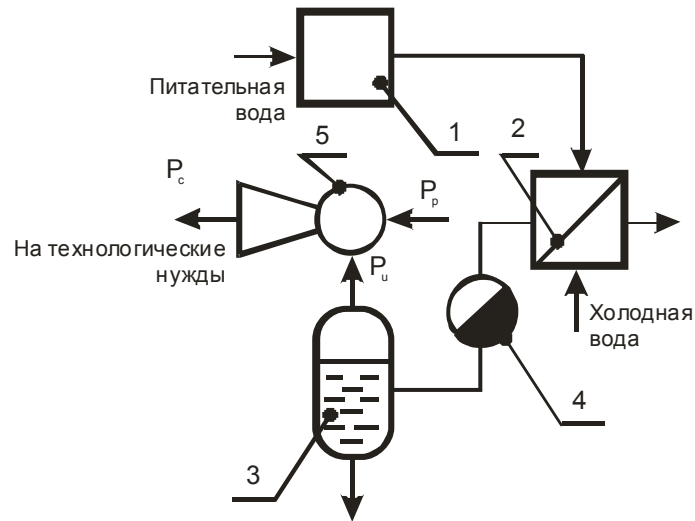


Рис.2. Внешнее использование вторичных энергоресурсов

1 – парогенератор, 2 - теплоиспользующий аппарат (сетевой подогреватель),  
3 – конденсатосборный бак; 4 – конденсатоотводчик; 5 - паровой эжектор

В качестве вторичного энергоресурса используется конденсат, поступающий после сетевого подогревателя 2 в конденсатосборный бак 3. Вследствие того, что давление в баке меньше, чем давление насыщения конденсата (конденсат поступает по трубопроводу под высоким давлением), происходит мгновенное вскипание конденсата. Пар вторичного вскипания  $P_{и}$  (инжектируемый) подсасывается в паровой эжектор. Далее пар смешанных параметров  $P_c$  ( $P_{и} < P_c < P_p$ ) идет на технологические нужды или на теплоснабжение (отопление, горячее водоснабжение).

В некоторых случаях при внешнем теплоиспользовании можно использовать ВЭР напрямую (не используя теплообменные аппараты). Например, горячие дымовые газы после разбавления воздухом можно направить в сушильную установку. Если же дымовые газы вследствие их загрязненности нельзя использовать для сушки материала по требованиям технологического процесса, их направляют в теплообменник для нагрева воздуха, который используется в качестве сушильного агента. Первый из этих способов экономичнее, поскольку не требует больших капитальных затрат.

Кроме регенеративного и внешнего теплоиспользования возможно также *комбинированное теплоиспользование*, когда часть теплоты возвращается в установку, а другая часть – полезно используется в другой энергетической или технологической установке.

Не все энергосберегающие мероприятия эффективны экономически. Капитальные затраты, связанные с приобретением и установкой теплообменника, а также затраты на его эксплуатацию (дополнительная электроэнергия на прокачку теплоносителя, техническое обслуживание) могут превысить экономию, обусловленную использованием теплоты вторичных энергоресурсов. Таким образом, при планировании мероприятий необходимо предусматривать проведение их технико-экономической оценки. В современной России цены на тепловую энергию существенно ниже, чем в европейских странах. При этом наблюдается ежегодный рост цен и приближение их к европейскому уровню. При проведении технико-экономических оценок это обстоятельство необходимо обязательно учитывать.

### Утилизация тепла вторичных энергетических ресурсов в рекуперативных теплообменниках

Тепловые вторичные энергоресурсы имеют различные температурные параметры и подразделяются на три группы:

1. Горячие газы (уходящие газы котельных установок, дымовые газы высокотемпературных установок, двигателей внутреннего сгорания и т. д.), температура которых достигает 1000 °С.
2. Продукты технологического процесса (нагретые слитки, шлак, раскаленный кокс и т.д.), имеющие температуру до 1500 °С.
3. Низкотемпературные вторичные энергоресурсы, имеющие температуру, как правило, до 200 °С:

- ♦ пар, отработавший в двигателях, а также вторичный пар;
- ♦ горячая вода (вода от охлаждающих устройств, производственный конденсат, стоки);
- ♦ теплота нагретого воздуха (теплый воздух, удаляемый из производственных помещений, сушильных установок).

Первые две группы ВЭР являются высокотемпературными и их полезное использование является наиболее простой задачей. Например, они могут быть использованы в котлах-утилизаторах для получения пара энергетических параметров. Использование же ВЭР третьей группы – более сложная проблема, поскольку их температура недостаточна, чтобы использовать их для большинства технологических нужд. Кроме того, при передаче тепла другим теплоносителям в теплообменниках, неизбежно дополнительное снижение температуры.

Значительная часть тепловых ВЭР составляет физическая теплота газов. Использование этой теплоты имеет свои особенности. Главной из них является то, что газообразные теплоносители имеют низкий коэффициент теплоотдачи ( $K=10-50 \text{ Вт/(м}^2 \text{ град)}$ ) и для утилизации теплоты необходимы теплообменные аппараты с большими поверхностями теплообмена. Кроме того, из-за малой плотности газовых теплоносителей воздуховоды и газоходы имеют большие поперечные размеры. Их трудно поворачивать в помещениях ограниченного объема, трудно осуществлять передачу газов на дальние расстояния. В связи с этим, для утилизации теплоты газов рационально использовать в основном два типа рекуперативных теплообменных аппаратов: пластинчатые оребренные теплообменники и трубчатые оребренные теплообменники с промежуточным теплоносителем.

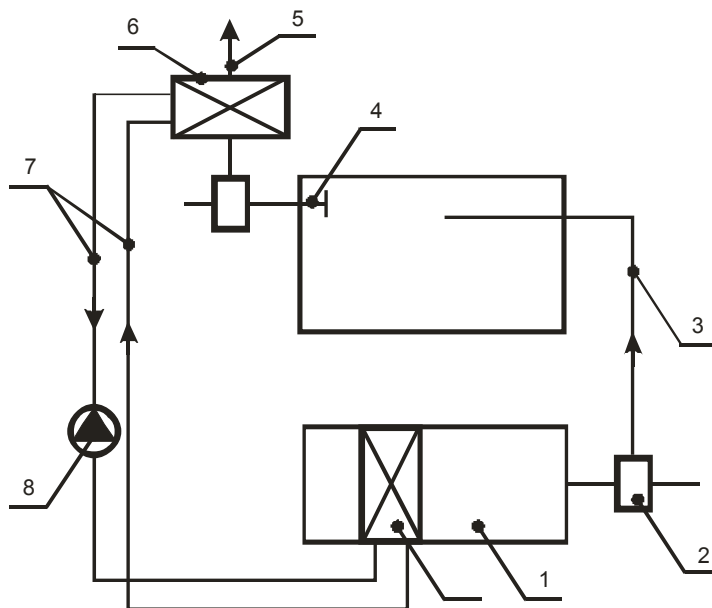


Рис.3. Принципиальная схема центрального кондиционера с утилизацией тепла воздуха, удаляемого из помещения:

1 – кондиционер; 2 – приточный и вытяжной вентиляторы; 3 – приточный воздуховод; 4 – вытяжная решетка; 5 – выброс вытяжного воздуха; 6 – теплоизвлекающий теплообменник; 7 – соединительные трубопроводы установки утилизации вытяжного воздуха; 8 – циркуляционный насос; 9 – теплоотдающий теплообменник

Пластинчатые оребренные теплообменники применяются в тех случаях, когда воздуховоды с горячим и холодным воздухом расположены близко друг от друга.

Если воздуховоды (газоходы) разнесены и для передачи тепла невозможно использовать пластинчатый теплообменник, то используют теплообменники с промежуточным теплоносителем (рис. 3). Использование теплоты уходящего воздуха, показанное на рис. 3 позволяет уменьшить потребление тепла горячей воды для подогрева приточного воздуха в подогревателе кондиционера 1.

Годовую экономию энергии можно выразить следующим образом:

$$\Delta Q = (H_y - H_n) \cdot L_n \cdot \tau \cdot 3600 \quad [\text{кДж}]$$

где  $H_y$  – энтальпия воздуха, уходящего из помещения, кДж/кг;  $H_n$  – энтальпия воздуха, выходящего из теплообменника-утилизатора, кДж/кг;  $L_n$  – массовый расход воздуха через теплообменник, кг/с;  $\tau$  – годовое число часов использования установки, ч.

Схема, представленная на рис. 3, позволяет на 60 % сократить расход тепла на нагрев приточного наружного воздуха [2]. Кроме того, она дает возможность использовать в составе кондиционера подогре-

ватель с меньшей площадью поверхности теплообмена. Поскольку при использовании этой схемы в зимнее время существует опасность замерзания, в качестве промежуточного теплоносителя в подобных установках используется смесь воды и этиленгликоля.

Если и тот и другой способ утилизации теплоты является технически реализуемым, то возникает вопрос, какой из них более эффективен с точки зрения энергосбережения и ресурсосбережения.

В схеме с промежуточным теплоносителем используются одновременно два теплообменника 6 и 9, каждый из которых передает то же самое количество теплоты что и пластинчатый оребренный теплообменник.

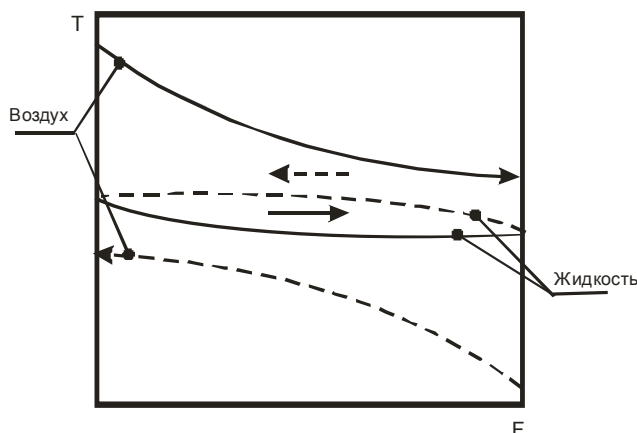


Рис.4. Распределение температур в теплообменнике-утилизаторе с промежуточным теплоносителем на линии:

- – теплого воздуха (теплообменник 6);
- – холодного воздуха (теплообменник 9)

Запишем уравнение теплопередачи для пластинчатого теплообменника  $Q=K_0 \cdot F_0 \cdot \Delta T_0$  и теплообменников, входящих в состав системы с промежуточным теплоносителем  $Q=K_1 \cdot F_1 \cdot \Delta T_1$ . Располагаемый температурный напор в каждом из этих теплообменников, как показывает практика, ниже примерно в два раза (см. рис. 4):  $\Delta T_1 \approx 0,5 \cdot \Delta T_0$ . Коэффициенты теплопередачи в каждом из теплообменников с промежуточным теплоносителем выше, поскольку одним из теплоносителей является вода, при течении которой наблюдается высокий коэффициент теплоотдачи. При больших скоростях воды коэффициенты теплопередачи в рассматриваемых типах теплообменников также отличаются почти в два раза:  $K_1 \approx 2 \cdot K_0$ .

Тогда площадь теплопередающей поверхности каждого из двух теплообменных аппаратов, входящих в состав теплообменника-утилизатора с промежуточным теплоносителем, соизмерима с площадью поверхности пластинчатого оребренного теплообменника (на самом деле – несколько меньше, поскольку схема течения в теплообменнике с промежуточным теплоносителем ближе к противоточной). Таким образом, с точки зрения сбережения ресурсов пластинчатые оребренные теплообменники-утилизаторы лучше теплообменников-утилизаторов с промежуточным теплоносителем, поскольку суммарная поверхность последних приблизительно в два раза больше, чем у первых.

На практике часто встречаются случаи, когда в одной установке имеется сразу несколько ВЭР, теплоту которых можно полезно использовать. При этом возникает вопрос о последовательности их использования. Рассмотрим этот вопрос на примере одноступенчатой выпарной установки (рис. 5).

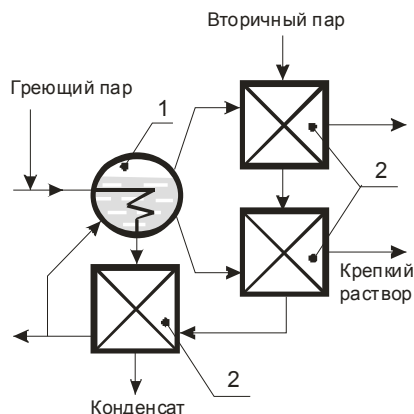


Рис.5 Использование тепла ВЭР в однокорпусной выпарной установке.  
1 – выпарной аппарат; 2 – теплообменные аппараты



В установку входит исходный продукт – слабый раствор соли, и греющий пар, обеспечивающий удаление влаги из слабого раствора. Из выпарной установки выходит вторичный пар, крепкий раствор, являющийся технологическим продуктом, и конденсат рабочего пара. Слабый раствор, поступающий на выпаривание, необходимо нагреть до температуры кипения. Для этого можно использовать либо часть рабочего пара, либо уходящие из установки ВЭР.

Все выходящие из установки ВЭР имеют различное теплосодержание и различные расходы. Наибольшее теплосодержание имеет вторичный пар. Тепловой поток, который можно полезно использовать составляет:

$$Q = W (r + c_p \Delta T),$$

где  $W$  – расход вторичного пара,  $r$  – удельная теплота парообразования,  $c_p$  – теплоемкость воды,  $\Delta T$  – разность температур вторичного пара и слабого раствора. Однако температура вторичного пара ниже, чем температура кипения раствора из-за наличия температурной депрессии и нагреть им слабый раствор до температуры кипения нельзя.

Использование теплоты конденсата для подогрева слабого раствора не приведет к желаемому результату. Несмотря на то, что конденсат имеет высокую температуру, его количества недостаточно, чтобы подогреть слабый раствор до нужной температуры. Крепкий раствор также не имеет ни достаточной температуры, ни достаточного расхода, чтобы обеспечить необходимую температуру слабого раствора. Решить задачу позволяет последовательность использования ВЭР, изображенная на рис. 5. При наличии в установке нескольких ВЭР важно помнить о том, что по возможности сначала следует использовать тепло самого низкого потенциала - т.е. тепло среды, имеющей самую низкую температуру. Чем ниже температура ВЭР, тем более ограничена область его использования. Теплота ВЭР с высокой температурой имеет больше возможностей для внешнего использования. Однако следует иметь в виду, что использование нескольких теплообменных аппаратов может быть не оправдано из-за высоких капитальных затрат. Наилучший вариант выбирается из оптимизационных технико-экономических расчетов.

#### **Применение оросительных теплообменников для утилизации тепла уходящих газов**

Одним из способов повышения эффективности использования топлива в топливоиспользующих агрегатах, в том числе в котельных установках, является утилизация тепла уходящих газов (тепловые ВЭР) путем использования рекуперативных, смешительных, комбинированных аппаратов, работающих при различных приемах использования теплоты, содержащейся в уходящих газах.

Применение рекуперативных теплообменников для утилизации тепла уходящих газов из котельной установки обеспечивает повышение коэффициента использования топлива  $\eta$ . Снижение температуры уходящих газов на  $15\div 20^\circ\text{C}$  при использовании в качестве топлива природного газа соответствует увеличению  $\eta$  на 1%. Для охлаждения парогазовой смеси, использование рекуперативных теплообменников работающих в конденсационном режиме (температура рекуперативной поверхности ниже температуры точки росы) приводит к увеличению  $\eta$  на 1% уже при снижении температуры уходящих газов на  $3\div 4^\circ\text{C}$ .

Известно, что температуру уходящих из котла газов принимают не менее  $120\div 130^\circ\text{C}$  по двум причинам:

- для исключения конденсации по газоотводящему тракту вплоть до выхода в атмосферу водяных паров;
- для увеличения естественной тяги, снижающей необходимый напор дымососа.

Наиболее важная первая из отмеченных причин. Покажем теоретические возможности снижения температуры уходящих газов ниже указанных выше значений, не приводящих к появлению конденсата на стенках газоотводящего тракта. Для предупреждения конденсации водяных паров в газоходах и дымовой трубе можно использовать частичное байпасирование горячих газов (рис. 6).

Из рис. 6 очевидно, что разделение на два потока уходящих из котла газов, имеющих температуру  $t_y$  (точка E) позволяет путем охлаждения и осушения одного из них в конденсационном теплообменнике до  $t'_y$  (точка M) иметь после смешения (точка Y) более низкие значения температуры  $t''_y$ , влагосодержания  $d_y$  и температуры точки росы  $t''_p$ .

Особенностью процессов глубокого охлаждения парогазовых смесей является изменение их количества вследствие конденсации части водяных паров, для расчета которого можно использовать выражение:

$$\Delta W_w^n = [W_{cr}^{no} + W_{cb}^{no}(\alpha_{yx} - 1)](d_y' - d_y'') \times 10^{-3},$$

где:

$\Delta W_w^n$  - приведенное количество получаемого из продуктов сгорания конденсата;

$W_{cb}^{no}$  - приведенный теоретический расход сухого дутьевого воздуха  $W_{cb}^{no} = 1,415$ ;

$W_{cr}^{no}$  - приведенное теоретическое количество сухих продуктов сгорания,  $W_{cr}^{no} = 1,333$ ;

$\alpha_{yx}$  - коэффициент избытка воздуха продуктов сгорания в газоходе перед КТ;

$d_y'$  - начальное влагосодержание продуктов сгорания (перед теплоутилизатором), г/кг с.г.;

$d_y''$  - влагосодержание насыщенных продуктов сгорания (на выходе из теплоутилизатора), г/кг сухого газа.

Приведенные характеристики рассчитаны по отношению к нижней теплоте сгорания топлива  $Q_H^c$ , Ккал/м<sup>3</sup>. Значения  $d_y'$  и  $d_y''$  могут быть рассчитаны по приближенным формулам Л.Г. Семенина

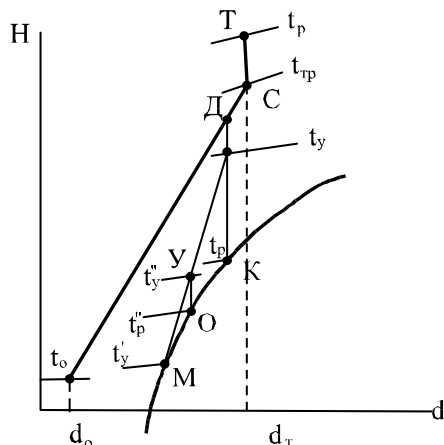
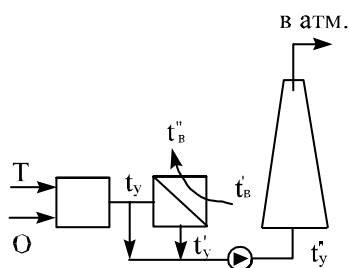


Рис. 6. Принципиальная схема байпасирования уходящих газов и изображение изменения их состояния в H-d- диаграмме

нюка

$$d_y' = (0,13 + d_0 \alpha_{yx}) / (\alpha_{yx} - 0,058),$$

где  $d_0$  - влагосодержание дутьевого воздуха, г/кг сухого воздуха

$$d_y'' = \frac{0,0006382 + 0,004 \alpha_{yx}}{0,199 + \alpha_{yx}} \times \exp(0,62 t_y''),$$

где  $t_y''$  - температура уходящих продуктов сгорания на выходе из теплоутилизатора, °С.

По величине  $\Delta W_w^{no}$  рассчитывается абсолютное количество конденсата  $\Delta W_w$ , которое может быть получено при охлаждении продуктов сгорания, образующихся при сжигании 1 м<sup>3</sup> природного газа. Например, при  $\alpha_{yx} = 1,3$ ;  $t_y'' = 40^\circ\text{C}$ ;  $d_0 = 0,01$  кг/кг сухого воздуха получаем:  $d_y' = 0,1053$  кг/кг сухого газа;  $d_y'' = 0,0465$  кг/кг сухого газа;  $\Delta W_w^n = 0,10334$ . В этом случае при сжигании 1 м<sup>3</sup> п

риродного газа с теплотой сгорания  $Q_H^c = 8523$  Ккал/м<sup>3</sup> выделяется абсолютное количество конденсата  $\Delta W_w = 0,10334 \times 8000/1000 = 0,83$  кг.

Процессы теплопередачи в подобных теплообменниках, как показывают экспериментальные исследования А. Кудинова, протекают более интенсивно, чем при «сухом» теплообмене (рис. 7) [11].

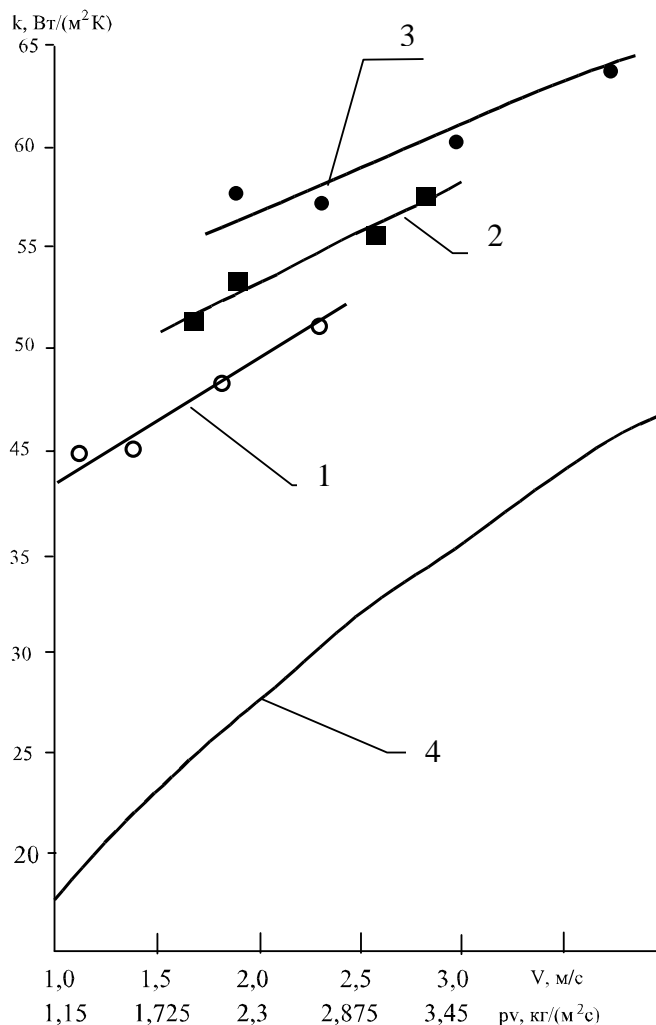


Рис. 7. Зависимость коэффициента теплопередачи  $k$  от скорости газов  $v$  и плотности орошения  $V$   
 1 –  $V = 2,28 \div 3,57 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ ; 2 –  $V = 2,83 \div 3,67 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ ; 3 –  $V = 3,19 \div 4,03 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ ; 4 - для воздуха («сухой» теплообмен)

Для определения конструктивных размеров конденсационного теплообменника-утилизатора можно использовать следующее соотношение [11]:

$$Nu = 4,55 Re^{0,315} K^{0,388} Pr^{0,67}.$$

При вычислении критериев подобия за определяющий линейный размер принят внешний диаметр трубы, а скорость потока отнесена к самому узкому поперечному сечению теплообменника (канала). Определяющей температурой является средняя температура продуктов сгорания. Введение критерия орошения  $K = VD/\mu$  позволяет установить зависимость безразмерного коэффициента теплоотдачи  $Nu = \alpha D/\lambda$  от плотности орошения  $V$ , связанной со степенью охлаждения уходящих продуктов сгорания в конденсационном теплоутилизаторе поверхностного типа.

Пример применения конденсационного теплообменника для повышения эффективности использования природного газа в котельных установках показан на рис. 8 [11].

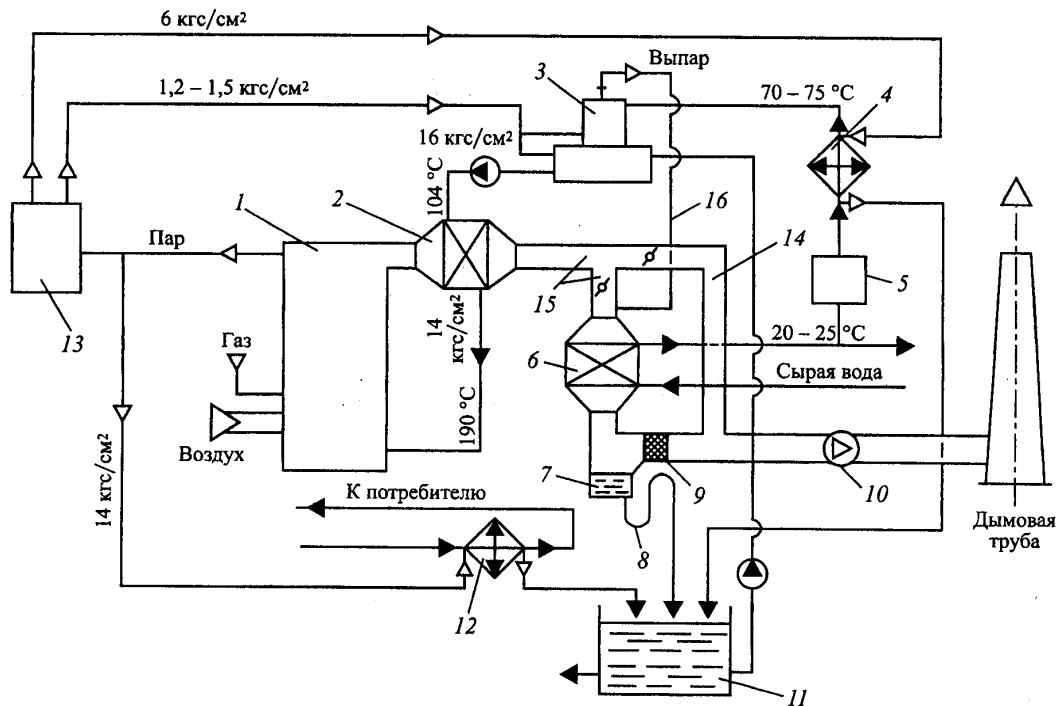


Рис. 8. Пример применения контактного теплообменника для повышения эффективности использования топлива в котельной установке

Продукты сгорания природного газа после котла 1 проходят водяной экономайзер 2, охлаждаются до температуры 135-150 °С и затем разделяются на два потока. Приблизительно 70-80% газов направляется по главному газоходу 15 и поступает в конденсационный теплоутилизатор 6 поверхностного типа, остальная — в байпасный газоход 14. В теплоутилизаторе 6 продукты сгорания охлаждаются сырой водой до 35-40 °С, при этом происходит конденсация части содержащихся в них водяных паров, что позволяет полезно использовать как физическую теплоту дымовых газов, так и скрытую теплоту конденсации части содержащихся в них водяных паров. Охлажденные продукты сгорания после каплеотделителя 9 смешиваются с проходящими по байпасному газоходу 14 неохлажденными продуктами сгорания и при температуре 65-70 °С отводятся дымососом 10 через дымовую трубу в атмосферу. Подогретая в конденсационном теплоутилизаторе 6 вода последовательно проходит через систему химводоочистки 5, кожухотрубный теплообменник 4, термический деаэратор 3, водяной экономайзер 2 и подается на подпитку в паровой котел 1.

Вырабатываемый в котле 1 пар может поступать в кожухотрубный теплообменник 12, где в процессе теплообмена конденсируется, а конденсат отводится в сборный конденсатный бак 11. Часть пара направляется в редукционную установку 13 и после понижения давления подается в кожухотрубный теплообменник 4 для подогрева химически очищенной воды, а также в деаэратор 3 для деаэрации подпиточной воды и конденсата, поступающего из бака 11. Подача по трубопроводу 16 выпара деаэратора 3 в основной газоход 15 к теплообменнику-утилизатору 6 позволяет дополнительно интенсифицировать теплообмен за счет конденсации выпара и орошения поверхности теплообменника. Через гидравлический затвор 8 выпар совместно с конденсатом продуктов сгорания поступает в сборник 7 и отводится в сборный конденсатный бак 11.

Суммарная экономия энергии определяется снижением температуры уходящих газов  $Q_{уя}$ , конденсацией из них водяных паров  $Q_{ус}$ , утилизацией теплоты выпара деаэратора  $Q_{в}$ , а также использованием теплоты образовавшегося конденсата для подогрева, например, химочищенной воды на подпитку котла. Известно, что при утилизации теплоты уходящих из промышленных аппаратов парогазовых смесей в рекуперативных теплообменниках-утилизаторах интенсивность теплопередачи невелика из-за незначительных коэффициентов теплоотдачи со стороны парогазовых потоков. Коэффициент теплоотдачи от газов к воде в контактном теплообменнике и от газов к поверхности нагрева в конденсационном поверхностном теплообменнике существенно выше (при прочих равных условиях), чем при «сухом», то есть чисто конвективном теплообмене. Учитывая последнее, представляют интерес теплопередающие аппараты поверхностного типа, в которых для интенсификации теплоотдачи со стороны парогазовой среды используют распыление жидкости. Такие аппараты называют контактными теплообменниками с активной насадкой (КТАН) [12]. Принципиальная схема КТАН показана на рис. 9 [13].

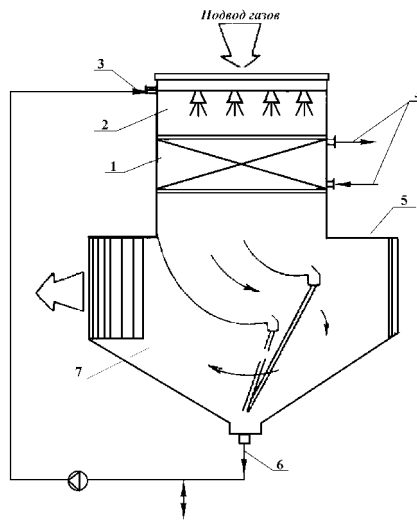


Рис. 9. Принципиальная схема КТАНа-утилизатора:

1 - активная насадка; 2 - орошающая камера; 3 - подвод орошающей воды; 4 - подвод и отвод нагреваемой воды; 5 - корпус; 6 - отвод орошающей воды; 7 - сепарирующее устройство.

Дымовые газы поступают в установку сверху, проходят камеру орошения, активную насадку, представляющую собой, как правило, трубчатый рекуперативный теплообменник сепаратор и отводятся в атмосферу. Нагреваемая вода проходит активную насадку противотоком.

Установка контактных теплообменников с активной насадкой на газоходах котельных позволяет за счет снижения температуры дымовых газов и за счет теплоты конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах, повысить эффективность использования природного газа на 8÷12%. Утилизированное тепло используется для нагрева воды с температурой от 5 до 50° С для различных нужд.

Контактные теплообменники с активной насадкой (КТАН) имеют определенную универсальность: их можно использовать в качестве утилизатора за котлами, промышленными печами и сушилками для утилизации теплоты парогазовых потоков, а также в качестве подогревателя воздуха при воздушном отоплении промышленных корпусов в системах отопления и вентиляции.

Одновременно с процессами теплообмена в КТАН происходит очистка дымовых газов от вредных соединений, содержащихся в них, с возможным получением продукта, используемого в дальнейшем для народнохозяйственных нужд.

Украинским отделением ВНИПИэнергопрома и Гидрополимером с целью эффективного использования теплоты обратной воды тепловой сети при одновременном обеспечении высокой эксплуатационной надежности оборудования разработан утилизационный отопительно-вентиляционный агрегат (УОВА) (рис. 10.), который предназначен для тепловлажностной обработки приточного воздуха систем вентиляции [13].

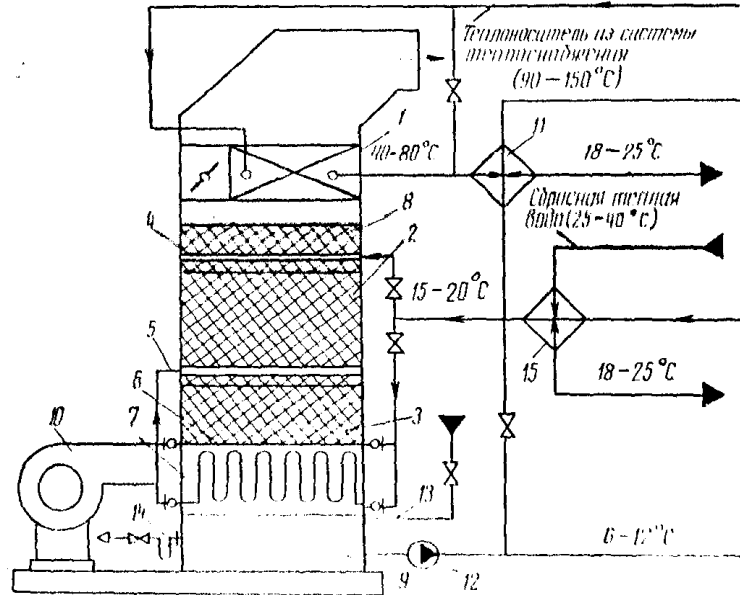


Рис. 10. Схема утилизационного отопительно-вентиляционного агрегата.

Отопительно-вентиляционный агрегат состоит из калорифера 1, насадочной контактной камеры, разделенной на ступени промежуточного 2 и предварительного 3 нагрева, водораспределителя 5, установленного между ступенями 2 и 3. Агрегат имеет систему защиты от обмерзания, состоящую из обогреваемой опорной решетки 6, насадки ступени предварительного нагрева 3, греющей рубашки 7 нижней части ступени 3, каплеуловителя 8, поддона 9, вентилятора с электродвигателем 10, промежуточного поверхностного теплообменника 11, циркуляционного насоса 12 с регулировочным клапаном 13 и линию 14 для подачи воды в градирню.

Отопительно-вентиляционный агрегат работает как в зимнее время, так и в летнее. Изменение состояния воздуха в зимнее время показано в *H-d* диаграмме влажного воздуха (рис.11) Наружный воздух с отрицательной температурой  $t_{нв}$  подается вентилятором 10 под насадку ступени 3 предварительного нагрева. В насадке он контактирует с водой, подаваемой через дополнительный водораспределитель 5, и водой, стекающей с насадки 2 промежуточного нагрева. При этом воздух нагревается и увлажняется практически до полного насыщения, достигая относительной влажности  $\varphi \approx 90\%$ . Дальнейшее увлажнение до параметров точки К происходит в насадке ступени 2 промежуточного нагрева при контактировании с водой, подаваемой через водораспределитель 4. После прохождения через каплеуловитель 8 воздух подогревается до требуемой температуры в калорифере 1 и подается в систему приточной вентиляции (точка В).

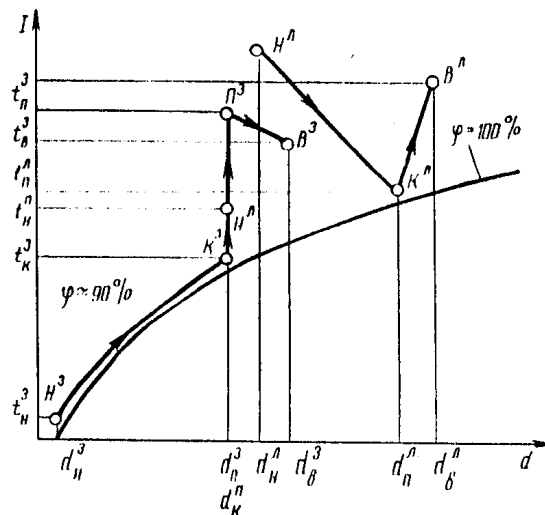


Рис.11. Диаграмма процессов обработки воздуха в УОВА

Нагретая охлаждающая вода, поступающая из производственных цехов от охлаждения оборудования, разделяется на два потока: первый поступает в водораспределитель 5, и, отдавая тепло холодному воздуху в насадке 3, стекает в поддон 9, а второй — направляется в теплообменник 11, где подогревается обратной водой и направляется в водораспределитель 4.

Охлажденная вода из поддона 9 циркуляционным насосом 12 подается в нагревательный тракт промежуточных поверхностных теплообменников 11 и 15. Затем основная часть нагретой воды направляется через водораспределитель 4 на насадку 2 контактной камеры, остальная часть – в систему защиты от обмерзания (на подключенные параллельно обогреваемую опорную решетку 6 и греющую рубашку 7) и далее, через дополнительный водораспределитель 5 – на насадку 3.

Теплоноситель из подающей магистрали системы теплоснабжения последовательно проходит калорифер 1 и промежуточный поверхностный теплообменник 11 циркуляционного контура агрегата и при  $20\div 30^{\circ}\text{C}$  поступает в обратную магистраль системы теплоснабжения.

Последовательная схема включения калорифера 1 и теплообменника 11 позволяет эффективно использовать потенциал подводимого теплоносителя. В охладительный тракт дополнительного промежуточного теплообменника 15 может подаваться также и сбросная теплая вода (например, из системы охлаждения технологического оборудования). Промежуточные теплообменники позволяют обеспечить качество воды циркуляционного контура агрегата, соответствующее питьевой воде, (что необходимо, учитывая подачу приточного воздуха в помещения с постоянным или временным пребыванием людей). Для глубокого охлаждения воды внешних источников теплоты промежуточные теплообменники включаются по противоточной схеме.

При положительных температурах наружного воздуха система защиты от обмерзания отключается, и вся вода после нагревательного тракта промежуточных теплообменников 11 и 15 подается на водораспределитель 4. В переходный период, когда влагосодержание наружного воздуха  $d_n^n$  равно или превышает влагосодержание приточного воздуха  $d_p^a$ , подача воды в контактную камеру прекращается, и нагрев воздуха осуществляется только в калорифере 1.

Нагрев воздуха в контактной камере в холодное время года дает возможность поддерживать в производственных помещениях необходимую относительную влажность воздуха, т. е. обеспечивать кондиционирование воздуха. В отдельных случаях при значительных тепловыделениях и малых влаговыведениях может оказаться достаточным применение только одной контактной камеры для нагрева приточного воздуха. Тогда теплоноситель поступает в теплообменник 11, минуя калорифер, по обводной линии.

Как показывают авторы [13], в теплое время года в агрегате УОВА работает только контактная камера, куда поступает наружный воздух с параметрами  $t_n^n$ ,  $d_n^n$ , а выходит из нее с параметрами  $t_n^n$ ,  $d_n^n$ , с которыми и направляется в помещение, где достигает параметров  $t_b^n$ ,  $d_b^n$ , (рис. 11). Вода циркуляционного контура контактной камеры проходит, минуя теплообменники 11 и 15, по соответствующим обводным линиям, в воздух — по обводному воздушному каналу у калорифера, что снижает общее аэродинамическое сопротивление агрегата [13].

Оценивая энергетический эффект от использования агрегата УОВА за счет снижения температуры обратной сетевой воды, авторы разработки утверждают, что для котельной экономия топлива составляет около 0,5% на каждые  $10^{\circ}\text{C}$  снижения температуры воды в обратном трубопроводе.

При теплоснабжении от ТЭЦ снижение температуры обратной воды позволяет увеличить выработку электроэнергии на тепловом потреблении.

С понижением температуры отвода тепла до  $60^{\circ}\text{C}$  снижение на  $1^{\circ}\text{C}$  приводит к повышению удельной комбинированной выработки на 1,5 кВт·ч/ (ГДж·К).

#### 7.1.4. Тепловые насосы.

##### Тепловые насосы, их назначение и основные типы

Тепловой насос – представляет собой устройство, позволяющее передать теплоту от более холодного тепла к более нагретому за счет использования дополнительной энергии (чаще всего – механической). Применение тепловых насосов – один из важных путей утилизации теплоты вторичных энергетических ресурсов.

Известно, что теплота низкого потенциала является продуктом технической деятельности человека, причем, чем ниже ее температурный уровень, тем больше этой теплоты безвозвратно теряется, рассеиваясь в окружающей среде. Примером носителей такой теплоты может служить нагретый воздух, уходящий в атмосферу из систем вентиляции и кондиционирования, или теплые бытовые и промышленные сточные воды, имеющие температуру примерно  $20 - 40^{\circ}\text{C}$ . Очень часто единственным экономически оправданным способом утилизации теплоты таких вторичных энергетических ресурсов является применение

ние тепловых насосов. Тепловые насосы могут использовать не только теплоту, выработанную в различных технических устройствах, так и теплоту природных источников – воздуха, воды естественных водоемов, грунта.

Главное применение тепловых насосов в настоящее время – нагрев теплоносителя для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий. Однако их можно использовать и для технологических целей.

Тепловые насосы различаются прежде всего способом, который применяется для преобразования теплоты. Поскольку тепловые насосы и холодильные установки имеют одинаковый принцип действия, то типы тепловых насосов совпадают с типами холодильных установок. Применяют парокompрессионные, газокompрессионные, сорбционные, парожеткорные, термоэлектрические тепловые насосы.

Другой важный вид классификации тепловых насосов – тип источника энергии, который используется для преобразования теплоты. Это может быть электродвигатель, газовая турбина, двигатели внутреннего сгорания, механическая энергия струи пара и т.д. Часто тепловые насосы разделяют по виду рабочего агента (фреоновые, аммиачные, воздушные и др.), и типу теплоносителей, отдающих и воспринимающих теплоту (воздух-воздух, вода – воздух, вода-вода и т.д.).

Наибольшее распространение в настоящее время получили парокompрессионные тепловые насосы, использующие в качестве рабочего агента один из фреонов или их смесь. Их так много, что в литературе, если нет специальных оговорок, под словом «тепловой насос» чаще всего имеют в виду именно парокompрессионный тепловой насос.

### Принцип действия и основные характеристики тепловых насосов

Также как и холодильные машины, тепловые насосы относят к трансформаторам тепла. Принципиального различия в работе и в конструкции между ними не существует. Различается лишь назначение, и, температурный уровень получаемой теплоты. Цель холодильной машины – получение теплоты с температурой ниже уровня температуры окружающей среды, т.е. производство холода. Холод в парокompрессионной холодильной установке получается в виде охлажденного теплоносителя (рассолы, антифризы, воздух, вода) выходящего из испарителя. Цель теплового насоса – получение теплоты, которая в случае парокompрессионного теплового насоса получается в виде нагретого теплоносителя (воды, воздуха), выходящего из конденсатора.

Принцип действия парокompрессионного теплового насоса может быть проиллюстрирован при помощи рис.23, на котором изображены его схема и термодинамический цикл в диаграмме  $T-s$  («температура-энтропия»). Тепловой насос действует за счет подведенной в компрессоре механической работы. Привод компрессора может осуществляться от электрического или теплового двигателя. В компрессоре (процесс 1-2) повышается давление рабочего вещества, находящегося в парообразном состоянии от давления  $P_1$  до давления  $P_2$ . Затем в конденсаторе (процесс 2-3) при постоянном давлении происходит конденсация рабочего вещества. Получаемое при конденсации тепло передается потребителю при температуре  $T_2$ , например, нагревая воду, направляемую в систему отопления. В дросселе происходит расширение рабочего вещества до давления  $P_1$  с его частичным испарением (процесс 3-4). Далее, рабочее вещество полностью превращается в пар при температуре  $T_1$  в испарителе, где отбирается теплота от ее источника, например от нагретого вентиляционного воздуха или продуктов сгорания.

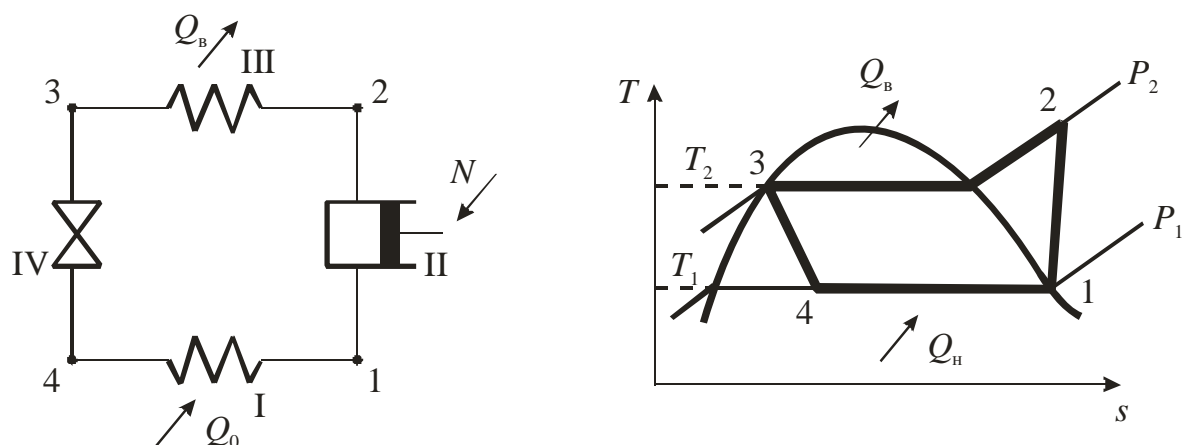


Рис.23. Схема парокompрессионного теплового насоса и его цикл в  $T-s$  – диаграмме.  
I – испаритель, II – компрессор, III – конденсатор, IV – дроссель.

Основными характеристиками теплового насоса являются – коэффициент преобразования (трансформации) тепла, термодинамический КПД, удельная стоимость, т.е. стоимость, отнесенная к теплопроизводительности теплового насоса.



Коэффициент преобразования тепла представляет собой отношение получаемой тепловой мощности к затрачиваемой мощности на привод компрессора. Он выше единицы, и существенно зависит от температуры холодного источника теплоты  $T_1$  и температуры получаемого горячего теплоносителя  $T_2$ . В результате работы теплового насоса мы можем получить примерно в 2 - 8 раз больше теплоты, чем в случае непосредственного подогрева теплоносителя в электрокалорифере.

$$\varepsilon_T = \frac{Q_B}{N} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (40)$$

Для людей, не знакомых с работой тепловых насосов, это обстоятельство кажется нарушением первого закона термодинамики. На самом деле – это не так. В данном случае мы лишь трансформируем теплоту более низкого потенциала в теплоту более высокого потенциала – т.е. другого температурного уровня. Коэффициент преобразования тепла не является коэффициентом полезного действия теплонасосной установки. Известно, что качество вида энергии зависит от его способности превращаться в другой вид энергии. Если механическая работа в идеальном процессе может быть полностью превращена в другой вид энергии, то теплота даже в идеальном процессе лишь частично превращается в механическую работу. Степень превращения теплоты в работу характеризуется работоспособностью или эксергией потока теплоты и существенно зависит от температурного уровня потока теплоты, а также от температуры окружающей среды.

Термодинамическое совершенство теплового насоса определяется его эксергетическим КПД. Он может быть вычислен следующим образом:

$$\eta_e = \frac{Q_B \cdot w}{N} \quad (41)$$

Здесь  $w$  - температурная функция или коэффициент работоспособности теплоты, определяемая как

$$w = \frac{T_2 - T_{oc}}{T_2} \quad (42)$$

Как видно, эксергетический КПД теплонасосной установки всегда меньше единицы.

Примерная зависимость коэффициента трансформации тепла от температуры представлена на рис 24. Как видно, в случае малой разности температур в испарителе и конденсаторе коэффициент трансформации может достигать больших значений. На практике при современном уровне цен на оборудование и энергоносители рекомендуют применять тепловые насосы с коэффициентом трансформации не ниже 2,5.

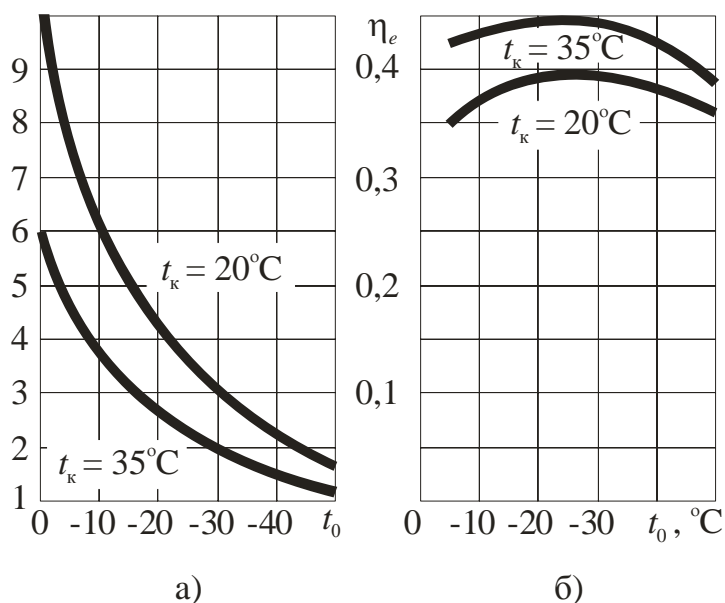


Рис.24. Зависимость холодильного коэффициента (а) и эксергетического КПД (б) от температур конденсации и испарения.

Удельная стоимость тепловых насосов, выпускаемых в России по данным [9] для мощностей от 100 до 10000 кВт составляет 6000-7000 рублей за киловатт установленной тепловой мощности (включая монтаж). Стоимость тепловых насосов, выпускаемых зарубежными фирмами несколько выше. Следует ожидать, что с увеличением числа отечественных производителей удельная стоимость тепловых насосов будет понижаться.

Характеристики теплового насоса во многом зависят от применяемого рабочего вещества. В этом качестве чаще всего применяются различные фреоны (хладоны) – галогенопроизводные предельных угле-

водородов. Используются такие фреоны, как R-22, R134a, R-407C а также озонобезопасный фреон R-142B. Применение фреона R-22 разрешено Монреальской конвенцией лишь до 2005 года. Характеристики фреонов во многом определяют коэффициент преобразования тепла и следовательно, экономичность теплового насоса. Теплофизические и термодинамические свойства фреонов можно найти в [10].

### Применение тепловых насосов для энергосбережения

В промышленности и в жилищно-коммунальном хозяйстве как источник теплоты для работы тепловых насосов могут быть использованы следующие виды тепловых вторичных энергетических ресурсов:

- ◆ теплота охлаждающей воды паровых турбин тепловых и атомных электростанций, промышленных печей, компрессорных установок, аппаратов химической технологии. Часто эта вода используется повторно и направляется на охлаждение в градирни и аппараты воздушного охлаждения (АВО);
- ◆ теплота сточных вод различных промышленных предприятий и предприятий жилищно-коммунального хозяйства (бани, прачечные, бассейны);
- ◆ теплота продуктов сгорания в котельных установках и промышленных печах, а также печах по сжиганию твердых и жидких отходов;
- ◆ теплота продуктов сгорания в газотурбинных установках и дизельных двигателях;
- ◆ теплота водяных паров низкого давления, выбрасываемых в атмосферу (выпар);
- ◆ теплота отработанного сушильного агента в сушильных установках;
- ◆ теплота горячих растворов в выпарных и ректификационных установках;
- ◆ теплота масла, используемого в турбинах электростанций и в электрических трансформаторах;
- ◆ теплота воздуха, уходящего из систем вентиляции и кондиционирования воздуха жилых, общественных и промышленных зданий;
- ◆ теплота вытяжного воздуха станций метрополитена и воздуха каналов метро.

Для работы тепловых насосов могут быть использованы также следующие природные источники теплоты:

- ◆ теплота наружного воздуха (при положительных температурах);
- ◆ вода естественных и искусственных водоемов (рек, озер, морей);
- ◆ тепло геотермальных источников;
- ◆ теплота грунта, которую получают при помощи специальных трубчатых теплообменников;
- ◆ теплота подземных вод;
- ◆ тепло, получаемое в результате использования солнечной энергии.

Низкопотенциальную теплоту вторичных энергетических ресурсов можно использовать напрямую при помощи теплообменных аппаратов, например, для подогрева приточного вентиляционного воздуха, предварительного подогрева воздуха, направляемого в топочные устройства, подогрева сушильного агента в установках для сушки материалов и т.д., однако далеко не всегда это осуществимо на практике.

Теплота повышенного потенциала, получаемая в тепловых насосах, имеет более широкие области использования. Кроме указанных областей потребления она может использоваться также на отопление, горячее водоснабжение, подогрев технологических газов и жидкостей в аппаратах химической технологии, выпарных, перегонных и ректификационных установках, в процессах варки, при рекомпрессии пара.

Наиболее целесообразно применять ТН в следующих случаях:

- ◆ имеется стабильный во времени источник теплоты с температурой 10-50°C.
- ◆ есть потребитель теплоты с температурой 60 – 120°C. Во многих случаях именно отсутствие потребителя теплоты затрудняет применение тепловых насосов.
- ◆ имеется источник недорогой электрической энергии при дефиците тепла.
- ◆ если разница между температурами источника и потребителя – невелика. В этом случае тепловой насос имеет большой коэффициент преобразования.
- ◆ если источником теплоты является горячая вода или конденсирующийся пар или парогазовая смесь. Эти теплоносители, в отличие от воздуха, имеют высокий коэффициент теплоотдачи, что обеспечивает малые габариты испарителя теплового насоса.
- ◆ если необходима одновременная выработка теплоты и холода. Например, охлаждение молочных продуктов и отопление цеха.
- ◆ если в летнее время тепловой насос можно использовать в системе кондиционирования, а в зимнее – в системе отопления.

Рассмотрим некоторые схемы, в которых могут быть использованы тепловые насосы.

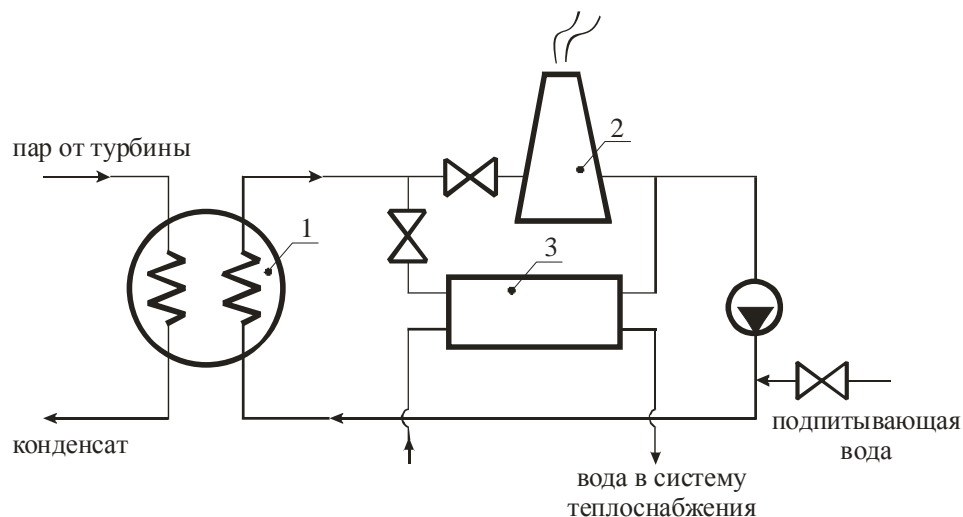


Рис.25. Применение теплового насоса для утилизации тепла оборотной воды тепловой электростанции.

На рис.25 представлено использование теплового насоса для охлаждения оборотной воды, охлаждающей конденсатор паровой турбины тепловой электростанции. Для охлаждения оборотной воды обычно применяются градирни. Температура воды, поступающей из конденсатора в испаритель теплового насоса может составлять в зависимости от сезона от 20 до 35°С, что позволяет получать высокий коэффициент преобразования и короткий срок окупаемости. Применение теплового насоса позволяет снизить затраты воды, поступающей на подпитку системы водоснабжения, улучшить экологическую обстановку вблизи градирни. Уменьшение температуры воды, поступающей в конденсатор за счет более глубокого ее охлаждения позволяет увеличить КПД станции.

На рис.26 представлено использование теплового насоса для утилизации тепла вентиляционных выбросов промышленного предприятия. Наличие вредных веществ, паров жидкостей или твердых частиц в вентиляционных выбросах делают невозможным применение рециркуляции вытяжного воздуха. Использование теплового насоса в такой схеме позволяет отказаться от традиционного в таких случаях использования теплообменников-утилизаторов. Теплоты, вырабатываемой насосом обычно оказывается достаточно для подогрева воды, обеспечивающей работу калориферов, нагревающих приточный воздух.

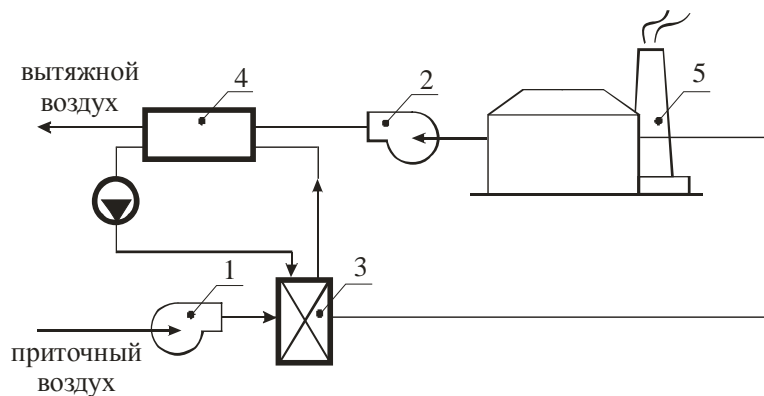


Рис.26. Применение теплового насоса для подогрева приточного воздуха в системе вентиляции.

1, 2 – вентиляторы, 3 – подогреватель воздуха, 4 - тепловой насос, 5 – промышленное здание.

Часто источником для работы теплового насоса являются сточные воды промышленного предприятия. Обычно эти воды кроме растворенных или взвешенных примесей имеют еще и высокую температуру. Перед сливом в промышленную канализацию эти воды должны быть предварительно охлаждены, чтобы не оказать вредного воздействия на систему биологической очистки. Тепловой насос не только охлаждает сточные воды, но и нагревает теплоноситель для системы теплоснабжения.

Применение газотурбинных установок для выработки электроэнергии (рис.27) дает возможность использовать тепловые насосы как для охлаждения уходящих продуктов сгорания (при этом часть тепла целесообразно использовать в котлах-утилизаторах или рекуперативных теплообменниках), так и для понижения температуры теплоносителя, обеспечивающего промежуточное охлаждение ступеней компрессора. Промежуточное охлаждение ступеней компрессора увеличивает КПД газотурбинной установки и существенно уменьшает выброс в атмосферу окислов азота. Сама газотурбинная установка может служить как источник электрической или механической энергии для теплового насоса. Газотурбинные уста-

новки широко применяются не только для выработки электроэнергии. Чаще их используют перекачки газа по магистральным газопроводам, однако применение тепловых насосов на газоперекачивающих агрегатах затруднено, поскольку они обычно располагаются вдали от потребителей теплоты.

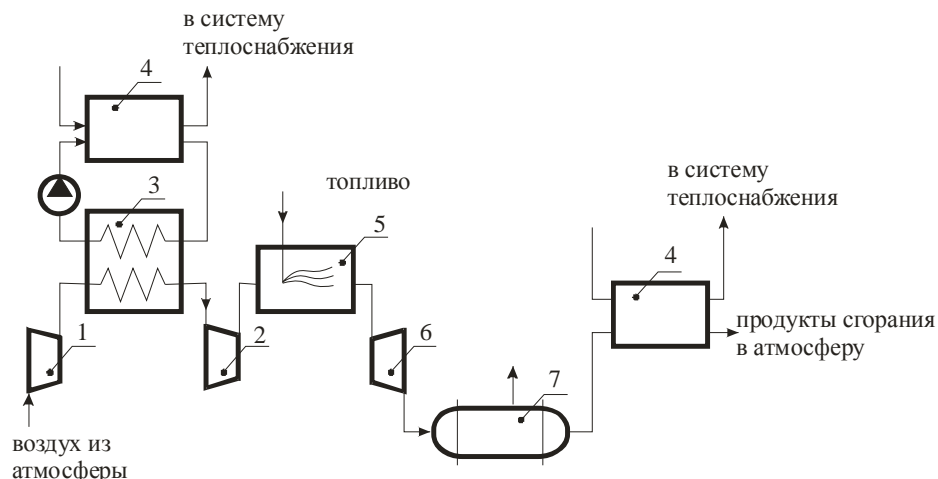


Рис.27. Применение теплового насоса совместно с газотурбинной установкой.

1, 2 – ступени сжатия воздуха в компрессоре, 3 – промежуточный водовоздушный теплообменник, 4 – тепловые насосы, 5 – камера сгорания, 6 – газовая турбина, 7 – котел-утилизатор.

Особо следует разобрать случаи, когда применение тепловых насосов не оправдано.

1. В качестве источника теплоты для работы нецелесообразно применять теплоту специально сжигаемого для этих целей топлива, даже в том случае, если это топливо является очень дешевым. Температура дымовых газов и так достаточна для того, чтобы непосредственно нагревать теплоноситель в котельной установке. При работе же теплового насоса, полученная потребителем теплота (без учета потерь) будет равна сумме полученной теплоты от продуктов сгорания и работы, затрачиваемой на привод компрессора. В этом случае она производится с КПД гораздо ниже единицы. Это вовсе не означает того, что теплота продуктов сгорания не может быть использована в тепловых насосах, однако целесообразно использовать ее в тех случаях, когда основная ее часть уже затрачена на непосредственный нагрев теплоносителя и продукты сгорания существенно охлаждены.
2. Источником теплоты для теплового насоса не следует брать «обратную» воду систем теплоснабжения, отдавшую теплоту в отопительных приборах. Это связано с тем, что вода из системы теплоснабжения непосредственно нагревается за счет первичного топлива и потребитель теплоты несет двойные затраты: он оплачивает стоимость топлива и стоимость электрической энергии на привод компрессора.
3. При использовании в качестве источника теплоты воздуха окружающей среды следует иметь в виду, что существует порог температуры кипения рабочего агента и соответствующей температуры наружного воздуха, когда работа теплового насоса становится невозможной. Значение этой температуры определяется типом применяемого рабочего агента и давлением в испарителе теплового насоса. Таким образом, при низких температурах воздуха работа таких тепловых насосов становится сначала неэкономичной (вследствие уменьшения коэффициента преобразования), а затем физически невозможной.

Достоинства тепловых насосов широко известны: это возможность существенной экономии топлива, экологическая чистота (при работе тепловых насосов не сжигается топливо), возможность работать как в централизованных так и нецентрализованных системах теплоснабжения и др. Про недостатки тепловых насосов упоминают реже, поэтому остановимся на них подробнее.

1. Источники вторичных энергоресурсов не всегда стабильны во времени и их теплопроизводительность не всегда достаточна для того чтобы обеспечить теплотой потребителя в холодный период года. Поэтому в системах теплоснабжения для надежной работы кроме теплового насоса необходим дополнительный источник теплоты.
2. Шум от компрессоров тепловых насосов затрудняет их применение в жилых и общественных зданиях, особенно в тех случаях, когда применяются тепловые насосы большой мощности.
3. Фреоны, используемые как рабочее тело, достаточно дороги. При разгерметизации контура теплового насоса и при проведении ремонтных работ их приходится менять и потребитель несет дополнительные затраты.
4. На настоящий момент стоимость тепловых насосов высока и срок их окупаемости при нынешних ценах на энергоносители (около 280 руб. за Гкал теплоты и 60 копеек за кВт/ч электроэнергии) может быть большим.

## Масштабы и перспективы применения тепловых насосов в России и в мире

Широкое применение тепловых насосов в мире началась в 20-30-е годы прошлого столетия. Первый тепловой насос для теплоснабжения здания был испытан в Англии в 1930 году. Первая крупная теплонасосная установка в Европе была введена в действие в Швейцарии в 1939 году. Она использовала теплоту речной воды и имела мощность 175 кВт.

Сильный толчок к использованию тепловых насосов в системах отопления дал энергетический кризис начала 70 годов прошлого века, во время которого существенно увеличились цены на топливо. В 1993 году общее количество теплонасосных установок, работающих в развитых странах превысило 12 млн., а ежегодный выпуск составлял более 1 млн. В настоящее время только в Японии выпускается 3 млн. тепловых насосов в год и 1 млн. насосов выпускается в США. Правда, при этом следует иметь в виду, что значительную часть из них составляют кондиционеры, которые могут работать в режиме теплового насоса в переходный период года. В подавляющем большинстве случаев тепловые насосы применяются совместно с дополнительным нагревателем (электрическим или на органическом топливе), который компенсирует недостаток теплопроизводительности теплового насоса в холодный период или при временном отключении источника теплоты.

Многие государства дотируют применение тепловых насосов, устанавливая льготный тариф на электроэнергию для предприятий, которые их применяют, либо предоставляя им льготы по налогообложению. При этом государство получает определенные выгоды: уменьшается его зависимость от внешних поставок топлива, улучшается экологическая ситуация в стране, поддерживаются отечественные производители высокотехнологичного оборудования.

По прогнозу Мирового энергетического комитета к 2020 г. в передовых странах доля теплоснабжения с помощью тепловых насосов составит до 75 %.

За рубежом лидерами в производстве тепловых насосов являются: «Carrier», «Lennox», «Вестингауз», «Дженерал электрик» (США), «Hitachi», «Daikin» (Япония), «Sulzer» (Швейцария), «Klimatechnik» (Германия). Многие из них представлены и на российском рынке, в первую очередь как производители местных кондиционеров, способных работать в режиме теплового насоса в переходное время года и тепловых насосов малой теплопроизводительности (5-15 кВт), совмещенных с огневой системой отопления.

В России тепловые насосы используются существенно меньше, чем в США, странах Европы и Японии. Такое состояние дел сложилось исторически. Применению тепловых насосов в СССР препятствовали низкие цены на топливо, а также ориентация на централизованное теплоснабжение. Более холодный климат нашей страны не дает возможности также широко, как на Западе использовать природные источники тепла и требует наличия дополнительных котельных, которые должны работать вместе с тепловыми насосами и обеспечивать потребителя теплом при низких температурах наружного воздуха.

В настоящее время, с ростом цен на топливо, ситуация существенно меняется. Способствует применению тепловых насосов и рост стоимости строительства ТЭЦ и котельных, прокладки и ремонта тепловых сетей.

Приведем примерный расчет срока окупаемости теплового насоса в условиях России. При этом будем принимать во внимание капитальные затраты, затраты электрической энергии на привод компрессора и стоимость получаемой тепловой энергии. Затраты энергии на привод насосов, прокачивающих теплоноситель, затраты на обслуживание и ремонт теплового насоса, а также инфляцию учитывать не будем.

Стоимость изготовления и монтажа теплового насоса тепловой производительностью  $Q = 1000$  кВт (или 0.859 Гкал / час) при стоимости одного киловатта установленной тепловой мощности с учетом монтажа 6000 руб. за 1 кВт составит:

$$СК = 6000 \cdot Q = 6,0 \text{ млн.руб.} \quad (43)$$

Допустим, что коэффициент преобразования тепла для условий работы рассматриваемого теплового насоса равен 4.

Электрическая мощность, получаемая за счет теплового насоса составит при этом

$$N = \frac{1000}{\varepsilon} = 250 \text{ кВт.} \quad (44)$$

При цене 1 Гкал теплоты – 280 руб. за Гкал., стоимость тепловой энергии, получаемой тепловым насосом за год при безостановочной круглогодичной работе составит

$$СТ = Q \cdot 250 \cdot 24 \cdot 365 = 2,107 \text{ млн. руб./год.} \quad (45)$$

Примем цену электрической энергии, затрачиваемой на привод компрессора – 62 коп. за 1 кВт ч. и рассчитаем стоимость электрической энергии, затраченной на работы насоса за год

$$СЭ = N \cdot 0,62 \cdot 24 \cdot 365 = 1,358 \text{ млн. руб./год.} \quad (46)$$

Примерный срок окупаемости в нашем случае составит:

$$T = \frac{СК}{СТ - СЭ} = 8,01 \text{ лет.} \quad (47)$$

Учет ночного тарифа на электроэнергию приводит к уменьшению общих затрат на электрическую энергию. Не учтены в расчете также инфляция и рост стоимости энергетических ресурсов в течение срока окупаемости.

При проведении подобных расчетов следует иметь в виду, что цена на энергоресурсы в России постоянно растет. В ближайшее время применение насосов станет более выгодным.

Наиболее известный отечественный производитель тепловых насосов – ООО «Энергия» г.Новосибирск. Кроме этого предприятия тепловые насосы производят также заводы «Экомаш» г. Саратов и «Компрессор», г. Москва. Технические характеристики тепловых насосов, выпускаемых ЗАО «Энергия» (г. Новосибирск), приведены в табл.1 [11].

Таблица  
Технические характеристики тепловых насосов, выпускаемых ЗАО «Энергия» (г. Новосибирск)

Тип теплового насоса	НТ-500	НТ-1000	НТ-3000
Теплопроизводительность, кВт			
Вода источника 12 С	455,3	905,2	1810,5
Вода источника 25 С	685,4	1358	2716,4
Потребляемая электрическая мощность, кВт			
Вода источника 12 С	149,7	297,3	596,4
Вода источника 25 С	161,4	315	630
Исполнение	Моноблочное	Раздельное	Раздельное
Габаритные размеры, мм Агрегата компрессорного Агрегата испарительно-конденсаторного	4100×2300×2400	4100×1740×2290	45200×1900×3000
		3800×1560×2600	5550×1885×2930
Общая масса, кг	9700	13000	24000

В заключение следует отметить, что применение тепловых насосов в России будет неизбежно расширяться как для целей теплоснабжения, так и в энергетике и промышленных технологиях с неизбежным расширением их производства и научных исследований в этой области (разработка новых схем утилизации теплоты, способов интенсификации теплообмена, создание новых рабочих тел и т.д.).

### 7.1.5. Способы утилизации теплоты в системах вентиляции и кондиционирования воздуха

Остановимся подробнее на некоторых из мероприятий, связанных с утилизацией теплоты вторичных энергоресурсов. Применительно к системам вентиляции и кондиционирования воздуха рассмотрим способы утилизации теплоты вентиляционных выбросов.

Утилизация теплоты вентиляционных выбросов может осуществляться следующими способами:

- ◆ рециркуляцией части вытяжного воздуха;
- ◆ применением рекуперативных теплообменников-утилизаторов;
- ◆ применением регенеративных теплообменников-утилизаторов;
- ◆ применением двух рекуперативных теплообменников, использующих промежуточный теплоноситель;
- ◆ применением теплоснабжающих труб.

#### Применение рециркуляции вытяжного воздуха с целью энергосбережения в центральной системе кондиционирования воздуха

Назначение ЦСКВ – создание и поддержание нормируемой чистоты и метеорологических условий воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещений. Воздух внутри помещения должен иметь параметры микроклимата в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами. Эти нормы регламентируются СНиП 2.04.05.-91\* и не могут быть заданы произвольно. Нормируемые параметры, температура  $t_b$  и относительная влажность воздуха  $\phi_b$ , называются расчетными параметрами внутреннего воздуха. Температура и относительная влажность наружного воздуха могут изменяться, это влияет на теплопотребление системой кондиционирования.

Установка ЦСКВ представлена на рис.17, а схема – на рис.18. Установка представлена двумя вентиляторами приточной (7) и вытяжной вентиляции (1). Приточно-вытяжной блок обеспечивает смешение двух потоков воздуха и регулирование расходов свежего наружного воздуха ( $L_n$ ), отработанного воздуха, направляемого на смешение со свежим ( $L_p$ ), и воздуха, удаляемого наружу. Воздух проходит очистку фильтром (4) и подогревается в калорифере 1-ой ступени (5). Подогрев воздуха осуществляется горячей водой, циркулирующей в трубках калорифера. Увлажнение воздуха в холодный период года проис-

ходит в сотовом увлажнителе (6). Окончательная доводка воздуха до требуемых кондиций (температуры и относительной влажности) происходит в калорифере блока воздушонагревателя второй ступени (6).

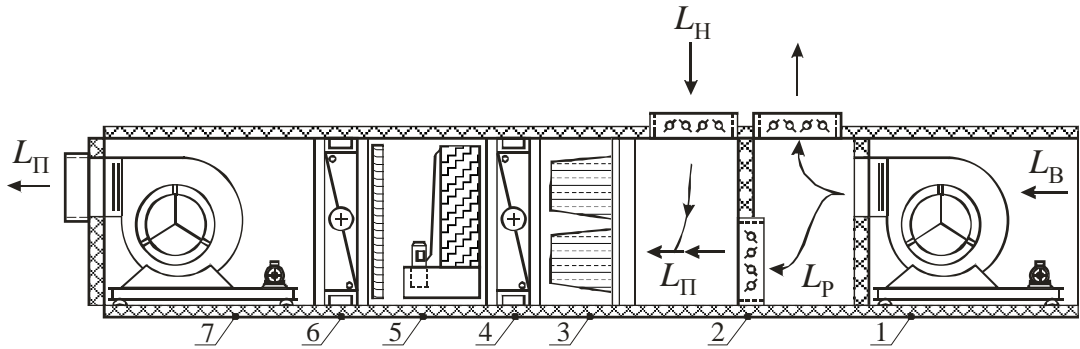


Рис.17. Установка центральной системы кондиционирования воздуха

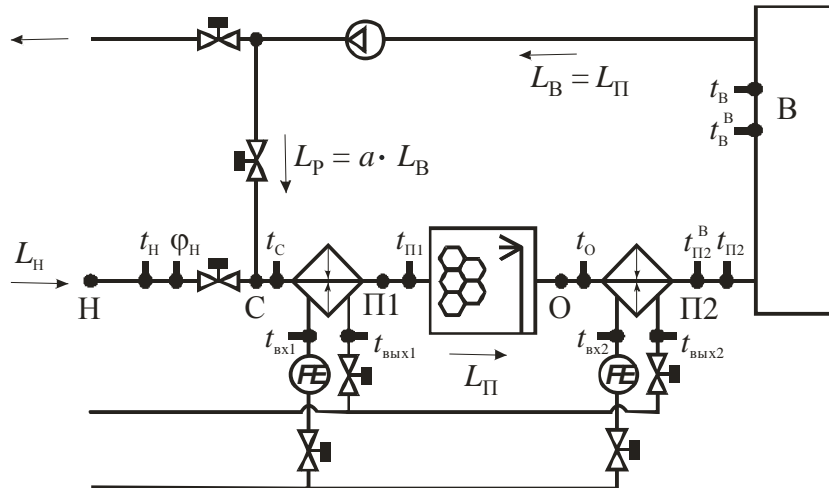


Рис.18. Схема центральной установки кондиционирования воздуха.

На рис.2 обозначены следующие параметры влажного воздуха:  $t_n$  - температура наружного воздуха, °С;  $\varphi_n$  – относительная влажность наружного воздуха, %;  $t_c$  – температура воздуха после смешения двух потоков (если степень рециркуляции равна 0, то она совпадает с  $t_n$ ), °С;  $t_{\Pi 1}$ -температура воздуха после подогревателя первой ступени, °С;  $t_0$ -температура воздуха после увлажнителя, °С;  $t_{\Pi 2}$  и  $t_{\Pi 2}^B$  – температуры воздуха после подогревателя второй ступени (параметры приточного воздуха) по сухому и влажному термометрам, соответственно, °С;  $t_B$  и  $t_B^B$  – температуры воздуха в обслуживаемом помещении по сухому и влажному термометрам, соответственно, °С;  $G_n = \rho_n L_n$  – массовый расход приточного воздуха, (кг/с);  $G_B$  – массовый расход горячей воды в калорифере первой ступени подогрева воздуха, (кг/с);  $G_p$  – массовый расход рециркулирующего воздуха, (кг/с);  $t_{\text{вх}1}$  и  $t_{\text{вых}1}$  - температуры воды на входе и на выходе из калорифера.

Процессы тепловлажностной обработки воздуха принято представлять в  $H-d$  диаграмме. Для нанесения на диаграмму точки, соответствующей его состоянию, надо знать два из следующих четырех параметров: температура  $t$  (°С), относительная влажность  $\varphi$  (%), абсолютное влагосодержание  $d$  (г/кг сух. возд.) и энтальпия  $H$  (кДж/кг К). На диаграмме эти параметры представлены линиями, вдоль которых соответствующий параметр остается постоянным.

Положение точки, отвечающей текущему состоянию воздуха, можно определить также, зная закономерности протекания и изображения процессов обработки воздуха на диаграмме. Так процессы нагрева (или охлаждения) воздуха в рекуперативных теплообменниках осуществляются при постоянном влагосодержании  $d$ . На диаграмме такие процессы изображаются отрезками линии  $d = \text{const}$ , границы которого соответствуют начальному и конечному состоянию воздуха. К таким процессам относятся процессы нагрева воздуха в подогревателях первой и второй ступени. Процесс увлажнения воздуха происходит при постоянной энтальпии (адиабатное увлажнение) и изображается на диаграмме отрезком линии постоянной энтальпии ( $H = \text{const}$ ). В конце процесса адиабатного увлажнения относительная влажность воздуха находится в пределах 90-95% (теоретическое значение 100%).

Процесс обработки воздуха представлены на рис.18. На диаграмме изображены следующие процессы обработки воздуха в приточной системе кондиционирования воздуха: Н-П1 – процесс нагрева воздуха в подогревателе первой ступени, П1-О – процесс увлажнения воздуха в сотовом увлажнителе, О-П2 –

процесс нагрева воздуха в подогревателе второй ступени, П2-В – процесс политропного нагрева и увлажнения воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне.

Для работы установки кондиционирования воздуха необходимы источники тепла (нагрев воздуха) и воды для увлажнения. Для перемещения воздуха в результате работы вентиляторов установка нуждается в подаче электропитания. Нагретый до нужной температуры наружный воздух подается в обслуживаемую или рабочую зону, где его состояние изменяется в результате политропного процесса, в котором воздух нагревается из-за избытка тепла в помещении или охлаждается, если тепловой баланс помещения отрицателен. Одновременно изменяется в ту или иную сторону и влагосодержание воздуха, в зависимости от баланса влаги в помещении. Далее, отработанный воздух вытяжным вентилятором удаляется наружу. Такая схема работы ЦСКВ называется прямоточной. С удаляемым воздухом наружу выбрасывается и тепло, поэтому такая схема неэкономична и расточительна с точки зрения энергосбережения. Для того, чтобы использовать теплоту вентиляционных выбросов применяют различные методы. Одним из таких методов является рециркуляция.

Рециркуляцией называется частичная подача отработанного вытяжного воздуха, имеющего объемный расход  $L_p$ , в приточно-вытяжной блок (2) для смешения его со свежим воздухом, поступающим снаружи и имеющим расход  $L_o$ . Если степень рециркуляции ( $a = L_p/L_n$ ) равна 0, то есть  $L_p = 0$ , то такая схема ЦСКВ называется прямоточной. Расход приточного воздуха ( $L_n$ ) равен сумме расходов рециркулирующего и свежего воздуха и в результате смешения двух потоков имеет параметры (температуру и влажность) средние между параметрами смешивающихся потоков воздуха. Если степень рециркуляции  $a = L_p/L_n = 0$ , то потребности ЦСКВ в теплоте будут максимальные.

Увеличивая степень рециркуляции, можно снизить затраты теплоты на подогрев наружного воздуха и доведение его параметров до нужных кондиций – температуры  $t_{п2}$  и относительной влажности  $\varphi_{п2}$  приточного воздуха. Здесь следует отметить, что степень рециркуляции не может быть увеличена выше определенного предела. Этот предел зависит от нормирования расхода свежего приточного воздуха, регламентируемого СНиП. Параметры приточного воздуха необходимо поддерживать постоянными, независимо от изменяющихся условий наружной среды. Это можно обеспечить, изменяя степень рециркуляции или расход греющей воды в подогревателе первой ступени. При заданной степени рециркуляции нужные параметры приточного воздуха создаются в результате регулирования расхода воды в подогревателе, считая, что температура воды на входе в калорифер-подогреватель и в обратной линии поддерживается постоянной.

Экономия тепловой мощности наглядно демонстрируется и может быть количественно оценена с использованием  $H-d$  диаграммы. Вновь обратимся к рис.19, на котором дополнительно к процессу обработки воздуха в прямоточной системе показаны процессы при частичной рециркуляции с различной степенью. В этих случаях необходимо показать процессы смешения потоков наружного и отработанного (вытяжного) воздуха. Точка, соответствующая на диаграмме состоянию воздуха после смешения («С'» или «С''» на рис.3), принадлежит отрезку, соединяющему точки «Н» и «В». Указанные точки отвечают состояниям наружного и вытяжного воздуха. Параметры приточного воздуха после смешения могут быть вычислены по заданной степени рециркуляции. Другой путь – непосредственное измерение одного из параметров, например, температуры. Расчетные значения энтальпии и влагосодержания получаются из материального и теплового баланса.

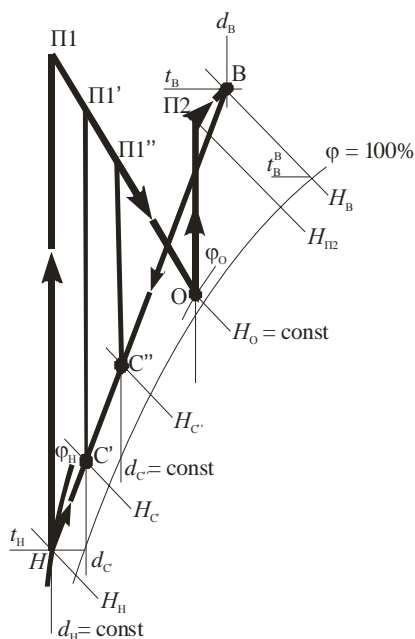


Рис.19. Процессы обработки воздуха в ЦСКВ.

$$\rho_n L_n = \rho_H L_H + \rho_B L_p \quad (12)$$

$$\rho_n L_n H_c = \rho_H L_H H_H + \rho_B L_p H_B \quad (13)$$

$$\rho_n L_n d_n = \rho_H L_H d_H + \rho_B L_p d_B \quad (14)$$

В приведенных уравнениях  $L$  – объемный расход воздуха ( $\text{м}^3/\text{с}$ ),  $H$  – энтальпия ( $\text{кДж}/\text{кг}$ ),  $d$  – влагосодержание воздуха ( $\text{г}/\text{кг}$  сух. возд.),  $\rho$  – плотность воздуха ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). Энтальпия и влагосодержание перед подогревателем первой ступени согласно (12)-(14) будут:

$$H_c = a H_B + (1 - a) H_H \quad (15)$$

$$d_c = a d_B + (1 - a) d_H \quad (16)$$

где  $a = \rho_B L_p / \rho_n L_n$  – степень рециркуляции. Из уравнения (4) следует, что

$$\frac{H_c - H_H}{H_B - H_H} = a \quad (17)$$

Расчет потребности системы кондиционирования в теплоте.

Из диаграммы следует, что для нагрева воздуха в прямоточной системе необходима тепловая мощность (кВт), равная



$$Q_{np} = \rho_n L_n (H_0 - H_n) + \rho_n L_n (H_{n2} - H_0) = \rho_n L_n (H_{n2} - H_n). \quad (18)$$

При применении такого энергосберегающего метода, как рециркуляция, необходимая для нагрева воздуха тепловая мощность (кВт) будет

$$Q_p = \rho_n L_n (H_0 - H_c) + \rho_n L_n (H_{n2} - H_0) = \rho_n L_n (H_{n2} - H_c) \quad (19)$$

Энергосберегающий эффект от применения рециркуляции составит

$$\Delta Q_{\text{Э}} = Q_{np} - Q_p = \rho_n L_n (H_c - H_n) \quad (20)$$

С учетом (15) из уравнения (18) следует, что

$$\Delta Q_{\text{Э}} = \rho_n L_n (aH_b + (1-a)H_n - H_n) = \rho_n L_n a(H_b - H_n) \quad (21)$$

Зависимости (18)-(21) получены при условии, что параметры приточного воздуха (точка «П2») поддерживаются постоянными независимо от изменяющихся внешних условий и степени рециркуляции. Это соответствует действительности, поскольку эти параметры зависят только от санитарно-гигиенических норм, предъявляемых к воздуху в рабочей зоне, и избытков тепла ( $\Delta Q$ , кВт) и влаги ( $\Delta W$ , г/с) в обслуживаемом помещении. В частности, для известных из тепловлажностных балансов помещения величин  $\Delta Q$  и  $\Delta W$  значения параметров приточного воздуха (т. «П2») рассчитываются по зависимостям:

$$H_{n2} = H_b - \frac{\Delta Q}{\rho_n L_n}, \quad d_{n2} = d_b - \frac{\Delta W}{\rho_n L_n}. \quad (22)$$

Неизменные параметры приточного воздуха при различных степенях рециркуляции можно обеспечить, изменяя количество теплоты, подводимой к воздуху в подогревателе первой ступени ( $Q_b$ ), это следует из уравнения (19):

$$Q_b = \rho_n L_n \cdot a(H_b - H_n) \cdot \left( \frac{H_0 - H_n}{a(H_b - H_n)} - 1 \right). \quad (23)$$

Эта тепловая мощность обеспечивается регулированием расхода горячей воды, который определяется из уравнения теплового баланса теплообменника первого подогрева:

$$Q_b = \rho_n L_n \cdot a(H_b - H_n) \cdot \left( \frac{H_0 - H_n}{a(H_b - H_n)} - 1 \right) = G_b C_p (t_{\text{вх}1} - t_{\text{вых}1}). \quad (24)$$

где  $G_b$ -массовый расход (кг/с) воды,  $C_p$ - теплоемкость воды,  $t_{\text{вх}1}$  и  $t_{\text{вых}1}$  - температуры на входе и на выходе из теплообменника.

Тепловые балансы для помещения, системы кондиционирования воздуха и для помещения и системы кондиционирования записываются так:

$$Q_n - Q_y + \Delta Q = 0 \quad (25)$$

$$Q_m + Q_b + \Delta Q - Q_n - Q_y = 0 \quad (26)$$

$$Q_b = Q_y - \Delta Q - Q_n \quad (27)$$

Уравнение (27) получено при совместном рассмотрении (25)-(26). Составляющие теплового баланса (27) следующие:

$$Q_b = G(H_{n2} - H_c), \quad Q_y = G(1-a)H_b, \quad Q_n = G(1-a)H_n, \quad \Delta Q = G(H_b - H_{n2}).$$

С учетом (6) коэффициент полезного действия установки кондиционирования воздуха можно определить по формуле:

$$\eta = \frac{H_b - H_{n2}}{H_{n2} - H_c} \quad (28)$$

Зависимость (18) показывает, что минимальный коэффициент полезного действия или показатель энергетической эффективности СКВ будет при  $a = 0$  ( $H_c = H_n$ ), то есть для приточной системы. С ростом степени рециркуляции растет разность энтальпий ( $H_c - H_n$ ), и, следовательно, такой показатель энергетической эффективности, как КПД установки.

Расчеты энергосберегающего эффекта и затрат тепловой мощности по нагреву воздуха в подогревателе первой ступени проводятся по формулам (21) и (23). Баланс теплообменника-подогревателя первой ступени проверяется по соотношению (24), а баланс установки в целом – по соотношению (27). Полученные результаты позволяют рассчитать КПД установки по соотношению (28).

### Применение теплообменников-утилизаторов в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

Рециркуляция представляет собой наиболее доступный и дешевый способ утилизации теплоты вытяжного воздуха, но степень рециркуляции, как отмечалось выше, ограничена в силу требований к чистоте приточного воздуха. Объемный расход рециркуляционного воздуха ограничен соотношением  $L_p \leq L_n -$

$L_n^{\text{мин}}$ , в котором  $L_n^{\text{мин}}$  – минимальный расход свежего наружного воздуха, величина которого определяется санитарно-гигиеническими нормами.

Естественное желание использовать теплоту вытяжного воздуха с наибольшей пользой в этой ситуации требует разделения потоков приточного и вытяжного воздуха в теплоутилизирующем устройстве. Это реализуется при применении рекуперативных (рис.20,а) и регенеративных теплообменников – утилизаторов (рис.20, б) или двух теплообменников с промежуточным теплоносителем (рис.20, в). Принципиальные схемы систем вентиляции, в которых применены указанные способы утилизации теплоты, приведены на рис.20.

Рис.20 (а) и (б) используется, когда приточный и вытяжной воздуховоды могут быть сведены в одном месте (в месте установки теплообменника-утилизатора). Применение воздухо-воздушного теплообменника (рис.20 а) представляет самое простое и экономное решение. Срок окупаемости составляет 1-2 года. Конструктивно все элементы схемы (а) komponуются в виде единого блока общеобменной вентиляции с пластинчатым теплообменником-утилизатором, схема приведена на рис.21.

Наличие предварительного подогревателя на рис.20 (а, б) связано с эксплуатацией систем при низких температурах наружного воздуха. Если температура удаляемого воздуха на выходе из теплообменника понижается ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то конденсирующаяся влага вытяжного воздуха будет превращаться в лед и закупоривать проходное сечение для воздуха. В этом случае надо или пускать приточный воздух по обводному каналу, или предварительно, до теплообменника, подогревать его. В схеме с двумя теплообменниками и промежуточным контуром в качестве теплоносителя применяется антифриз.

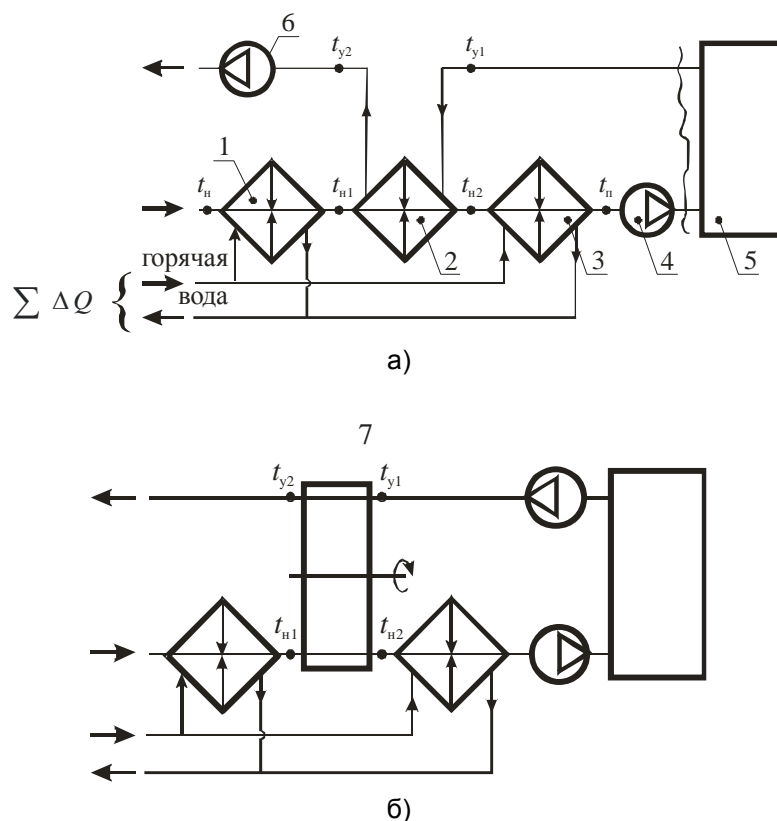
Степень утилизации теплоты зависит от эффективности теплообменника, которая может быть определена, как

$$\varepsilon = \frac{t_{n2} - t_{n1}}{t_y - t_{n1}}. \quad (29)$$

Для пластинчатых воздухо-воздушных теплообменников этот показатель находится в пределах от 0,4 до 0,7.

Более высокие показатели имеют регенеративные теплообменники с вращающейся насадкой ( $\varepsilon = 0,7-0,85$ ). Повышение эффективности регенеративного теплообменника по сравнению с пластинчатым рекуперативным теплообменником объясняется дополнительным переносом теплоты из-за конденсации водяного пара из удаляемого воздуха. В этом случае эффективность регенеративного теплообменника записывается через разности энтальпий потоков воздуха

$$\varepsilon = \frac{H_{n2} - H_{n1}}{H_y - H_{n1}} \quad (30)$$



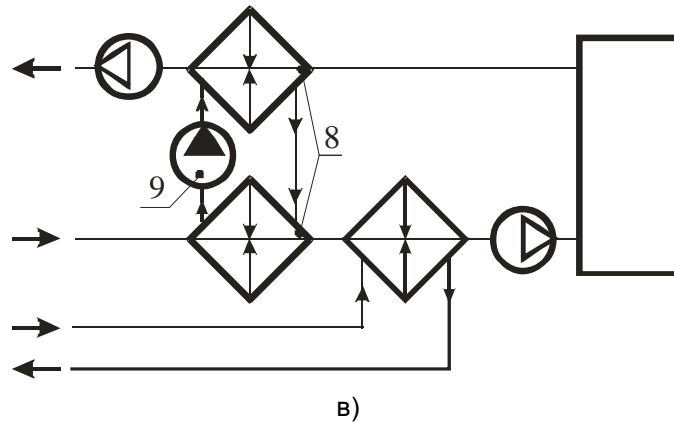


Рис.20. Принципиальные схемы систем вентиляции с теплообменниками-утилизаторами.

1 – предварительный подогреватель, 2 – рекуперативный теплообменник, 3 – подогреватель (калорифер), 4 – приточный вентилятор, 5 – вентилируемое помещение, 6 – вытяжной вентилятор, 7 – регенеративный теплообменник с вращающейся насадкой, 8 – рекуперативные теплообменники «воздух-жидкость», 9 – циркуляционный насос.

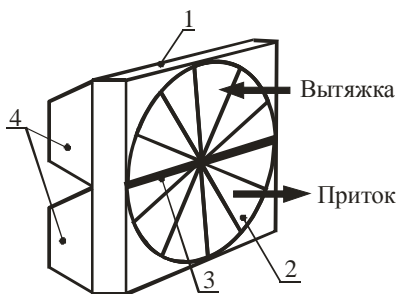


Рис.22. Схема регенеративного теплообменника с вращающейся насадкой.  
1 – корпус, 2 – вращающийся ротор, 3 – перегородка, 4 – патрубки.

Наименьшую эффективность утилизации теплоты имеет схема с двумя теплообменниками и промежуточным контуром ( $\epsilon = 0,4-0,5$ ). Применение этой схемы оправдано, если вытяжной и приточный воздуховоды расположены на значительном удалении друг от друга. В этом случае сведение их в месте установки теплоутилизационной установки связано с прокладкой воздуховодов большой протяженности, ростом аэродинамического сопротивления сети и мощности вентиляторов.

### Энергосбережение при применении рекуперативного теплообменника-утилизатора теплоты вентиляционных выбросов.

При анализе энергосберегающего эффекта от применения рекуперативного теплообменника в системе механической общеобменной вентиляции будем полагать, что в помещении присутствуют внутренние тепловыделения общей мощностью, равной  $Q$  (Вт). Мощность тепловых потерь через ограждающие конструкции обозначим  $Q_{\text{пот}}$ . Для определенности положим, что  $Q > Q_{\text{пот}}$ . Объемные расходы приточного и вытяжного воздуха равны, соответственно,  $L_n$  и  $L_y$ , а массовые расходы –  $G_n$  и  $G_y$  (примем  $G_n = G_y = G$ ). Остальные обозначения соответствуют обозначениям на рис.4 (а). Тогда уравнения тепловых балансов для теплообменника-утилизатора, вентилируемого помещения и системы в целом будут:

$$Q_y = G(H_{n2} - H_{n1}) = G(H_{y1} - H_{y2}) \quad (31)$$

$$G(H_n - H_{y1}) + Q - Q_{\text{пот}} = 0 \quad (32)$$

$$GH_n + Q_1 + Q_2 + GH_{y1} - GH_n - GH_{y2} = 0 \quad (33)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – тепловые мощности, подводимые к воздуху в подогревателях. С учетом (22) тепловой баланс для системы можно записать, как

$$G(H_{y2} - H_n) + \sum Q_y + \Delta Q = 0 \quad (34)$$

где  $\sum Q_y = Q_1 + Q_2$  – суммарная мощность, подводимая к воздуху от внешнего источника тепла, например от централизованно системы теплоснабжения,  $\Delta Q$  – избыточная тепловая мощность в вентилируемом помещении. Из уравнения (34) следует, что затраты тепловой мощности по обогреву воздуха в системе вентиляции с теплообменником-утилизатором равны

$$\sum Q_y = G(H_{y2} - H_n) - \Delta Q \quad (35)$$

Для прямооточной системы общеобменной вентиляции затраты тепловой мощности по обогреву воздуха получаются из уравнений баланса (32)-(33), если принять  $H_{y2} = H_{y1}$

$$\sum Q = G(H_{y1} - H_n) - \Delta Q \quad (36)$$

Энергосберегающий эффект от применения теплообменника-утилизатора, в абсолютном исчислении (экономия тепловой мощности, подводимой от внешнего источника теплоснабжения)  $\Delta Q_{\text{э}}$  будет

$$\sum Q_{\text{э}} = \sum Q - \sum Q_{\text{у}} = G(H_{\text{у1}} - H_{\text{у2}}) = \Delta Q_{\text{у}} \quad (37)$$

Соотношение (37) можно переписать с учетом эффективности теплообменника утилизатора (30)

$$\sum Q_{\text{э}} = G_{\text{э}}(H_{\text{у1}} - H_{\text{н1}}) \quad (38)$$

При неизменных параметрах воздуха после предварительного подогревателя и воздуха на выходе из помещения энергосберегающий эффект будет пропорционален эффективности теплообменника-утилизатора.

Если в качестве показателя энергетической эффективности выбрать кпд системы вентиляции, то записать его можно так

$$\eta = \frac{\Delta Q}{\sum Q - G_{\text{э}}(H_{\text{у1}} - H_{\text{н1}})} \quad (39)$$

где затраты тепловой мощности  $\sum Q$  даются формулой (36).

## РАЗДЕЛ 8. Энергосберегающие мероприятия на объектах жилищно-коммунального хозяйства.

### 8.1. Теплоснабжение объектов жилищно-коммунального хозяйства.

- 8.1.1. Централизованное теплоснабжение и теплофикация.
- 8.1.2. Актуальность и потенциал энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве.
- 8.1.3. Некоторые практические результаты энергосбережения.

#### 8.1.1. Централизованное теплоснабжение и теплофикация.

##### Организационные проблемы.

Определяющим является исторически сложившийся комплекс проблем в развитии теплоснабжающего хозяйства страны: организационных, нормативно-технических, социально-экономических, топливно-экологических. Ниже в ретроспективе развития СЦТ в 1991–2000 гг. рассматриваются все четыре группы проблем и даются рекомендации по их разрешению. К организационным проблемам следует отнести, прежде всего, масштабность развития теплоснабжения в России и разобщенность звеньев СЦТ. К 1990 г. общая годовая потребность в тепловой энергии в России превысила 11 млрд ГДж (табл. 1). При этом более 80 % тепловых нагрузок удовлетворялось от источников тепла систем централизованного теплоснабжения (рис. 1.2).

Таблица 1  
Динамика покрытия потребности в тепловой энергии от различных энергоисточников России, млрд ГДж

Годы	Потребность в паре и горячей-воде в целом по России	Покрытие потребности различными технологиями							
		Централизованное теплоснабжение					На базе ВЭР (вентиляционный выброс)	От электростанций	От местных генераторов тепла
		Теплофикация на базе		От котельных					
		ТЭС	АЭС	> 100 МДж/с	< 100 МДж/с				
1990	11,04	3,99	0,03	1,20	3,88	0,41	0,03	1,50	
2000	9,60	3,00	0,03	1,05	3,52	0,18	0,02	1,80	
Прогноз (оптимистический)									
2010	11,70	5,35	0,05	1,46	2,30	0,63	0,03	1,88	
Прогноз (пессимистический)									
2010	11,00	3,90	0,03	1,30	3,80	0,25	0,02	1,70	

В 1990 г. 42 % суммарной теплопроизводительности всех источников тепла систем централизованного теплоснабжения обеспечили 4,02 млрд ГДж. К 2000 — теплофикационные установки тепловых электростанций (ТЭС) г. отпуск тепла снизился до 3,03 млрд ГДж. Общее количество тепловых электростанций России, отпускавших тепло внешним потребителям в 2000 г., составило 483 (табл. 2).

Таблица 2  
Количество и мощность тепловых электростанций России (более 5 МВт), отпускавшим тепло в 2000 г.

Наименование ТЭС	Установленная электрическая мощность, МВт				
	> 1000	601–1000	101–600	< 100	Всего
1. ТЭС > 5 МВт отрасли “Электроэнергетика”	35	26	160	136	357
В том числе ТЭС с отпуском тепла и теплоэлектроцентрали	17	22	150	130	319
2. ТЭС других ведомств с отпуском тепла и теплоэлектроцентрали	7	1	15	141	164
<b>Итого с отпуском тепла</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>165</b>	<b>271</b>	<b>483</b>

Динамика расхода топлива по источникам теплоснабжения, млн. т.у.т.

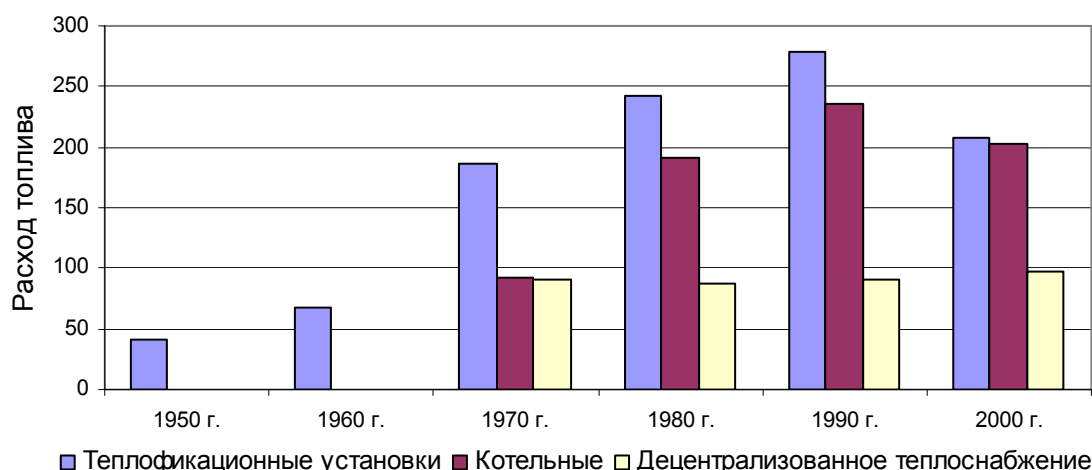


Рис.1 Динамика расхода топлива по источникам теплоснабжения.

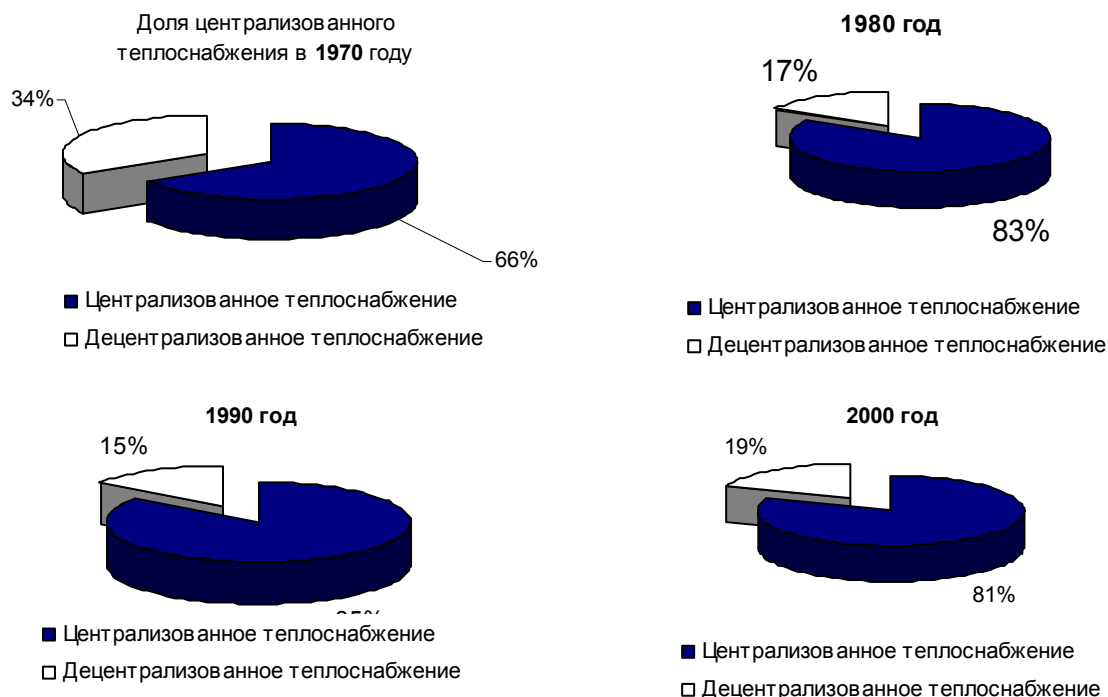


Рис. 2 Доля систем централизованного теплоснабжения в России.

Системы централизованного теплоснабжения от котельных в настоящее время удовлетворяют почти 43 % теплоснабжения России. Из общего количества котельных (242000) 98 % имеют единичную тепловую мощность менее 20 МДж/с и только 2 % достаточно крупные котельные. Основное оборудование котельных паровые и водогрейные котлы отличаются большим разнообразием, как по производительности, так и по техническим характеристикам. Подавляющее большинство их физически и морально устарело, требует замены. Удельный расход условного топлива на отпущенный 1 ГДж, как правило, превышает 40–57 кг у.т. В относительно крупных котельных применяются преимущественно паровые котлы серий ДКВР, ДЕ, КЕ, водогрейные котлы КВГМ, КВТС, ПТВМ, ТВГ. Оборудование мелких котельных представлено более чем 50 типами котлов. Многолетней практикой эксплуатации мелких котельных установлено, что коэффициент полезного действия малых котлов (Универсал, Энергия и т.п.) после 5–10 лет эксплуатации на природном газе снижается на 5–7 %. Одновременно возрастает выброс вредных веществ в атмосферу с уходящими газами. Характеристика котельных России приведена в табл. 3.

Таблица 3.  
Характеристика котельных России

Наименование котельных	Количество	Установленная мощность, тыс. МДж/с	
		Пар	вода
Промышленные, всего	82000	344	185
из них мощностью:			
до 20 МДж/с	79000	205	108
до 50 МДж/с	2000	69	20
свыше 50 МДж/с	1000	70	57
Прочие, всего	160000	143	341
из них мощностью:			
до 20 МДж/с	158000	115	268
до 50 МДж/с	1500	15	21
свыше 50 МДж/с	500	13	52
<b>Всего</b>	<b>242000</b>	<b>487</b>	<b>526</b>

*Примечание.* Установленная мощность котлов котельных не менее чем в 2 раза превышает требуемую по тепловым нагрузкам.

Протяженность тепловых сетей к 2000 г. достигла 257 тыс. км в двухтрубном исчислении (табл.4).

Таблица 4  
Протяженность тепловых сетей, тыс. км

Наименование источника тепла	Магистральные	Распределительные	Квартальные	Всего
ТЭС	25	12	56	93
Котельные:				
> 100 ГДж/с	5	5	30	40
< 100 ГДж/с	–	18	106	124
Итого	30	35	192	257

Суммарное теплоснабжение в России за десятилетие снизилось на 13 %. Теплоснабжение промышленности упало более чем на 31,3 %. Жилищно-коммунальный сектор продолжал развиваться. Так, за тот же период был отмечен рост на 9,8 %. Падение теплоснабжения в сельскохозяйственном секторе превысило 13 %. Несмотря на то, что отпуск тепла от СЦТ России к 2000 г. снизился до 7,8 млрд ГДж, он в 1,77 раза превышал суммарный отпуск тепла от СЦТ 19 ведущих европейских стран вместе взятых (4,4 млрд ГДж). По масштабам развития СЦТ среди стран Западной Европы выделяются Дания (50 %), Финляндия (50 %), Швеция (35 %), Франция (28 %). В остальных странах преобладает децентрализованное теплоснабжение и СЦТ не превышает 15 % (для примера на рис. 2 приведена структура теплоснабжения Германии). В странах Восточной Европы СЦТ получили значительно большее распространение (Украина – 50 %, Литва – 54 %, Польша – 52 %, Эстония – 52 % и т.д.). Теплофикационные системы (СЦТ на базе комбинированной выработки тепла и электроэнергии) в таких странах, как Германия, Греция, Дания, Италия, Нидерланды, Финляндия, составляют не менее половины общей мощности СЦТ.

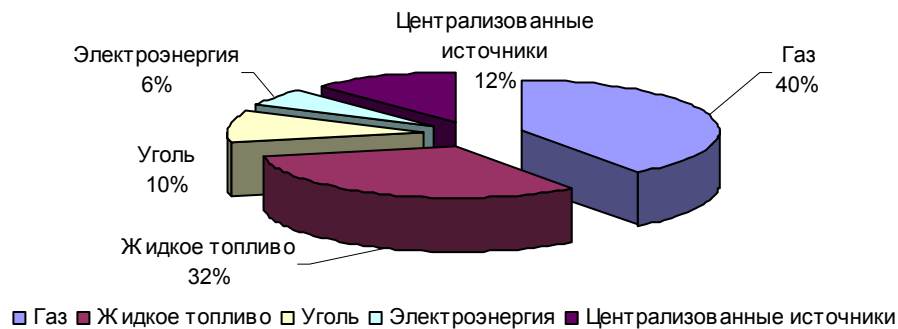


Рис. 2. Структура теплоснабжения Германии по источникам.

Однако масштабы развития СЦТ в России не соответствовала реальная надежность и экономичность. Основная причина ведомственная разобщенность—этого (и отличие от западноевропейских СЦТ) отдельных звеньев систем.

Как известно, российское теплоснабжающее хозяйство многие десятилетия развивалось по пути создания средних и крупных систем централизованного теплоснабжения. В таких системах обычно энергоисточник и магистральные тепловые сети принадлежали одним ведомствам, пиковые и параллельно работающие энергоисточники – другим, распределительные тепловые сети и центральные тепловые пункты – третьим, квартальные тепловые сети четвертым, а абоненты – всем ведомствам. В результате уровень организации строительства и особенно эксплуатации, обеспечения текущих и капитальных ремонтов, снабжения материалами и оборудованием, и в конечном итоге, качество и сроки готовности отдельных звеньев систем к очередному отопительному сезону существенно отличались. Такое положение уже в своей сути содержит повышенную вероятность тех или иных отказов.

Энергооборудование и теплопроводы вовремя не заменялись и сейчас в своем большинстве, отработав свой технический ресурс, на 60–85 % изношены физически и морально. Объемы технического перевооружения из-за недостатка капиталовложений не всегда предусматривали внедрение новых энергосберегающих технологий. Теплоизоляция трубопроводов тепловых сетей, выполненная, как правило, из некондиционных, некачественных материалов, почти повсеместно частично или полностью пришла в негодность. В результате тепловые потери в 2–5 раз превышают проектные. Актуальнейшие задачи энергосбережения и энергоиспользования в теплоснабжающем хозяйстве решались разрозненно, бессистемно.

Выход из создавшегося положения в условиях развивающихся рыночных отношений может быть найден в соответствующей времени перестройке организационной структуры теплоснабжающего хозяйства. Основой перестройки (реструктуризации) должно стать создание на базе действующих источников тепла и тепловых сетей от них акционерных обществ (АО) — юридически самостоятельных или дочерних предприятий муниципалитетов, промышленных предприятий и АО-энерго. Характерной особенностью этой реструктуризации существующей разобщенной структуры СЦТ является то, что в большинстве случаев речь пойдет о слиянии, сосредоточении всех звеньев СЦТ в едином АО с соответствующей оптимизацией управления. Вероятнее всего получат распространение три типа АО:

АО СЦТ, объединяющие все три звена относительно небольших СЦТ: источник тепла–тепловая сеть–потребитель;

АО ИТ, эксплуатирующие только источник тепла, работающий на договорной основе совместно с другими АО ИТ на общие тепловые сети;

АО ТС, эксплуатирующие крупные СЦТ с разветвленными тепловыми сетями и единым диспетчерским пунктом, управляющим совместной работой нескольких присоединенных к системе источников тепла: АО ТС + АО ИТ.

Реструктуризация позволит:

объединить производство и транспорт тепла непосредственно до потребителей тепла, исключить посредников, и обеспечить надежную монетаризацию расчетов;

упростить управление СЦТ;

обеспечить синхронное развитие всех звеньев СЦТ;

создать условия для привлечения капиталов в теплоснабжающее хозяйство, снизить неопределенность бизнеса для потенциальных инвесторов;

реализовать с помощью инвесторов программу широкого внедрения энергосберегающих мероприятий, снизить в результате себестоимость тепла и попутно вырабатываемой при комбинированной выработке электроэнергии;

внедрить гибкое ценовое регулирование согласно местным условиям; повысить ответственность, качество теплоснабжения и в целом социальный авторитет городского теплоэнергетического комплекса;



обеспечить проведение научной и технической политики, обновление технологий и оборудования, стимулирование инновационного процесса.

### **Нормативно-технические проблемы.**

Масштабы и последствия аварий в СЦТ это - также результат несоответствия действующей нормативной базы проектирования, строительства и эксплуатации систем централизованного теплоснабжения требованиям социального устройства страны и научно-технического прогресса в теплоснабжении. Необходимо разработка новых норм и правил на уровне федеральных:

СНиП «Системы теплоснабжения» (аналогов нет);

СНиП «Тепловые сети»;

СНиП «Тепловая изоляция тепловых сетей».

Вот несколько примеров. Действующий СНиП 2.04.07–86\* СССР по проектированию тепловых сетей устарел и содержит массу неточностей. Как известно, в качестве расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления в России принимается средняя температура воздуха за наиболее холодную пятидневку. Поэтому любое нерасчетное снижение температуры наружного воздуха вызывает недопустимо длительное понижение температуры воздуха в помещениях. Положение усугубляется тем, что, ограждающие конструкции многих зданий не рассчитаны на экстремальные погодные ситуации. Как правило, нормативно-методические документы СССР многие десятилетия ориентировали проектировщиков, строителей и эксплуатационников на единые для всей России конструкции, нормы и правила. Например, СНиП 2.04.18–88 по теплоизоляции требует применять единые для всей территории России нормы тепловых потерь теплопроводами. В результате толщина изоляции теплопроводов в сибирских СЦТ меньше необходимой и потери тепла соответственно больше, чем в европейских. В условиях рыночной экономики критерием уровня тепловых потерь может быть только прибыль. Или например, единая норма резервной тепловой мощности энергоисточников практически привела к тому, что большая часть ТЭЦ и котельных страны сейчас не отвечает требованиям надежности.

### **Топливные проблемы.**

Стремление к снижению себестоимости производства тепла и электроэнергии при одновременном удешевлении стоимости строительства ТЭЦ и котельных, а также необходимость улучшения экологической обстановки в городах привело к постепенной замене на городских ТЭЦ угля на газ–мазут на всей европейской части России, Урала, Кавказа и Западной Сибири. Для этих регионов природный газ останется еще длительное время рентабельным, наиболее дешевым и экологичным топливом. Начиная с послевоенных лет, роль природного газа и мазута в энергетике как эффективных видов топлива (табл. 5, рис. 3) возрастала по мере увеличения добычи этих видов топлива и развития инфраструктуры дальнего трубопроводного транспорта в пределах СССР. Как видно из табл. 5, ТЭЦ в теплофикационных системах России до широкомасштабного развития добычи природного газа и создания разветвленного газопроводного транспорта работали в основном на местных и дальнепривозных углях и торфе (85 % в 1950 г.). В городских и промышленных котельных на уровне 1950 г. твердые виды топлива занимали более 60 %. Потребление мазута не превышало 20 %. В децентрализованном теплоснабжении особенно в сельской местности и небольших населенных пунктах значительную роль играли, так называемые «самозаготовки» топлива: дрова, камыш, торф, щепа и т.п. (19–22 %), но и здесь угли являлись основным источником тепла (60–70 %).

Показатель	1940 г.	1950 г.	1960 г.	1970 г.	1980 г.	1990 г.	2000 г.
<b>Теплофикационные установки ТЭС</b>							
Расход топлива*, млн т у.т.	18	41	67	187	243	278	207
Природный газ, %	–	–	25	60	63		
Мазут, %	5	8	37	14	12		
Всего: газ + мазут, %	5	8	30	55	62	74	75
Твердое топливо	91	85	68	38	89,9	25	24
Прочие виды топлива	4	7	2	7	2,43	1	1
<b>Котельные</b>							
Расход топлива, млн т у.т.				92	192	235	203
Природный газ, %	–	–	15	30	48	52	55
Мазут, %	10	20	25	20	18	16	15
Всего: газ + мазут, %	10	20	40	50	66	68	70
Твердое топливо	76	60	46	40	26	25	25
Прочие виды топлива	14	20	14	10	8	7	5
<b>Децентрализованное теплоснабжение</b>							
Расход топлива*, млн т у.т.				91	87	90	98
Природный газ, %	–	–	5	10	31	42	51
Мазут, %	8	12	15	15	17	15	14
Всего: газ + мазут, %	8	12	20	25	48	57	65
Твердое топливо	70	67	61	45	38	31	25
Прочие виды топлива	22		21	30	14	12	10

\* С учетом расхода топлива на выработку электроэнергии.

Весьма благоприятные физико-химические, экологические и экономические показатели природного газа как топлива для источников теплоснабжения явились в свое время мощным стимулом к пересмотру всей концепции топливоснабжения теплового хозяйства в стране. Доля газа и жидкого топлива в России составляет примерно 70%, в то время как в развитых странах Европы она существенно меньше (рис. 4, 5).

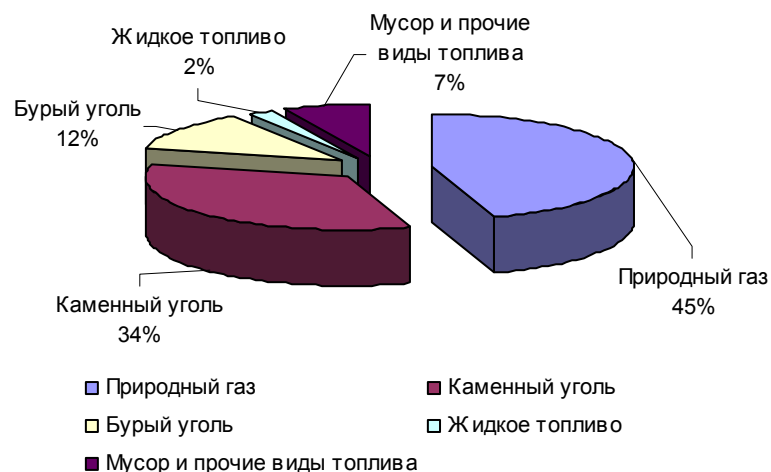


Рис. 4. Топливный баланс ТЭЦ и других источников централизованного теплоснабжения Германии.

Ориентация на природный газ притормозила научно-технический прогресс в создании новых технологий сжигания твердого топлива и конструирования энергооборудования для твердотопливных ТЭС. Но газовая отрасль в целом будет требовать все больше и больше инвестиций для дальнейшего развития. По-

этому с каждым годом все актуальнее становится возврат к приоритетам и технологиям сжигания твердого топлива.

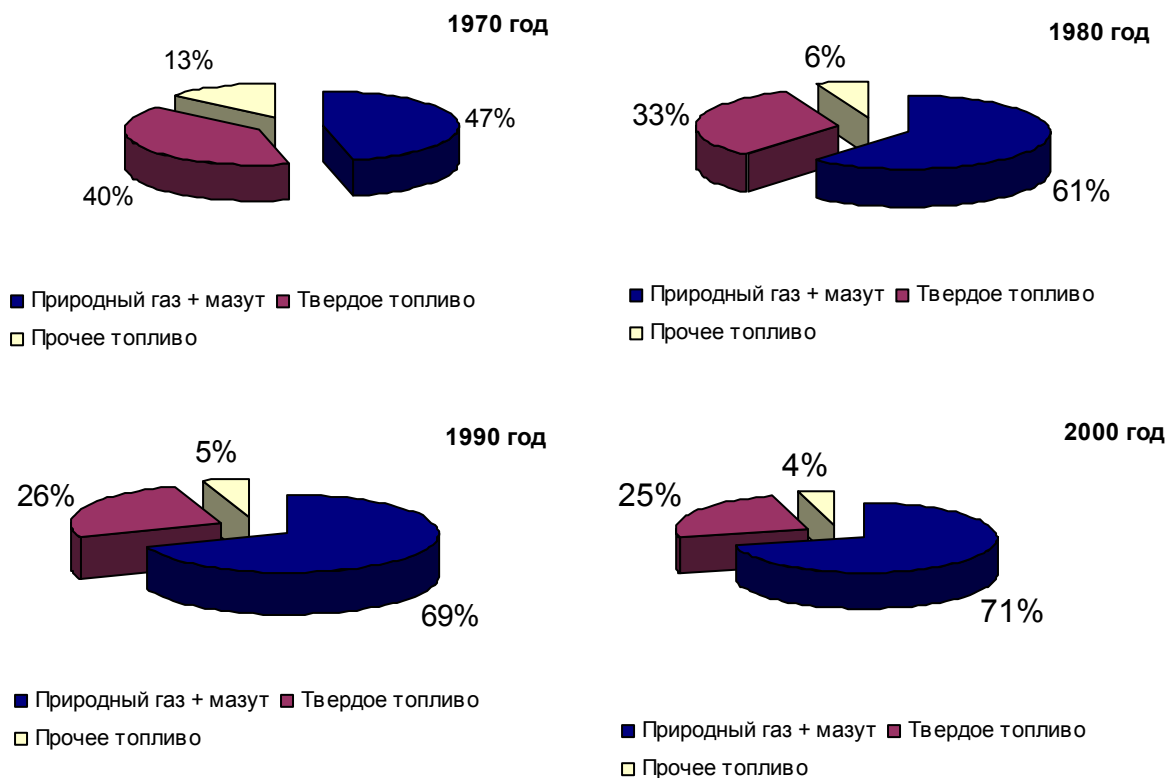


Рис. 5. Структура потребления топлива в России на нужды теплофикации.

### 8.1.2. Актуальность и потенциал энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве.

#### Актуальность

Жилищный фонд России превышает 2,6 млрд кв. м общей площади. В среднем на одного россиянина приходится 18,9 кв. м общей площади. Свыше 20% городского жилищного фонда неблагоустроено, а в малых городах каждый второй дом не имеет инженерного обеспечения. Более 290 млн кв. м (11%) жилищного фонда нуждаются в неотложном капитальном ремонте и переоборудовании коммунальных квартир в отдельные, 250 млн кв. м (9%) - в реконструкции. Из года в год увеличивается подлежащий сносу ветхий и аварийный фонд с износом более 60%. Только за последние годы по ветхости выбыло свыше 40 млн кв. м. В ветхом фонде продолжают проживать 2 млн человек. 75 % существующего жилищного фонда городов России составляют самые энергозатратные в мире дома из сборного железобетона.

Дома из других материалов, в силу их конструктивных особенностей, также не отличаются энергосбережением.

На теплоснабжение этого жилищного фонда в настоящее время затрачивается не менее 45% энергоресурсов (около 430 млн. т условного топлива), что в 2,3 раза больше, чем расходуются топлива на производство электроэнергии. В холодные зимы потребность с топливе на теплоснабжение возрастает на 10 % и более.

В существующем жилищном фонде городов расходы теплоты на отопление 1 м<sup>2</sup> в 2,5-4,5 раза больше, чем в Швеции и Финляндии, по климатическим условиям близким к европейской части России.

Фактические теплопотери зданий значительно выше нормативных из-за низкого качества строительства и эксплуатации.

Коммунальная энергетика потребляет более 20% электрической и 45% тепловой энергии, производимых в России. Дефицит мощностей источников тепловой энергии составляет свыше 13 тыс. Гкал · час.

Более чем в 100 крупных городах вода подается в дома по графику, при этом 25% ее теряется, а более 40% не соответствует требованиям санитарного надзора. Дефицит мощностей водопроводов превышает 10 млн куб. м, или 15% всех установленных.

По данным Госстроя, физический износ водопроводных сетей достиг 54,2%, объектов теплоснабжения - 56,7, электроснабжения - 68, а в целом инженерных коммуникаций - 60%. Срочной модернизации требуют 7% тепловых сетей и 16% водопроводных. Суммарные потери в тепловых сетях, в том числе из-за

износа труб, достигают 30% произведенной тепловой энергии, что эквивалентно 65–68 млн т условного топлива в год.

Количество аварий на 100 км инженерных сетей увеличилось с 15–20 в середине 90-х годов до 70 на сетях водоснабжения и канализации и до 200 аварий на сетях теплоснабжения (в Европе - в среднем 3) в 2000 г. В прошлом году произошло 77 крупных аварий в 40 регионах - почти на треть больше, чем годом ранее. Ситуация обострилась не только в Приморье, но и в Красноярском крае, Бурятии, Новосибирской, Архангельской, Калининградской и других областях. В одних областях трубы лопаются из-за изношенности, в других - еще и по причине отключения тепла. В сложившихся условиях вполне реален крупномасштабный инфраструктурный кризис, связанный с массовыми авариями на объектах ЖКХ.

В городах через коммунальные системы канализации очищается до установленных нормативов только 30% стоков. Дефицит мощностей канализационных сетей составляет 9 млн куб. м в сутки (16,5%), капитального ремонта требуют 17% сетей, а денег на эти цели практически не выделяется.

По оценкам Госстроя, обнародованным в начале 2001 г., на модернизацию сетевого тепло- и водоснабжения требуется 136 млрд рублей, генерирующих мощностей - около 162,7 млрд, водоснабжения и канализации - 135 млрд.

В структуре коммунальных платежей плата за электроэнергию, тепло и воду составляет около 70%. Важно снизить издержки по этой составляющей, но сделать это довольно сложно, учитывая российскую практику. До последнего времени при строительстве зданий затраты на последующую их эксплуатацию и стоимость потребляемых при этом энергоресурсов не принимались в расчет. Предпочтение отдавалось дешевым материалам, которые имели большую теплопроводность, и простейшим строительным технологиям. В результате по теплотехническим свойствам наши здания в 2–3 раза уступают зарубежным. Не придавалось значения учету и экономии ресурсов. Если они дешевые, нет смысла ставить дорогие счетчики. Немалый вклад в расточительство вносит плачевное состояние инженерных сетей. На тепловых магистралях ежегодно теряется до 10% всей производимой тепловой энергии.

Потери и течи на трассах, нерациональный расход мазута, газа, угля при производстве и транспортировке тепла включаются в себестоимость продукции и нормативы потребления. В результате нормативы расхода воды в России составляют около 300 л на человека - вдвое больше, чем в Германии или Великобритании. А некоторые нормативы превышают зарубежные аналоги в 5–10 раз, поскольку нормативная база, сформировавшаяся в эпоху плановой экономики, завывшала необходимые затраты.

Затраты на производство ЖКУ в среднем по России составили в октябре 1999 г. 12,7 рубля на 1 кв. м общей площади (федеральный стандарт на 2000 г. - 12,8 рубля, на 2001 г. - 14,2 рубля). На обслуживание 1 кв. м в нашей стране тратится в 3–7 раз больше энергоресурсов, чем в среднем в Западной Европе, затраты электроэнергии на производство и реализацию 1 куб. м воды выше на 30%, удельное потребление воды на одного россиянина - в 1,5–2 раза, численность персонала ЖКХ, занятого обслуживанием 1 тыс. жильцов, также в 1,5–2 раза больше - при несопоставимом качестве.

Анализ договоров показывает, что отпускаемые городу объемы тепла завываются. К примеру, теплоснабжающая организация часто исходит из того, что системы горячего водоснабжения работают при максимальной проектной нагрузке круглый год, «забывая» о том, что летом горячую воду отключают минимум на три недели. Есть и другие хитрости. Скажем, городу продается тепло, которое никогда не выработывалось, в результате его объемы завываются на 20–25%. Таким образом, внушительной экономии можно добиться даже без теплосберегающих мероприятий, достаточно привести договоры в соответствие с реалиями и ввести учет.

Завываются не только объемы отпускаемого тепла, но и его себестоимость. Так, теплоснабжающие организации определяют свои издержки по самому холодному времени года и закладывают их в тарифы. Нередки и просто злоупотребления, когда на себестоимость списывают содержание ведомственных домов отдыха, бассейнов, обучение специалистов за рубежом. В нее включают также неоправданно высокие транспортные издержки, круглосуточное отопление в дневном режиме пустующих детских садов, школ, поликлиник и других учреждений. Поэтому стоимость 1 Гкал тепла в различных регионах колеблется от 60 до 300 рублей.

Приведенные факты свидетельствуют об актуальности энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Основное направление в экономии энергоресурсов занимает теплоснабжение. Проведенный анализ (программа ресурсосбережения, разработанная Департаментом ЖКХ и энергетики г. Ростова-на-Дону) показывает, снижение потребления первичных энергоресурсов при производстве тепловой энергии приводит к следующей экономии финансовых средств:

Снижение потребления	Экономический эффект
Экономия 1 кг. условного топлива на производство 1 Гкал. тепловой энергии	1,0 млн.руб. в год.
Экономия 1 л. воды на производство 1 Гкал. тепловой энергии	0,31 млн.руб в год.

Экономия 1 кВт/ч электроэнергии на производство и транспортировку 1 Гкал. тепловой энергии	0,1 млн.руб. в год.
Экономия потребления 0.005Гкал. на 1 м.кв. общей жилой площади в месяц	6,3 млн.руб в год
Обеспечение безнакипного режима эксплуатации котловых агрегатов (при интенсивности образования накипи 1 мм, перерасход топлива - 10% то годового потребления)	11,2 млн.руб в год

Теплоснабжение является самым большим сектором жилищно-коммунального хозяйства по объему потребляемых энергоресурсов - более 400 млн. т у.т. в год, что составляет 44% от общего потребления энергоресурсов в России. Тепловая энергия производится системами централизованного и децентрализованного теплоснабжения. Около 70% тепла производится системами централизованного теплоснабжения, остальная часть котельными. В децентрализованных системах, к которым условно отнесены системы мощностью менее 20 Гкал/ч (23,3 МВт), производится около 15% всего тепловой энергии, из них практически все количество тепла производится котельными и лишь незначительная часть (1-3%) производят ТЭЦ малой мощности.

Примерно такое же количество тепловой энергии (около 15%) производится индивидуальными котельными и теплогенераторами, мощность которых не превышает 0,5-1 Гкал/ч (0,58-1,16 МВт). Кроме этого, незначительная часть спроса на тепловую энергию (2-4%) удовлетворяется за счет утилизации сбросного тепла от технологических установок, а доля тепла, получаемого от геотермальных, солнечных и т.п. источников, пренебрежительно мала.

Несмотря на то, что теплоснабжение является самым топливоемким сектором топливно-энергетического комплекса, оно в отличие от других отраслей ТЭК не имеет единой технической, структурно-инвестиционной, экономической и организационной политики. Прозрачны лишь теплофикационные системы и системы централизованного теплоснабжения в рамках АО-энерго и холдинга РАО «ЕЭС России». Муниципальные системы теплоснабжения и сфера децентрализованного теплоснабжения по существу предоставлены сами себе.

Не ведется разработка сводного теплового баланса страны. В результате ряд направлений производства и использования тепловой энергии не учитывается и, следовательно, не оценивается энергетически и экономически.

Учитывая громадную социальную значимость теплоснабжения в России и ее топливоемкость, повышение эффективности в секторе теплоснабжения - это не просто способ снижения издержек в экономике ЖКХ, промышленности и сельском хозяйстве, а мощный рычаг подъема эффективности экономики России в целом.

Суммарный рост теплопотребления в стране в 2020 г. по сравнению с 1999 г. прогнозируется 1,3 1,17 раза (до 2650 млн. Гкал) со снижением удельной теплоемкости экономики в 2,1-1,6 раза. При этом доля децентрализованного теплоснабжения вырастет к 2020 г. до 33-35 %.

Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2020 года» основными направлениями совершенствования и развития систем теплоснабжения будут:

оптимизация целесообразной степени централизации систем теплоснабжения с учетом концентрации спроса, изменений структуры себестоимости тепловой энергии и ее транспорта, рыночных условий хозяйствования и структуры собственности потребителей энергии;

совершенствование схем и оборудования систем теплоснабжения (в частности – повсеместный переход на современные предварительно изолированные трубы на теплотрассах), а также уровня их эксплуатации в целях снижения себестоимости энергии и резкого снижения доли участия государства в финансировании теплоснабжения быта;

повсеместное внедрение систем автоматического и ручного регулирования систем отопления, оснащение их измерительной и регулирующей приборной и арматурной аппаратурой;

расширение использования местных нетрадиционных возобновляемых источников энергии - геотермальных, солнечных, биоэнергии.

Суммарное производство тепловой энергии согласно прогнозам будет развиваться, как показано в таблице. 1

Таблица 1  
Прогноз производства тепловой энергии

Показатели	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Суммарное производство теплоэнергии, млн. Гкал	2060	<u>2120</u> 2185	<u>2200</u> 2315	<u>2300</u> 2470	<u>2420</u> 2650

\* В числителе для пониженного, в знаменателе для благоприятного варианта развития экономики

### Потенциал энергосбережения.

По состоянию производственной базы отраслей к началу 2000 года потенциал энергосбережения (по экспертной оценке, представленной в проекте «Энергетической стратегии России на период до 2020 года») распределяется между отраслями народного хозяйства, как показано в таблице 2.

Таблица 2.

Потенциал организационно-технологических мер экономии энергоресурсов (2000 г.)

Отрасли	Электроэнергия, млрд. кВт.ч	Централизованное тепло, млн. Гкал.	Топливо, млн. т у.т.	Всего	
				млн. т у.т.	%
Топливо-энергетический комплекс, всего	29-35	70-80	99-100	120-135	33-31
в том числе:					
электроэнергетика и тепло-снабжение	23-28	67-76	70-77	90-100	25-23
промышленность и строительство	110-135	150-190	49-63	110-140	31-37
транспорт	7-11	-	22-26	23-30	6-7
сельское хозяйство	4-5	5	9-11	12-15	3
коммунально-бытовой сектор	70-74	120-135	46-50	95-110	27-26
Итого	220-260	345-410	230-270	360-430	100

Меньшее из приведенных значений относится к реализации энергосберегающих мероприятий, освоенных в России, большее значение - к реализации мероприятий, освоенным мировой энергетикой. Как видно из таблицы, потенциал энергосбережения в ЖКХ составляет почти треть от общего потенциала всех отраслей хозяйства. Предполагается, что более 70% экономии энергоресурсов будет достигнуто за счет экономии топлива и тепловой энергии (рис. 1, 2), в том числе экономия тепловой энергии и газа составляет примерно 30% (в абсолютном исчислении, соответственно 20 и 10,1 млн. т.у.т.). В 2005 году по данным подпрограммы «Энергосбережение в ЖКХ» экономия энергоресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве должна составить 22-25 млн. т.у.т., что составит примерно 25% от общей экономии по отраслям, а за период 1998-2005 г. – 93-110 млн. т.у.т..

Для примера оценим потенциал экономии газового топлива при производстве тепла децентрализованными источниками энергии в России. При производстве тепла указанными источниками в 1990-2000 годах доля газа составляла в топливном балансе от 42 до 51%. Если предположить, что структура баланса потребления топлива сохранится, то экономия тепловой энергии, эквивалентная 20 млн. т.у.т., равносильна экономии  $(0,42-0,51) \cdot 20 \cdot 10^6 = (8,4-10,2) \cdot 10^6$  тонн условного газового топлива или  $(7,3 - 8,9) \cdot 10^9 \text{ м}^3$  природного газа. Прямая экономия природного газа при реализации энергосберегающих мероприятий составляет 10,1 млн. т.у.т. или примерно  $8,8 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ . Таким образом, потенциальная экономия природного газа в масштабах России может составить на период до 2005 года (по состоянию на 2000 г.) примерную величину от 16,1 до 17,7 млрд.  $\text{м}^3$ . Для сравнения, годовое потребление природного газа в г. Москве составляет примерно 25 млрд.  $\text{м}^3$ . Такая экономия, разумеется, может быть достигнута в результате реализации всего комплекса мер по энергосбережению, предусмотренных программой, начиная от рационального сжигания топлива и кончая непроизводительными потерями тепловой энергии при транспортировке и у потребителя. По оценкам доля экономии за счет выполнения подпрограммы «Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве» в общей экономии составит 46% (рис. 3), так что прогнозируемая экономия природного газа за указанный период потенциально может составить 35-38,5 млрд.  $\text{м}^3$ , что соответствует годовой экономии в 7-7,7 млрд.  $\text{м}^3$ .

Сделаем оценку экономии природного газа в 2005 году. Согласно подпрограмме «Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве» экономия энергоресурсов в 2005 году должна составить 22-25 млн. т.у.т. по отношению к 1995 году. С учетом того, что в структуре потенциала энергосбережения (рис. 1, 2) тепловая энергия составляет 20-25%, на ее долю приходится примерно 5-5,6 т.у.т. При производстве тепла централизованными и децентрализованными источниками доля газа составляет примерно 70%, экономия условного газового топлива составит 3,5-3,9 т.у.т. За счет экономии тепловой энергии в 2005 году предполагается снизить потребление газа примерно на или 3-4 млрд.  $\text{м}^3$ . Экономия топлива должна обеспечить снижение потребления газа еще на  $[(22-25) \cdot 0,47 \cdot 0,10] / 1,15 = (0,9-1)$  млрд.  $\text{м}^3$ .

Учитывая долю экономии за счет выполнения подпрограммы, оценка может быть скорректирована. С учетом этой доли потенциальная экономия газа может быть оценена, как (9,6-10,7) млрд.  $\text{м}^3$  /год. По-

следняя оценка отличается от предыдущей на 38%. Здесь следует учесть, что оценка в (9,6-10,7) млрд. м<sup>3</sup> /год включает экономию при теплоснабжении от всех источников тепла.

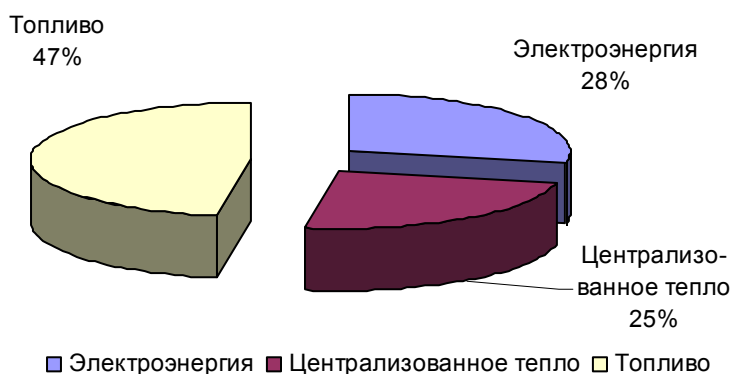


Рис. 1. Потенциал энергосбережения в ЖКХ. Экономия различных энергоресурсов.

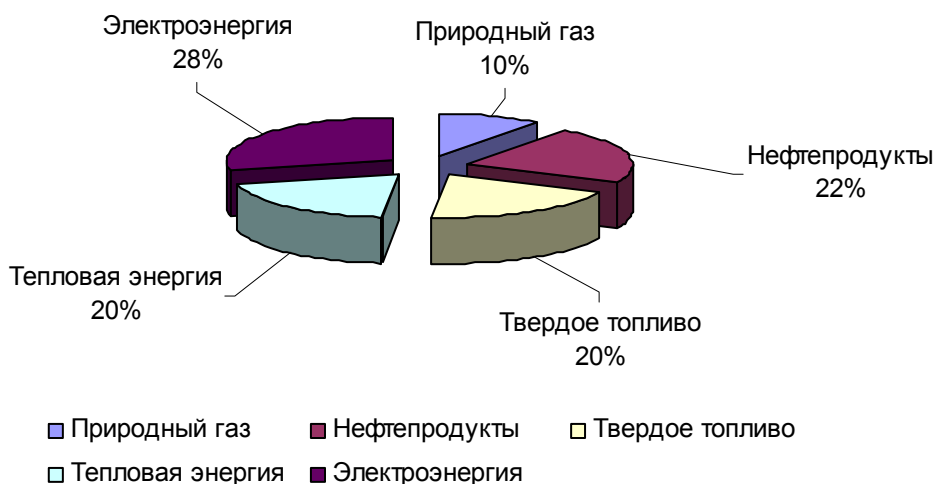


Рис. 2. Потенциал экономии энергоресурсов. Жилищно-коммунальное хозяйство и сельское хозяйство.

### Экономия энергоресурсов в отраслях народного хозяйства за счет выполнения программы "Энергосбережение России" в 2005 году

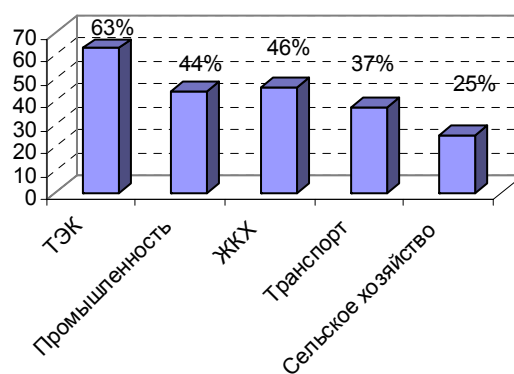


Рис. 3. Доля экономии от выполнения программы «Энергосбережение России» в общем объеме экономии в отраслях.

### 8.1.3. Некоторые практические результаты энергосбережения.

Вышеприведенные данные относятся к оценке потенциала энергосбережения всем жилищно-коммунальным сектором России, то есть к оценке экономии энергоресурсов в случае успешной реализации целого комплекса энергосберегающих мероприятий. Реально полученные результаты в области энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве рассмотрим на примере выполнения Федераль-

ной целевой программы «Энергосбережение России» (1998-2005 гг) и некоторых региональных программ по энергосбережению.

Суммарная экономия топливно-энергетических ресурсов в 1998 году (А..П. Ливинский «О результатах реализации в 1998 году Федеральной целевой программы «Энергосбережение России»») составила 5,5 млн. т.у.т., что составило 85% от задания программы на 1998 год и 26% от фактического сокращения объема энергопотребления (средняя цифра по прогнозам составляет 54%, рис. 3). В жилищно-коммунальном хозяйстве величина экономии энергоресурсов по 72 субъектам Российской Федерации составила 3,7 млн. т.у.т.

Экономический эффект от реализации энергосберегающих мероприятий оценивается, как приведено ниже.

Энергоаудит котельных, тепловых пунктов и тепловых сетей. В Ульяновской области сэкономлено 25,5 млн. рублей, в Мурманской области - 15,1 млн. рублей, Республике Мордовия - 5,0 млн. рублей. Общий экономический эффект – 45,6 млн. руб.

Реконструкция 69 котельных – 50,6 млн. руб.

Модернизация 32 котельных и перевод на газ 58 котлов в Московской области – 15,7 млн. руб. Перевод на газ 6 котельных в Республике Удмуртия – 9,8 млн. руб. Общий экономический эффект –25,5 млн. руб.

Итоги выполнения Городской программы по энергосбережению на 2001-2003 годы в Москве (изложены в статье М.А. Лапира «О выполнении Городской программы по энергосбережению на 2001-2003 годы в Москве», Энергосбережение, №3, 2002 г.) дают представление о масштабах ресурсосбережения в условном топливе или стоимостном выражении в таком крупном городе, каким является Москва. Итоги представлены за 2001 год и охватывают жилищно-коммунальную сферу и промышленность. Общая экономия составила 160 тыс. т.у.т. или 77,12 млн.рублей. Более подробная информация по отдельным проводимым энергосберегающим мероприятиям представлена в таблице 3. В том числе экономия, связанная с совершенствованием теплоснабжения (таблица 3), составляет величину порядка 50 т.у.т. или 30% от общей экономии.

Таблица 3.

Мероприятия по энергосбережению. Экономия энергоресурсов и экономическая эффективность

Мероприятие	Экономия энергоресурсов				Экономический эффект млн. руб.
	Тепловая энергия	Электроэнергия	Условное топливо	Вода	
	тыс. Гкал	Млн. кВт	т.у.т	тыс. м3	
Модернизация котлов			11,0		
Внедрение контроллеров для автоматизации и диспетчеризации ЦТП	130				
Внедрение регулируемого электропривода		6,5			
Снижение подпитки тепловых сетей					Более 1,0
Оптимизация процесса горения при применении информационных комплексов			1,5		
Замена ртутных ламп уличного освещения на менее энергоемкие		3,57			
Реконструкция схемы теплоснабжения горбольницы					1,06
Перевод системы отопления с пара на горячую воду (три предприятия)			7,0		
Реконструкция системы оборотного водоснабжения. Перевод системы водоснабжения на артезианскую воду.				500	
Замена промышленного оборудования на менее энергоемкое		15,5			
Организационно-технические мероприятия на Метрополитене		3,2			



## 8.2. Типовые энергосберегающие мероприятия в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Функциональное назначение систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха 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 перемененно 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.

Система технических мер энергосбережения (организационные меры здесь не затрагиваются), представленная на Рис. 1 исходит из определенных приоритетов и базируется на структуре энергопотребления.

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.

Энергосбережение за счет снижения тепловой нагрузки на системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Использование архитектурно-планировочных мер и теплозащиты здания. Потребление тепла системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха зависит от вида системы, её установочной мощности, текущей тепловой нагрузки. Перечисленные факторы определяются конструктивно-планировочными параметрами здания, уровнем его теплозащиты, технологическим процессом, протекающим в помещениях.

Выбор архитектурно-планировочных и теплозащитных параметров здания ведётся при его проектировании.

Форма здания влияет на величину теплотеря. 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. Техничко-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. Расчеты для условий Москвы показывают, что экономически целесообразным является двойное остекление в отдельных переплётках, а коэффициент теплопередачи для стен в зависимости от ориентации фасада должен изменяться от 1 Вт/кв.м\*°С для южного фасада до 0,85 Вт/кв.м.\*°С для северного.

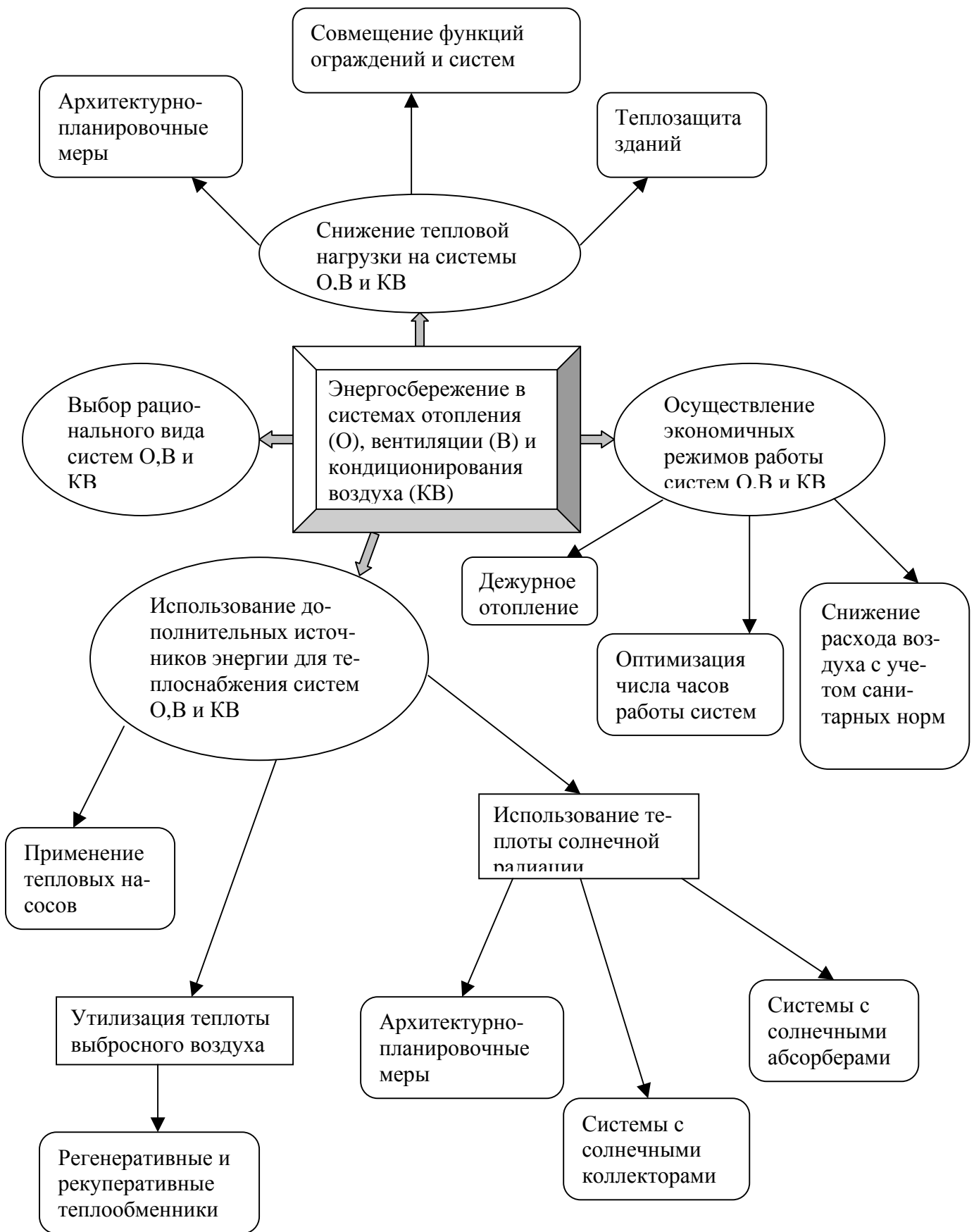
Энергетическая оценка различных архитектурно-планировочных факторов для двух способов регулирования в условиях Москвы приводится в Табл. I.1. (для зданий площадью 7200 кв.м., размеры 12х60 м., 10 этажей).

Таблица I.1.  
Расход тепла на отопление

Вид регулирования	Размерность	Годовой расход тепла на отопление на 1 кв.м. поверхности пола					
		1		2		3	
		А	Б	А	Б	А	Б
Центральное	кВтч	133		83,5		70,3	
качественное	%	100		63		52	
Пофасадное	кВтч	130,1	126	82,9	80,8	68,3	67,5
	%	97	95	62	61	51	51

- 1 – традиционно применяемые параметры здания  
2 – экономически целесообразные параметры здания

Рис.1 Система технических мер энергосбережения.



З - традиционно применяемые параметры здания с экономически целесообразными теплозащитой и степенью остекления здания

А – ориентации фасадов здания по основным румбам – юг, север, восток, запад

Б - ориентации фасадов здания по промежуточным румбам – юго-восток, юго-запад, северо-восток, северо-запад

Как видно из Табл. I.1., применение экономически целесообразных размеров здания даёт 37% экономии тепловой энергии, переход на экономически целесообразный уровень теплозащиты обеспечивает ещё 10% экономии. Переход на пофасадное регулирование в чистом виде даёт экономию 1-2%, в южных районах значительно больше, например в Ташкенте до 10%. Однако пофасадное или индивидуальное регулирование позволяет правильно распределить тепло между фасадами и повысит качество отопления.

Следует иметь в виду, что приведенные цифры были получены для действовавших ранее тарифов и стоимостей. В связи с реформами в экономике, очевидно, будут изменены соотношения в стоимости строительных материалов и энергоносителей, что неизбежно скажется на результатах. Опыт зарубежных стран свидетельствует о тенденции к увеличению теплозащиты здания и, следовательно снижению затрат энергии на его отопление.

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 (Рис. I.1.). 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 (см. Рис. I.2.). 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 воздухопроводов (см. Рис. I.1.). 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.

Известны способы использования ночного холода с аккумуляцией его в грунте или специальных массивных насадках. В подземном вентиляционном канале, предназначенном для подачи в здание наружного воздуха, устанавливается насадка из крупного булыжника. В ночное время воздух с пониженной температурой, проходя через насадку, охлаждает её. В дневные часы, когда по каналу поступает воздух с относительно высокой температурой, происходит его охлаждение на 3 – 6 °С. Использование такого способа эффективно в районах с жарким континентальным климатом при суточной амплитуде температуры 10 °С.

Энергосбережение при осуществлении экономичных режимов работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Регулирование мощности систем позволяет повысить их энергетическую эффективность. В рассматриваемых системах существует большое число способов регулирования, обеспечивающих снижение расхода энергии. Здесь представлены лишь некоторые способы, показательные точки зрения энергосберегающей технологии.

Снижение температуры воздуха в нерабочее время. В холодное время года может быть допущено снижение тепловой мощности систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха с понижением

температуры воздуха в нерабочее время до допустимого предела. В промышленных зданиях эта температура равна +5°C, а в общественных местах зависит от назначения помещения. Особенно целесообразно снижение тепловой мощности дежурной системы отопления в помещениях, в которых допускается существенное снижение температуры воздуха. Теплопоступления от системы отопления в конечном итоге входят как одна из составляющих в тепловую нагрузку на СВ или СКВ. Снижение нагрузки на СВ или СКВ позволяет в холодное время года сократить воздухообмен до минимального по санитарной норме, что в свою очередь даёт ощутимую экономию энергии.

Снижение суммарного числа часов работы систем. Сокращения суммарной продолжительности работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха за сутки можно достичь периодическим включением и выключением этих систем. При этом возникают колебания температуры и других параметров внутреннего воздуха. Нормируемые ограничения на колебания параметров определяют условия периодического включения систем. Возможны такие ситуации, когда периодическое выключение систем недопустимо, и они должны работать постоянно.

Под периодическим отоплением понимается работа системы отопления в дневные часы и перерыв в нерабочее время. С понижением температуры наружного воздуха периодическое отопление возможно до тех пор, пока значение температуры воздуха в нерабочее время выше допустимого. Охлаждение помещения в нерабочее время зависит от теплозащиты помещения, поэтому указанное мероприятие предпочтительно в хорошо утеплённых зданиях. В связи с тем, что в нерабочее время охлаждаются и ограждения, и оборудование, - для их разогрева к моменту начала эксплуатации требуется предварительный нагрев за счет работы системы в форсированном режиме.

Использование периодического отопления в зрительных залах кинотеатров, в которых возможно понижение температуры внутреннего воздуха в нерабочее время до +8°C, даёт экономию тепла до 7% (при повышенной теплозащите помещений).

Принцип действия периодической вентиляции основан на том, что при вентилировании помещения свежим воздухом концентрация вредности (например, углекислого газа в общественном помещении) убывает быстро (по экспоненциальному закону), а при бездействии вентиляции повышение концентрации вредности в воздухе помещения протекает медленнее (по линейному закону). На этом же принципе основан традиционный и эффективный метод периодического проветривания помещений.

Режим работы системы вентиляции в общественных зданиях определяется накоплением в воздухе выделяемой людьми углекислоты, поэтому эффективность периодической вентиляции зависит от интенсивности выделения углекислоты (количества людей в помещении) и объёма помещения. Скорость проветривания определяется кратностью вентиляции. Во всех случаях требуемая продолжительность проветривания равна в часах кратности воздухообмена, поделённой на 3. То есть при кратности воздухообмена, равной 3, требуется 1 час, чтобы проветрить помещение. Частота включения вентиляции не зависит от кратности и целиком определяется объёмом помещения. Поэтому эффективность периодической вентиляции особенно велика в помещениях большого объёма при переменном заполнении помещений людьми. В промышленных зданиях периодическая вентиляция может эффективно использоваться при технологических процессах с переменным выделением вредных газов.

Так как при периодическом включении системы вентиляции имеет место колебание температуры и других параметров воздуха, то там, где такие колебания не допускаются, требуется синхронизация работы вентиляции и регулирования тепловой мощности отопления.

При круглогодичном использовании периодической вентиляции её энергетическая эффективность возрастает. Работа системы вентиляции в режиме периодического включения может осуществляться вручную, с помощью таймера или вестись полностью автоматически. Наиболее удобно автоматическое регулирование включения вести по сигналу датчика концентрации углекислого газа или другой газовой вредности.

Учёт концентрации газовых вредностей. Снижения расхода энергии в системах вентиляции и кондиционирования воздуха можно достичь, обеспечивая их работу с переменным расходом воздуха. В помещениях общественных и промышленных зданий с тепло-влажностными избытками возможность уменьшения расхода в эксплуатационных условиях открывается в связи со снижением нагрузки на систему относительно расчетного значения. На снижение расхода имеется два ограничения. Первое ограничивает минимальное количество наружного воздуха по санитарной норме. Второе связано с ограничением температуры приточного воздуха по условиям воздухораспределения.

Описанные выше способы снижения нагрузки на системы вентиляции и кондиционирования воздуха позволяют преодолеть первое препятствие. Второе ограничение можно значительно отодвинуть, если ввести уменьшение расхода приточного воздуха на основе регистрации концентрации вредности в воздухе помещения. Применительно к общественным зданиям такой вредностью является избыток углекислоты и расход наружного воздуха можно менять по мере заполнения помещения людьми. Автоматически такое изменение осуществляется по датчику концентрации углекислоты. Снижение расхода воздуха относительно расчётной величины возможно как в тёплое так и в холодное время года.

Энергосбережение при использовании дополнительных источников энергии для теплоснабжения систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Утилизация теплоты выбросного воздуха. Среди множества вторичных энергоресурсов, образующихся при работе различных технологических установок и энергетического оборудования на промышленных предприятиях можно выделить основные, пригодные для утилизации: теплота уходящих дымовых газов котлоагрегатов, печей, других теплоиспользующих установок; теплота сжатого воздуха компрессоров; теплота охлаждающей воды от технологического оборудования; теплота парогазовых потоков от сушильных установок; теплота вытяжного воздуха систем вентиляции и кондиционирования и другие. С точки зрения теплоснабжения систем вентиляции и кондиционирования воздуха утилизация теплоты выбросного воздуха представляет наибольший интерес. Следует отметить, что к настоящему времени в нашей стране отсутствует крупносерийное производство широкой номенклатуры теплоутилизаторов. Нет однозначно определенной области целесообразного применения тех или иных их видов. Отечественные образцы утилизаторов теплообменников сведены в Табл. III.1.

Принципиально для утилизации теплоты выбросного воздуха используется шесть видов утилизаторов, имеющих разную эффективность. Наиболее высокой эффективностью обладают регенеративные теплообменники с вращающейся насадкой. Наша промышленность такие установки не выпускает. На Рис. III.1. показано устройство такого аппарата фирмы ФЛЭКТ (Швеция). Теплообменник устанавливается в параллельных потоках приточного и вытяжного воздуха (см. Рис. III.2.), разделённых стенкой и передаёт тепло (а при определённых условиях и влагу) из выбросного воздуха в приточный. Причём процесс теплообмена идет непрерывно.

Таблица III.1.

Характеристика теплоутилизационного оборудования.

Энергосберегающее оборудование	Тип, марка	Завод-изготовитель
Теплоутилизаторы рекуперативные на базе тепловых труб	ТП.2,5-ТІРК.02	Краматорский и Домодедовский заводы "Кондиционер"
	ТП.10-ТІРК.02	
Теплообменник с промежуточным теплоносителем		Северодонецкий опытный завод НПО "Техэнергохимпром"
Теплоутилизаторы рекуперативные для систем с промежуточным теплоносителем	ТП.05-ТІ.РК.03(04)	Костромской калориферный завод
	ТП.16-ТІ.РК.03(04)	
	ТП.25-ТІ.РК.03(04)	
Теплоутилизаторы пластинчатые рекуперативные		Костромской калориферный завод
	ТП.05-Т2.РК.01	
Теплоутилизаторы регенеративные вращающиеся	ТП.10-Э2РГ.01	Костромской калориферный завод
	ТП.16-Э2РГ.01	
	ТП.25-Э2РГ.01	
	ТП.40-Э2РГ.01	
	ТП.60-Э2РГ.01	
	ТП.80-Э2РГ.01	
Кондиционеры-утилизаторы	КТЦ2-10	Харьковский завод "Кондиционер"
	КТЦ2-20	
	КТЦ2-30 до	
	КТЦ2-250	

Пластинчатые теплообменники	ГОСТ 15518-83	Павлоградский завод химического машиностроения
Трубчатые радиационные рекуператоры		Северодонецкий опытный завод НПО "Техэнергохимпром"
Спиральные теплообменники	ТУ 26-01-268	ПО им. Фрунзе, Сумы
Контактные экономайзеры с насадкой из колец Рашига	ЭК-БМ1-1	Ленинабадский завод "ВНПО" Союзпромгаз
	ЭК-БМ1-2	
КТАНЫ - утилизаторы (газ)	КТАН-0,05УГ	Ленинабадский завод "ВНПО" Союзпромгаз
	КТАН-0,1УГ	
	КТАН-0,25УГ	
	КТАН-0,5УГ	
	КТАН-0,8УГ	
	КТАН-1,5УГ	
	КТАН-2,3УГ	
	КТАН-4,5УГ	
	КТАН-6УГ	
	КТАН-12УГ	
Контактные подогреватели	АРВ-10	НИИСТ (Киев)
	АСК-10	
	ОВА-2	
КТАНЫ - воздухоподогреватели систем отопления и вентиляции	КТАН-15ВП и другие	Латгиппром
КТАНЫ - воздухоподогреватели дутьевого воздуха	КТАН-3,6 ВПД	Латгиппром
	КТАН-6 ВПД	
	КТАН-9 ВПД	
	КТАН-13 ВПД	
	КТАН-25 ВПД	
	КТАН-40 ВПД	
	КТАН-60 ВПД	

В 1982 г. в САНТЕХНИИПРОЕКТ был разработан технический проект крышной приточно-вытяжной установки (см. Рис. III.3.). В верхней части камеры горизонтально расположен вращающийся регенеративный

теплоутилизатор, разработанный совместно ЗИЛ и МНИИТЭП. Теплообменник представляет собой барабан, образованный лентами из гофрированной и гладкой алюминиевой фольги. Частота вращения 10 об/мин. К внутреннему воздуховоду предусмотрено присоединение воздухораспределителя ВВР. Область применения крышных приточных теплоутилизаторов в основном – общественные здания (производительность по воздуху 5-20 тыс.куб.м./ч.). Как и любой утилизатор такого типа, его не следует применять при загрязнении воздуха токсичными, взрывоопасными и пахнущими веществами. При температуре выбросного воздуха +20°С и наружного -20°С установка обеспечивает нагрев наружного воздуха до +8°С и имеет при этом тепловую мощность от 47 до 187 кВт в зависимости от воздухопроизводительности.

Помимо регенеративных теплообменников с вращающейся насадкой известны конструкции с неподвижными насадками. Принцип их действия основан на попеременном движении нагретого и нагреваемого потоков воздуха через теплообменники. В качестве примера конструкция одного из простейших теплообменников показана на Рис. III.4.

Достаточно высокой эффективностью обладают пластинчатые воздухо-воздушные теплообменники – утилизаторы. В них обменивающиеся теплом потоки воздуха разделены стенкой, поэтому нет ограничений на состав воздуха.

Использование теплоты солнечной радиации. Прямое использование солнечной радиации сулит существенные выгоды. Солнечная радиация обладает экологической чистотой, доступностью. Однако прямое использование тепла солнца затруднено из-за относительной сложности поглощения и трансформации, а также из-за несовпадения во времени прихода и потребления энергии.

Все гелиоиспользующие установки подразделяются на пассивные и активные. Первые – наиболее простые и дешевые позволяют использовать солнечное тепло за счет архитектурно-планировочных мер. В качестве примера на Рис. III.5. показано устройство так называемой стены Тромба, позволяющей улавливать и аккумулировать тепло солнечной радиации в обычной наружной стене здания, имеющей дополнительный слой остекления.

Активные системы имеют разного рода гелиоприёмники, в которых нагревается теплоноситель. Такие системы подразделяются на воздушные и водяные по виду теплоносителя, получающего тепло. Вода является удобным теплоносителем, однако имеет существенный недостаток – замерзает. В местностях с низкой температурой наружного воздуха используются системы со спиртовыми растворами в качестве теплоносителя. Воздух в этом отношении обладает преимуществом, однако он имеет малую удельную теплоёмкость, что требует увеличенных габаритов установки.

Основным элементом системы является гелиоприёмник. Различают несколько видов этих теплообменников. Концентрирующие гелиоприёмники состоят из сферических или цилиндрических поверхностей, в фокус которых помещается нагреваемый элемент (см. Рис. III.6). Такие приёмники могут обеспечивать нагрев теплоносителя до 100°С.. Они эффективно работают только при прямом облучении и требуют периодической очистки.

Наибольшее распространение получили плоские гелиоприёмники или солнечные коллекторы, состоящие из стеклянного или пластикового покрытия (одинарного, двойного, тройного), тепловоспринимающей панели и тепловой изоляции обратной стороны панели. Под действием солнечных лучей поверхность нагревается до 70-80°С. Для увеличения эффективности поверхностей их покрывают специальными плёнками или вакуумируют объём над поверхностью. Технические характеристики, выпускаемых в СНГ коллекторов, приведены в Табл. III .2.

Таблица III .2.  
Техническая характеристика солнечных коллекторов.

Солнечный коллектор	Материал	Поглощающая поверхность, кв. м.	Объём теплоносителя, л	КПД	Суточная производительность, л	Срок службы, годы	Экономия топлива, т/т
Братского завода	Сталь	0,8	5	0,5	65	2	0,15
КиевЗНИИЭП	Сталь	0,7	8,6	0,5	70	3	0,12
Бакинского завода	Алюминиевый сплав	0,63	0,65	0,55	70	15	0,2
тип 1							
тип 2		0,82	0,9	0,55	75	15	0,25
ИА АН Киргизии	То же	0,5	12	0,6	75	15	0,25
ФТИ АН Узбекистана	Сталь	0,62	0,8	0,35..0,4	65	3	0,15
со штампом радиатора							



типа лист-труба	Сталь	0,61	1,3	0,3..0,35	60	5	0,12
-----------------	-------	------	-----	-----------	----	---	------

Более простые устройства для поглощения солнечной радиации называются солнечными абсорберами. Эти теплообменники не имеют защитного остекления, в связи с чем нет надобности в корпусе, герметизации, очистке стекла (см. Рис. III.7). В отличие от солнечных коллекторов, абсорберы могут работать лишь в сочетании с тепловым насосом.

Системы гелиоснабжения бывают индивидуальными и централизованными. Для выравнивания несоответствия поступления и потребления тепла они оборудуются аккумуляторами. Последние, в свою очередь, в зависимости от назначения, могут быть суточными и сезонными.

Тепловые насосы. Гелиоиспользующие установки, утилизаторы низкопотенциального тепла включают в свой контур теплонасосные установки (ТНУ). Значительные экономические и экологические преимущества ТНУ делают их перспективными в области тепло-холодоснабжения.

Энергетическая эффективность ТНУ оценивается коэффициентом преобразования, равным отношению полученной теплоты в конденсаторе к тепловому эквиваленту затраченной на привод компрессора электроэнергии. Обычно этот коэффициент равен 3÷4, т.е. на единицу мощности привода извлекаются 3÷4 единицы тепловой мощности низкопотенциального тепла.

Рассмотренные выше энергосберегающие меры представляют собой лишь часть общего комплекса средств повышения энергетической эффективности систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Осуществление этих или других энергосберегающих решений подразумевает нормальную эксплуатацию систем, спроектированных и смонтированных в соответствии с существующими нормами. В реальной жизни, к сожалению, часто допускаются нарушения правил эксплуатации. Наведение порядка в отопительно-вентиляционном хозяйстве организации или предприятия – это одна из наиболее эффективных мер в энергосбережении. Второе важное условие энергосбережения состоит в учёте расхода энергоресурсов. Реализация этих условий открывает путь к внедрению энергосбережения.

1. Понятия условного топлива, первичного условного топлива.
2. Оценка потенциалов энергосбережения в котельных.
3. Энергосбережение в системах распределения пара и горячей воды.
4. Методы оценки потерь энергии и энергоносителей при проведении энергоаудита.
5. Энергосбережение при производстве и распределении энергии и энергоносителей.
6. Энергосбережение в промышленности.
7. Энергосбережение на объектах жилищно-коммунального хозяйства.

## 1. Понятия условного топлива, первичного условного топлива.

Напомним читателю некоторые положения, которые упростят усвоение предложенных примеров и решение задач.

Различные виды органического топлива, используемые для энергообеспечения потребителей, при сжигании единицы объема или массы выделяют различное количество теплоты. Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 кг твердого или жидкого топлива или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива, называют *теплотой сгорания топлива* или теплотворной способностью топлива.

Для сопоставления энергетической ценности различных видов топлива и их суммарного учета введено понятие *условного топлива*. В качестве единицы условного топлива принимается топливо, которое имеет низшую теплоту сгорания, равную 7000 ккал/кг (29,33 МДж/кг). Зная теплотворную способность любого вида топлива, можно определить его эквивалент в условном топливе.

$$B_{yi} = B_{ni} \frac{Q_{ni}^p}{7000}, \quad (1.1)$$

где  $B_{yi}$  – расход  $i$ -того вида топлива в условном топливе,  $B_{ni}$ ,  $Q_{ni}^p$  – расход и теплотворная способность (ккал/кг)  $i$ -того вида топлива в натуральных единицах.

Для прямого и обратного пересчета единиц количества энергии можно использовать диаграмму (см. приложение 1). При составлении диаграммы для пересчета единиц потребления электрической энергии использованы теоретический эквивалент 0,123 кг у.т./кВт×ч (коэффициент над линией) и средний по стране удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии 0,320 кг у.т./кВт×ч. На диаграмме приняты величина теплотворной способности природного газа

$Q_{нГ}^p = 7950$  ккал/м<sup>3</sup>, а мазута  $Q_{нМ}^p = 9500$  ккал/кг.

При использовании понятия условного топлива не учитывают затраты энергии на добычу топлива, его транспортировку потребителю, его подготовку или переработку.

Учесть эти затраты при анализе энергопотребления позволяет введение другой единицы – одной тонны *первичного условного топлива*.

Коэффициенты пересчета потребленного котельно-печного топлива в первичное составляют для 1 т органического топлива: мазута – 1,107; газа – 1,167; энергетического угля – 1,065 т у.т.

### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

#### Пример 1.1

#### Условие

Промышленное предприятие в течение года потребляет:

природного газа ( $Q_{нГ}^p = 7950$ ккал/м <sup>3</sup> )	$G_{Г} =$	м <sup>3</sup>
мазута ( $Q_{нМ}^p = 10000$ ккал/кг)	$M =$	т
угля ( $Q_{нУ}^p = 4500$ ккал/кг)	$У =$	т

Определите потребности предприятия в первичном топливе.

#### Решение

Для определения расхода энергии в первичном условном топливе следует перевести расходы топлива из натуральных единиц в условное топливо.

$$B_{\Sigma} = G_{Г} \times \frac{Q_{нГ}^p}{7000} + M \times \frac{Q_{нМ}^p}{7000} + У \times \frac{Q_{нУ}^p}{7000} = \text{т.у.т.}$$

Используя коэффициенты пересчета условного топлива в первичное условное топливо, получим:

$$B_{\Sigma}^{ПТ} = \quad \times 1,167 + \quad \times 1,107 + \quad \times 1,065 = \quad \text{т.п.у.т.}$$

Пересчет в первичное условное топливо производят с учетом затрат энергии на добычу, облагораживание и транспорт топлива.

### Пример 1.2

#### Условие

Предприятие на технологию и выработку тепловой и электрической энергии на собственной ТЭЦ использует мазут с  $Q_H^p = 12100$  ккал/кг.

Дополнительное потребление электроэнергии предприятием составляет  $\mathcal{E}_{AO} = 80$  млн. кВт×ч/год.

Потребление мазута на технологию составляет  $M = 400$  т/год. ТЭЦ вырабатывает  $Q = 50 \times 10^3$  Гкал/год тепловой энергии с удельным расходом условного топлива  $\epsilon_{mm} = 160$  кг у.т./Гкал и  $\mathcal{E} = 20 \times 10^6$  кВт×ч/год с удельным расходом условного топлива  $\epsilon_3 = 320$  г у.т./кВт×ч.

Определите годовое потребление предприятием энергии в условном топливе.

#### Решение

Годовое потребление энергии:

$$B_2 = B_T + B_{TЭ} + B_{ЭЭ} + B_{АО}, \text{ т у.т./год}$$

где  $B_T$  – расход условного топлива на технологию, т у.т./год;

$B_{TЭ}$  – расход условного топлива на производство тепловой энергии, т у.т./год;

$B_{ЭЭ}$  – расход условного топлива на производство электрической энергии, т у.т./год;

$B_{АО}$  – потребление электроэнергии из энергосистемы, т у.т./год.

Годовое потребление мазута в условном топливе на технологию:

$$B_T = M \times \frac{Q_H^p}{7000} = \frac{400 \times 12100}{7000} = 691,4, \text{ т у.т./год}$$

Годовое потребление энергии в условном топливе на выработку тепловой энергии:

$$B_{TЭ} = Q \times \epsilon_{mm} = 50 \times 10^3 \times 160 = 8 \times 10^6 \text{ кг у.т./год}$$

Годовое потребление энергии в условном топливе на выработку электроэнергии на собственной ТЭЦ:

$$B_{ЭЭ} = \mathcal{E} \times \epsilon_3 = 20 \times 10^6 \times 0,32 = 6,4 \times 10^6 \text{ кг у.т./год}$$

Годовое потребление энергии в условном топливе из энергосистемы:

$$B_{АО} = \mathcal{E}_{АО} \times \epsilon_{ЭТ} = 80 \times 10^6 \times 0,123 = 9,84 \times 10^6 \text{ кг у.т./год}$$

где  $\epsilon_{ЭТ}$  – теоретический эквивалент в условном топливе 1 кВт×ч.

Тогда

$$B_T = 691,4 + 8 \times 10^3 + 6,4 \times 10^3 + 9,84 \times 10^3 = 24931,4 \text{ т у.т./год}$$

#### Примечание:

1. При пересчете расходов тепловой и электрической энергии в условное топливо можно было воспользоваться диаграммой (приложение 1). Для пересчета потребленного на технологию мазута следует использовать новый коэффициент, поскольку на диаграмме мазут имеет  $Q_H^p = 9500$  ккал/кг.
2. Перевод в условное топливо используемую электроэнергию следует осуществлять раздельно, поскольку удельный расход условного топлива на выработку 1 кВт×ч, на ТЭЦ  $\epsilon_3 = 320$  г у.т./кВт×ч, а теоретический эквивалент  $\epsilon_{ЭТ} = 123$  г у.т./кВт×ч.

### Пример 1.3

#### Условие

Подлежит ли потребитель ТЭР согласно Федеральному закону «Об энергосбережении» обязательным энергетическим обследованиям, если в течение года потребляет:

природного газа	$G_T = 15 \times 10^5 \text{ м}^3$ ( $Q_H^p = 8100$ ккал/м <sup>3</sup> ),
электроэнергии	$\mathcal{E} = 25 \times 10^9$ кВт×ч,
тепловой энергии	$Q = 7,5 \times 10^3$ Гкал,
вторичных энергоресурсов (горючих) самого предприятия	$G_{BT} = 15 \times 10^3 \text{ т}$ ( $Q_{HBT}^p = 3500$ ккал/кг)

#### Решение

Суммарное годовое потребление в условном топливе энергии составляет:

$$B_{\Sigma} = G_{Г} \times \frac{Q_{н}^p}{7000} + \mathcal{E} \times \epsilon_{ЭГ} + Q \times \epsilon_{ТТ} + G_{ВТ} \times \frac{Q_{нВТ}^p}{7000} = \frac{15 \times 10^5 \times 8100}{7000} +$$

$$+ 25 \times 10^9 \times 0,123 + 7,5 \times 10^3 \times 143 + \frac{15 \times 10^3 \times 3500}{7000} > 6 \times 10^6, \text{ кг у.т./год}$$

Однако

$$B_{\Sigma} - G_{ВТ} \times \frac{Q_{нВТ}^p}{7000} < 6 \times 10^6, \text{ кг у.т./год}$$

Примечание:

Ответ на поставленный вопрос отрицательный, поскольку согласно Федеральному закону «Об энергосбережении» обязательным энергетическим обследованиям подлежат потребители ТЭР, потребляющие больше 6000 т у.т./год, однако, без учета потребления собственных вторичных энергоресурсов.

### Задачи

#### Задача 1.1

На предприятии для нужд ТЭЦ и технологии потребляется  $500 \times 10^6$  м<sup>3</sup>/год природного газа,  $400 \times 10^6$  м<sup>3</sup>/год из которых используется на ТЭЦ для выработки электроэнергии и тепла. Известно, что на ТЭЦ вырабатывается  $200 \times 10^3$  Гкал/год при  $\epsilon_{mm} = 40,6$  кг у.т./ГДж. Удельный расход условного топлива  $\epsilon_{\text{э}} = 330$  г у.т./кВт×ч.

Из энергосистемы предприятие потребляет 60 млн. кВт×ч/год.

Определите количество вырабатываемой на ТЭЦ электроэнергии и общие затраты энергии на предприятии в т у.т.

#### Задача 1.2

Предприятие запланировало получить за год со стороны 302,75 т у.т. энергоресурсов. Причем из них 54% мазута, 42% тепловой энергии, 4% природного газа. По итогам года отклонение от планового расхода составило по мазуту: +40 т, по теплу: +50 ГДж, по газу:  $+ 0,1 \times 10^3$  м<sup>3</sup>.

Определите фактический расход всех энергоресурсов, а также годовое энергопотребление предприятием условного топлива.

#### Задача 1.3

Сопоставьте расходы в натуральных единицах двух видов топлива (газа и мазута) для ТЭЦ, электрическая мощность которой 10 МВт, а тепловая, передаваемая в теплосеть в виде горячей воды 67 ГДж/ч.

#### Задача 1.4

Предприятие потребляет за год  $12 \times 10^6$  м<sup>3</sup>/год природного газа, 70 млн. кВт×ч/год электрической энергии, 40 тыс. Гкал/год тепловой энергии.

Определите приходную часть энергобаланса предприятия и процентную долю каждого энергоносителя в нем.

#### Задача 1.5

Предприятие потребляет  $40 \times 10^3$  тонн мазута в год. ТЭЦ предприятия, работающая на мазуте, вырабатывает  $50 \times 10^3$  Гкал/год тепловой энергии и  $10 \times 10^6$  кВт×ч электрической энергии в год при указанных на диаграмме (приложение 1) удельных расходах условного топлива.

Определите расход топлива, используемого на технологию.

#### Задача 1.6

Предприятие потребляет в год 900 тыс. м<sup>3</sup> природного газа, теплотворная способность которого 8200 ккал/м<sup>3</sup> 7 тыс. Гкал тепловой энергии и 1,5 млн. кВт×ч электрической энергии.

Определите, подлежит ли предприятие обязательным энергетическим обследованиям согласно закону «Об энергосбережении».

#### Задача 1.7

Предприятие потребляет из энергосистемы 10 млн. кВт×ч в год электроэнергии. Удельный расход условного топлива на выработку 1 кВт×ч в энергосистеме составляет 340 г у.т./кВт×ч.

Определите расход природного газа ( $Q_n^p=7950$  ккал/м<sup>3</sup>) в энергосистеме на выработку потребляемой предприятием электроэнергии и количество располагаемой (в условном топливе) предприятием энергии.

Задача 1.8

Определите коэффициенты пересчета и постройте диаграмму для пересчета единиц энергии, аналогичную приложению 1, если вместо мазута взят уголь с  $Q_n^p=4400$  ккал/кг; если вместо ГДж взяты дрова с  $Q_n^p=2500$  ккал/кг.

Задача 1.9

Определите долю каждого из потребляемых энергоресурсов в топливно-энергетическом балансе предприятия, если известно годовое потребление электроэнергии  $\mathcal{E}=97,5 \times 10^6$  кВт×ч, природного газа  $G=1,85 \times 10^6$  м<sup>3</sup>, дизельного топлива  $D=2,6 \times 10^6$  л, мазута  $85,8 \times 10^6$  л, сжиженного газа  $0,3 \times 10^6$  кг, кокса  $3 \times 10^6$  кг.

Задача 1.10

В условиях задачи 1.9 покажите финансовую целесообразность использования одного энергоносителя, если известны тарифы  $\mathcal{E}=1,05$  руб./кВт×ч,  $g=750$  руб./1000 м<sup>3</sup>,  $d=10$  руб./л,  $m=3500$  руб./т,  $g_f=2500$  руб./кг,  $k=500$  руб./кг.

Повторите расчеты при существующих в настоящее время тарифах.

## 2. Оценка потенциалов энергосбережения в котельных.

Мероприятия по энергосбережению в промышленных котельных разнообразны. Среди них повышение КПД котлоагрегатов за счет снижения температуры уходящих газов, использование тепла продувочной воды, рациональное снижение давления пара от давления в барабане котла до давления, требуемого в технологических аппаратах, рациональное распределение нагрузки между несколькими котлоагрегатами, работающими одновременно и др.

При рассмотрении мероприятий по экономии тепловой энергии и топлива наиболее приоритетными являются такие, применение которых позволяет не только обеспечить значительную экономию, но и позволяют повышать производительность и надежность теплотехнических установок.

Напомним некоторые положения из теплового расчета котлоагрегатов. Коэффициент полезного действия котельного агрегата характеризует степень совершенства процесса превращения химической энергии топлива в тепловую энергию вырабатываемого пара или горячей воды.

КПД брутто учитывает использование тепловой энергии топлива в котлоагрегате и представляет собой отношение выработанного тепла к затраченному.

$$\eta_{ка}^{бр} = \frac{Q_{пол}}{Q_{затр}} \cdot 100\% = 100\% - \Sigma q \quad (2.1)$$

$\Sigma q$  – сумма удельных (на единицу массы или объема топлива) потерь тепла с уходящими газами, от химической и механической неполноты сгорания топлива и потери в окружающую среду, %.

Тепловые потери с уходящими газами  $q_1$  можно оценить по формуле:

$$q_1 = \frac{t_{yx} - t_g}{t_{max}} \cdot [c' + (h - 1) \cdot n \cdot k] \cdot (100 - q_3), \quad (2.2)$$

$$h = \frac{RO_2^{max}}{RO_2 + CO + CH_4}, \quad (2.3)$$

где  $q_3$  - тепловые потери от механической неполноты сгорания топлива, %;  $t_{yx}$ ,  $t_b$ ,  $t_{max}$  – температуры уходящих газов; воздуха, подаваемого в котельный агрегат; максимальная температура дымовых газов, °С;  $c'$  и  $k$  – поправочные коэффициенты, показывающие отношение средних удельных теплоемкостей разбавленных и не разбавленных воздухом дымовых газов в интервале температур от 0 до  $t_{yx}$  к средним удельным теплоемкостям в интервале от 0 до  $t_{max}$ ;  $n$  – коэффициент, показывающий отношение средней удельной теплоемкости воздуха в интервале температур от 0 до  $t_{yx}$  к средней удельной теплоемкости не разбавленного воздухом дымовых газов в интервале от 0 до  $t_{max}$ ;  $RO_2$  – сумма трехатомных газов (значения  $RO_2^{max}$  для основных видов первичных энергоресурсов приведены в Приложении 6).

Тепловые потери от химической неполноты сгорания топлива  $q_2$  можно оценить по упрощенной формуле:

$$q_2 = \frac{Q_{н.сг}^p \cdot h}{P} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

$Q_{н.сг}^p$  – низшая теплота сгорания 1 м<sup>3</sup> сухих продуктов сгорания (подсчитывается по данным анализа), кДж/м<sup>3</sup>

$$Q_{н.сг}^p = [30,2CO + 25,8H_2 + 85,5CH_4] \cdot 4,19 \quad (2.5)$$

$P$  - низшая теплота сгорания рабочей массы топлива, отнесенная к объему сухих продуктов сгорания, кДж/м<sup>3</sup>. Ориентировочные значения  $P$  по основным видам первичных энергоресурсов приведены в Приложении 6. КПД брутто можно определить иначе:

$$\eta_{ка}^{бр} = \frac{D \cdot (h_p - h_{пв}) + Q_{пр}}{B \cdot Q_n^p} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

где  $D$  – паропроизводительность котельного агрегата, кг/ч;  $h_p$ ,  $h_{пв}$  – энтальпия пара, питательной воды, кДж/кг;  $Q_{пр}$  – используемая тепловая энергия продувочной воды, кДж/ч;  $B$ ,  $Q_n^p$  – расход, теплотворная способность топлива, кг/ч, кДж/кг

КПД нетто учитывает расход тепловой энергии на собственные нужды.

$$\eta_{ка}^{ум} = \frac{(D - D_{сн}) \cdot (h_{п} - h_{пв}) + Q_{пр}}{B \cdot Q_{H}^p} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

где  $D_{сн}$  – расход пара на собственные нужды, кг/ч.

Для определения количества энергии, полезно используемой при утилизации тепла продувочной воды, используют выражение:

$$Q_{пр} = \varphi \cdot G_{пр} \cdot (h_{кв} - h_{пв}) \quad (2.8)$$

Коэффициент использования тепловой энергии продувочной воды:

$$\varphi = \frac{\beta \cdot (h_{сп} - h_{ив}) + (1 - \beta) \cdot (h_{сп} - h_{ив})}{h_{кв} - h_{ив}} \quad (2.9)$$

Доля пара, выделяющегося в сепараторе

$$\beta = \frac{h_{кв} - h_{св}}{h_{сп} - h_{св}} \quad (2.10)$$

где  $h_{кв}$ ,  $h_{ив}$ ,  $h_{св}$ ,  $h_{сп}$  – энтальпия котловой, исходной воды, сепарированной воды и пара, кДж/кг.

Непрерывная или периодическая продувка в барабанных котлах применяется для получения пара заданных параметров по концентрации солей, растворенных в котловой воде, при этом часть котловой воды заменяется подпиточной водой.

Суммарные потери топлива без использования тепловой энергии продувочной воды составляют:

$$\Delta B' = \frac{D \cdot \tau \cdot p_{п} \cdot (h_{кв} - h_{ив})}{Q_{H}^p \cdot \eta_{ка}^{бп}} \quad (2.11)$$

где  $\tau$  - годовое число часов работы котельной;  $p_{п}$  – величина продувки в процентах от паропроизводительности. Последнюю можно определить:

$$p_{п} = \frac{S_x \cdot \Pi_k}{S_{кв} - S_x} \cdot 100\% \quad (2.12)$$

где  $S_x$  - сухой остаток химически очищенной воды, мг/кг;  $\Pi_k$  - суммарные потери пара и конденсата в долях паропроизводительности котельной;  $S_{кв}$  – расчетный сухой остаток котловой воды, мг/кг (принимается по нормам или по Приложению 7).

Если для использования тепла непрерывной продувки применяются сепаратор и теплообменник (рис. 1), то экономия топлива (с учетом вскипания части продувки) определяется по формуле:

$$\Delta B'' = \frac{D \cdot \tau \cdot p_{п} \cdot [\beta \cdot (h_{сп} - h_{ив}) + (1 - \beta) \cdot (h_{св} - h_{сп})]}{Q_{H}^p \cdot \eta_{ка}^{бп}} \quad (2.13)$$



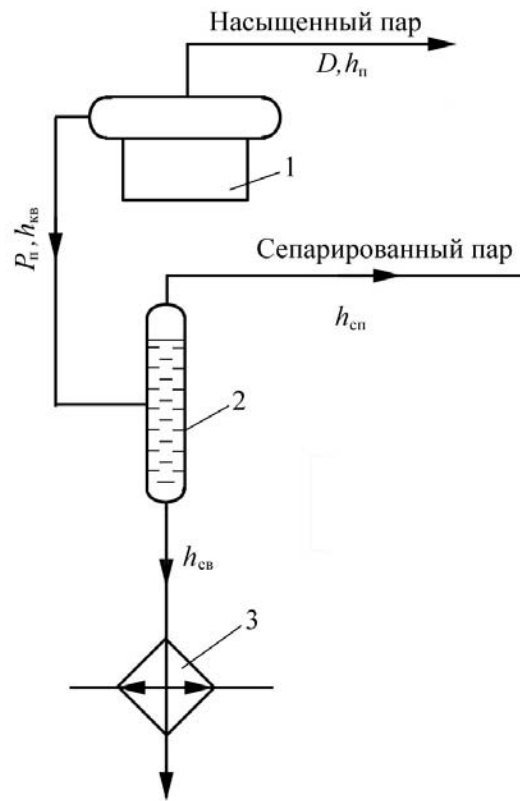


Рис. 1

Значительную экономию топлива можно получить при замещении пара, полученного от собственной котельной, паром, отпускаемым с ТЭЦ. Тогда необходимо учитывать КПД передающих сетей от централизованного источника:

$$\Delta B = 143 \times Q \left( \frac{1}{\eta_{мк}} - \frac{y}{\eta_{кт} \cdot \eta_{тс}} \right), \quad (2.14)$$

где  $Q$  – расход тепловой энергии в паре, ГДж;  $\eta_{мк}$ ,  $\eta_{кт}$ ,  $\eta_{тс}$  – КПД местной котельной, котельной ТЭЦ, тепловых сетей;  $y$  – коэффициент расхода тепла на теплофикацию ( $y \approx 0,42 \div 0,82$ ).

$$y = \frac{Q_{отб}}{Q_{ТЭЦ}}, \quad (2.15)$$

где  $Q_{отб}$ ,  $Q_{ТЭЦ}$  – расчетная тепловая нагрузка отборов теплофикационных турбин, ТЭЦ.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Пример 2.1.

#### Условие

Определите годовые суммарные потери условного топлива без использования тепловой энергии продувочной воды в котельной. Паропроизводительность котельной  $D_k = 48$  т/ч, давление насыщенного пара  $P_n = 1,3$  МПа, температура исходной воды, поступающей в котельную  $t_{ue} = 10^\circ\text{C}$ , годовое число часов использования паропроизводительности котельной  $\tau = 6500$  ч,  $\eta_{ка}^{бp} = 0,73$ . Сухой остаток химически очищенной воды  $S_x = 515$  мг/кг, суммарные потери пара и конденсата в долях паропроизводительности котельной  $\Pi_k = 0,41$ . В качестве сепарационного устройства используются внутрибарбанные циклоны.

#### Решение

Исходя из условия задачи по Приложению 7 определяем расчетный сухой остаток котловой воды  $S_{кв} = 4000$  мг/кг, затем по 2.12 определяем величину продувки  $p_n$ :

$$p_n = \frac{515 \cdot 0,41}{4000 - 515} \cdot 100\% = 6,059$$

По таблицам свойств водяного насыщенного пара находим значение энтальпии при  $P_n = 1,3$  МПа:  $h_n = 814,7$  кДж/кг.

Годовые потери условного топлива без использования тепловой энергии продувочной воды, согласно 2.11 составляют:

$$\Delta B = \frac{48 \cdot 6500 \cdot 6,059 \cdot (814,7 - 10 \cdot 4,19)}{100 \cdot 29,33 \cdot 10^3 \cdot 0,73} = 682,3 \text{ т у.т./год}$$

### Пример 2.2.

#### Условие

Оцените среднегодовую экономию топлива в действующей промышленной котельной, теплопроизводительность которой  $Q=240$  ГДж/ч, за счет снижения температуры уходящих газов  $t_{yx}$  с  $190^\circ\text{C}$  до  $140^\circ\text{C}$ . Топливо – мазут ( $Q_{н,сз}^p=39,8$  МДж/кг), сжигание топлива производится при  $q_3 = 0$ , температура воздуха, подаваемого в котельный агрегат  $t_b=20^\circ\text{C}$ , максимальная температура дымовых газов  $t_{max} = 2060^\circ\text{C}$ .  $c' = 0,83$ ,  $k = 0,78$ ,  $n = 0,9$ . Состав продуктов сгорания мазута:  $\text{CO}_2 = 10\%$ ,  $\text{CO} = 0,8\%$ ,  $\text{CH}_4 = 0,05\%$ ,  $\text{H}_2 = 0,06\%$ . Годовое число часов использования паропроизводительности котельной  $\tau = 4200$  ч.

#### Решение.

Согласно Приложению 7

Вид топлива	P, кДж/м <sup>3</sup>	RO <sub>2</sub> <sup>max</sup>
Мазут	4061,4	16,5

Тогда  $h = \frac{16,5}{9,6 + 0,8 + 0,05} = 1,58$

Величина потерь  $q_1$  определяется по формуле 2.2 и составляет при температуре уходящих газов  $t_{yx}' = 190^\circ\text{C}$ :

$$q_1' = \frac{190 - 20}{2060} \cdot [0,83 + (1,58 - 1) \cdot 0,9 \cdot 0,78] \cdot 100 = 10,23\%$$

То же при  $t_{yx}'' = 140^\circ\text{C}$ :

$$q_1'' = \frac{140 - 20}{2060} \cdot [0,83 + (1,58 - 1) \cdot 0,9 \cdot 0,78] \cdot 100 = 7,22\%$$

Низшая теплота сгорания 1 м<sup>3</sup> сухих продуктов сгорания определяется по 2.5 и равна:  $Q_{н,сз}^p = [30,2 \cdot 0,8 + 25,8 \cdot 0,06 + 85,5 \cdot 0,05] \cdot 4,19 = 29,98$  кДж/м<sup>3</sup>

Тепловые потери от химической неполноты сгорания топлива  $q_2$  оцениваются по формуле 2.4:

$$q_2 = \frac{29,98 \cdot 1,58}{4061,4} \cdot 100\% = 1,17\%$$

Исходя из определения КПД брутто:

$$\text{при } t_{yx}' = 190^\circ\text{C} \quad \eta_{ка}^{бp'} = 100\% - \sum_1^4 q = 100 - 10,23 - 1,17 - 1,5 = 87\%$$

$$\text{при } t_{yx}'' = 140^\circ\text{C} \quad \eta_{ка}^{бp''} = 100\% - \sum_1^4 q = 100 - 7,22 - 1,17 - 1,5 = 90\%$$

Согласно 2.6 определим годовую экономию топлива от изменения температуры уходящих газов, а следовательно и КПД брутто котельной:

$$\Delta B = \frac{D(h_n - h_{n6}) \cdot \left( \frac{1}{\eta_{ка}^{бр'}} - \frac{1}{\eta_{ка}^{бр''}} \right)}{Q_n^p} = \frac{Q \cdot \tau \cdot \left( \frac{1}{\eta_{ка}^{бр'}} - \frac{1}{\eta_{ка}^{бр''}} \right)}{Q_n^p} = \frac{240 \cdot 10^3 \cdot 4200 \cdot \left( \frac{1}{87} - \frac{1}{90} \right)}{39,8}$$

= 9596 т мазута

В условном топливе годовая экономия энергии составит:

$$\Delta B = \frac{240 \cdot 10^3 \cdot 4200 \cdot \left( \frac{1}{\eta_{ка}^{бр'}} - \frac{1}{\eta_{ка}^{бр''}} \right)}{29,33} = 13025 \text{ т у.т.}$$

### Пример 2.3

#### Энергосбережение при редуцировании давления пара

Нижеприведенные расчеты парового эжектора позволяют для конкретных расходов пара и перепадов давления определить энергосберегающий эффект.

Схема использования повышенного давления пара

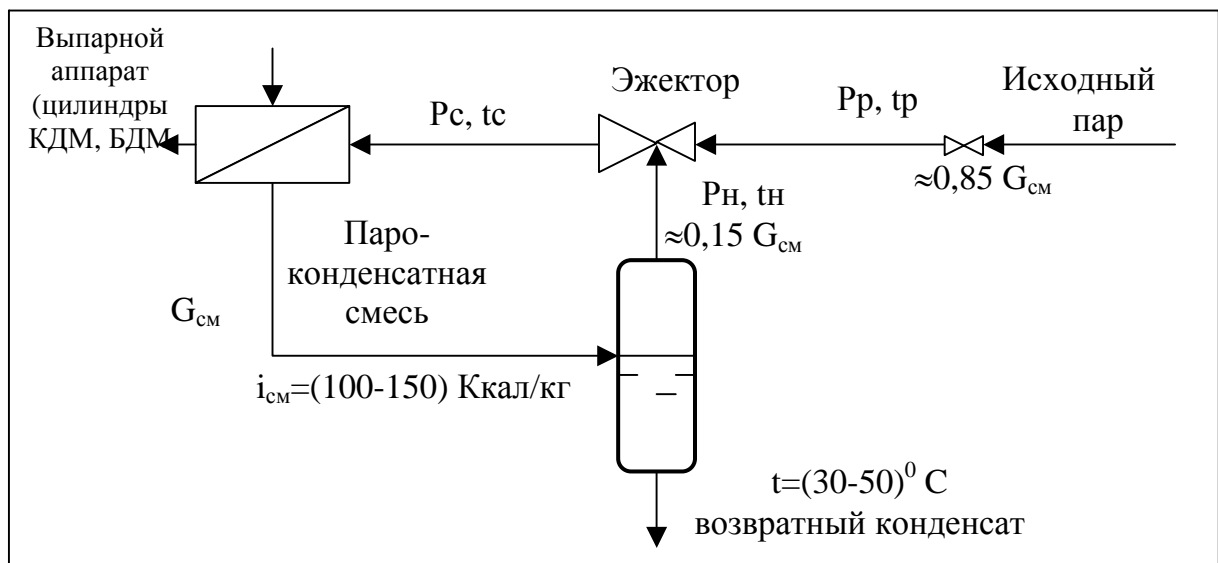


Рис. 3.4.2

#### Расчет коэффициентов инжекции вторичного пара:

Исходные данные для расчета:

Рабочий поток	Смешанный поток	Инжектируемый поток
$P_p = 0.8 \text{ МПа}$	$P_c = 0.3 \text{ МПа}$	$P_n = 0.05 \text{ МПа}$
$t_p = t_s + 50 \text{ } ^\circ\text{C} (220.41 \text{ } ^\circ\text{C})$	-	$t_n = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$

Коэффициенты, рекомендуемые на основе экспериментальных данных (Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский «Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения»):

$$\varphi_2 = 0.95; \varphi_3 = 0.975; \varphi_3 = 0.9; \varphi_4 = 0.925.$$

Коэффициент скорости рабочего потока:

$$K_1 = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 = 0.834$$

Коэффициент скорости инжектируемого потока:

$$K_2 = \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \varphi_4 = 0.812$$

$$\kappa_p = 1.3; \quad R_p = 463; \quad T_p = t_p + 273 = 493.41 \text{ K}; \quad \lambda_p = 0;$$

$$\kappa_n = 1.13; \quad T_n = t_n + 273 = 373 \text{ K}; \quad \lambda_n = 0;$$

Относительные температуры рабочего и инжектируемого потоков:

$$\tau_p = 1 - \left( \frac{\kappa_p - 1}{\kappa_p + 1} \right) \cdot \lambda_p^2 = 1$$

$$\tau_n = 1 - \left( \frac{\kappa_n - 1}{\kappa_n + 1} \right) \cdot \lambda_n^2 = 1$$

Температуры торможения при параметрах рабочего и инжектируемого потоков:

$$Tm_p = \frac{T_p}{\tau_p} = 493.41 \text{ K};$$

$$Tm_n = \frac{T_n}{\tau_n} = 373 \text{ K};$$

Критическая скорость рабочего и инжектируемого потока:

$$акр_p = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa_p}{\kappa_p + 1}} \cdot \sqrt{R_p \cdot Tm_p} = 508.18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$акр_n = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa_n}{\kappa_n + 1}} \cdot \sqrt{R_n \cdot Tm_n} = 428.065 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Промежуточные коэффициенты:

$$\sqrt{\theta} = \frac{акр_n}{акр_p} = 0.842$$

$$\frac{1}{\sqrt{\theta}} = 1.187$$

$$Прн = \frac{P_n}{P_p} = 0.125$$

$\lambda_{рн} = 1.87$  (Определяется по  $Прн$  по таблицам газодинамических функций при  $\kappa=1.13$ )

$$qrн = \left[ \frac{\kappa_n + 1}{2} \right]^{\frac{1}{\kappa_n - 1}} \cdot \lambda_{рн} \cdot \left[ 1 - \frac{\kappa_n - 1}{\kappa_n + 1} \cdot \lambda_{рн}^2 \right]^{\frac{1}{\kappa_n - 1}} = 0.479$$

Проверяем, нет ли области значений  $qc3$  в которой работа компрессора невозможна ( $qc3 \leq \frac{P_p \cdot qpc}{P_c}$ )?

$$Пнкp = \left( \frac{2}{\kappa_n + 1} \right)^{\frac{\kappa_n}{\kappa_n - 1}} = 0.578$$

$$Prs = Пнкp \cdot Прн = 0.072$$

$qps = 0.38$  (По таблицам газодинамических функций)

$\frac{P_p \cdot qps}{P_c} = 1.013$  (Поскольку  $0 < qc3 < 1$  то при любых значениях будет выполняться условие

$$qc3 \leq \frac{P_p \cdot qpc}{P_c} .)$$

Далее проводим расчет для ряда значений:

Приведенная массовая скорость смешанного потока в сечении 3:

$$qc3 = \left[ \frac{\kappa_n + 1}{2} \right]^{\frac{1}{\kappa_n - 1}} \cdot \lambda c3 \cdot \left[ 1 - \frac{\kappa_n - 1}{\kappa_n + 1} \cdot \lambda c3^2 \right]^{\frac{1}{\kappa_n - 1}}$$

Относительное давление смешанного потока в сечении 3:

$$Pc3 = \left[ 1 - \frac{\kappa_n - 1}{\kappa_n + 1} \cdot \lambda c3^2 \right]^{\frac{\kappa_n}{\kappa_n - 1}}$$

Коэффициент инжекции при втором предельном режиме:

$$unp2 = \frac{\frac{P_n}{P_c} \cdot \frac{1}{qc3} - \frac{P_n}{P_p} \cdot \frac{1}{qps}}{1 - \frac{P_n}{P_c} \cdot \frac{1}{qc3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\theta}}$$

$\lambda c3$	$qc3$	$Pc3$	$unp2$
0.5	0.721	0.875	0.294
0.6	0.821	0.824	0.154
0.7	0.9	0.768	0.078
0.8	0.956	0.707	0.036
0.9	0.989	0.644	0.014
1	1	0.578	0.00781

Приведенная массовая скорость инжектируемого потока в сечении 2:

$$qn2 = \frac{unp2 \cdot \sqrt{\theta}}{\frac{P_n}{P_c} \cdot \frac{1 + unp2 \cdot \sqrt{\theta}}{qc3} - \frac{P_n}{P_p} \cdot \frac{1}{qpn}}$$

Относительное давление инжектируемого потока в сечении 2:

$$Pn2 = \left[ 1 - \frac{\kappa_n - 1}{\kappa_n + 1} \cdot \lambda c n^2 \right]^{\frac{\kappa_n}{\kappa_n - 1}}$$

Промежуточные коэффициенты:

$$K3 = 1 + \varphi_3 \cdot \frac{P_c}{P_p} \cdot \frac{Pc3 - \frac{P_n}{P_c}}{\kappa_n \cdot Pnkr \cdot \lambda c3 \cdot qpn}$$

$$K3 = 1 + \varphi_3 \cdot \frac{P_c}{P_n} \cdot \frac{Pc3 - Pc2}{\kappa_n \cdot Pnkr \cdot \lambda c3 \cdot qn2}$$

Коэффициент инжекции парового эжектора:

$$u = \frac{K1 \cdot \lambda pn - K3 \cdot \lambda c3}{K4 \cdot \lambda c3 - K2 \cdot \lambda n2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\theta}}$$

$qn2$	$\lambda n2^1$	$Pn2$	$Pc2$	$K3$	$K4$	$u$
0.785	0.56	0.845	0.282	2.168	7.243	0.178
0.656	0.44	0.902	0.301	1.882	6.493	0.144
0.493	0.32	0.947	0.316	1.67	6.414	0.11
0.309	0.19	0.981	0.327	1.504	7.35	0.074
0.152	0.09	0.996	0.332	1.372	10.424	0.041
0.088	0.05	0.999	0.333	1.264	12.505	0.028

Определение расходов инжектируемого пара, приходящегося на 1 кг рабочего пара:

$$G_p = 1 \text{ кг}$$

$$G_n = G_p \cdot u$$

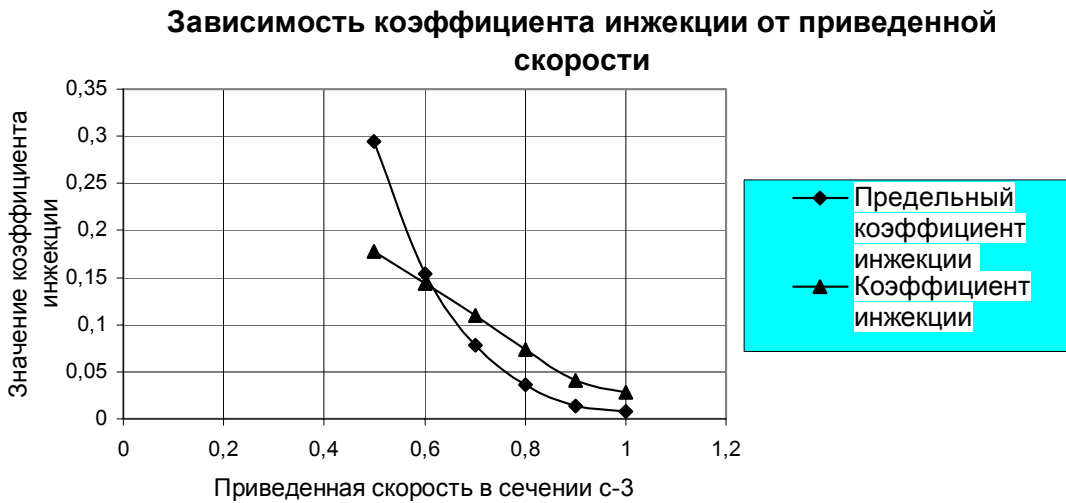
$G_n$	0.178	0.144	0.11	0.074	0.041	0.028
-------	-------	-------	------	-------	-------	-------

<sup>1</sup>  $\lambda n2$  определяется по таблицам газодинамических функций.

Приведенный расчет (рис. 8.2.3) показывает, что за счет инъекции вторичного пара можно снизить расход рабочего пара при заданных исходных данных на 2.8 – 17.8%.

ис. 3.4..3

**Примечание:** максимально допустимый коэффициент инъекции находится в точке пересечения графиков (0.14), что обеспечивает при заданных условиях экономию 14% рабочего пара.



### Задачи

**Задача 2.1.** В тепловой схеме ТЭЦ для использования тепловой энергии непрерывной продувки установлен сепаратор и теплообменник. Оцените годовую экономию условного топлива от использования тепловой энергии продувочной воды. Паропроизводительность  $D_k = 50$  т/ч, давление насыщенного пара  $P_p = 4$  МПа, температура исходной воды, поступающей в котельную  $t_{ив} = 15^\circ\text{C}$ , годовое число часов использования работы ТЭЦ  $\tau = 5000$  ч, сухой остаток химически очищенной воды  $S_x = 400$  мг/кг, суммарные потери пара и конденсата в долях паропроизводительности котельной  $P_k = 0,32$ .

Котел имеет двухступенчатую схему испарения с выносным циклоном,  $\eta_{ка}^{бр} = 0,81$ . Энтальпия сепарированного пара  $h_{св} = 2700$  кДж/кг, температура сепарированной воды  $t_{сп} = 60^\circ\text{C}$ .

**Задача 2.2.** Оцените экономию условного топлива при замещении пара, полученного от собственной котельной, паром, отпускаемым с ТЭЦ. Замещаемая тепловая нагрузка 30 ГДж/ч, расчетная тепловая нагрузка отборов теплофикационных турбин 6 МВт, расчетная тепловая нагрузка ТЭЦ 67 ГДж/ч, КПД местной котельной 70%, котельной ТЭЦ 85%, тепловых сетей 95%.

#### Задача 2.3

Определить экономию тепловой энергии при выполнении возврата конденсата с отопления механосборочного корпуса, использующего 1700 кг/час насыщенного пара давлением  $P_1=1,5$  ата. Продолжительность отопительного периода 470 часов.

#### Задача 2.4

Определить экономию тепловой энергии при использовании тепла продувочной воды для следующих условий:

Установлено три котла ДКВР–6,5–13 общей паропроизводительностью  $D_k=27$ т/час, пар насыщенный, сухой остаток химически очищенной воды  $S_x=525$ мг/кг, суммарные потери пара и конденсата в долях паропроизводительности котельной  $P_k=0,36$ , расчетный сухой остаток котловой воды, принимаемой по табл. 22  $S_{к.в}=3000$  мг/кг.

#### Задача 2.5

Из дымовой трубы промышленной котельной выбрасываются дымовые газы с температурой  $200^\circ\text{C}$ . Предложите для повышения энергетической эффективности котельной энергосберегающую схему. Покажите возможности оценки потенциала энергосбережения.

#### Задача 2.6

Предложите энергосберегающую схему для повышения энергетической эффективности промышленной котельной, имеющей закрытую систему сбора конденсата. Покажите возможности оценки потенциала энергосбережения.

### Задача 2.7

Предложите энергосберегающую схему применения паровых эжекторов для утилизации теплоты конденсата на промышленных предприятиях. Покажите возможности оценки потенциала энергосбережения.

### Задача 2.8

Определите экономию условного топлива при уменьшении температуры уходящих газов от  $190^{\circ}\text{C}$  до  $130^{\circ}\text{C}$  для котла, работающего на природном газе при следующих условиях: теплопроизводительность котельной 50 МВт, КПД котла брутто  $\eta_{\text{кбр}} = 79\%$ ,  $q_3 = 2,1\%$ , объем дымовых газов  $V_{\text{ух}} = 11,2$  м<sup>3</sup>, удельная теплоемкость дымовых газов  $C_{\text{ух}} = 1,34$  кДж/кг\*К.

### Задача 2.9

Вычислите КПД котельного агрегата брутто при следующих исходных данных: теплопроизводительность котельной 200 ГДж/ч, годовое число часов работы котельной 3500 ч, топливо-природный газ ( $Q_{\text{нр}} = 35,7$  МДж/кг), годовой расход топлива 3000 т.

### Задача 2.10

Оцените годовую экономию условного топлива при повышении КПД котельной, работающей на мазуте. Нагрузка котла 0,3 кг/с, давление в барабане котла 1,2 МПа. КПД брутто котельного агрегата в результате энергосберегающих мероприятий увеличился от 0,77 до 0,89.

### 3. Энергосбережение в системах распределения пара и горячей воды.

Мероприятия по энергосбережению при распределении и транспорте энергоносителей имеют несколько направлений: снижение прямых утечек пара и воды, снижение тепловых потерь теплопроводов за счет их изоляции, оптимизация гидравлического сопротивления при транспорте энергоносителей и т.д.

В данном издании рассматриваются, в основном, примеры и задачи, относящиеся к оценке нерациональных затрат энергии при наличии утечек и неизолированных участков теплопроводов.

Напомним читателю некоторые расчетные соотношения, которые используют при оценке нерациональных затрат энергии в системах транспорта энергоносителей (пара, горячей воды).

Количество тепла (Вт; ккал/ч), передаваемое в окружающую среду нагретой поверхностью трубопровода, определяется:

$$Q_{TP} = \pi \times d \times \alpha \times (t_{нар} - t_в) \times L, \quad (3.1)$$

где  $t_{нар}$ ,  $t_в$  – средняя температура наружной поверхности и окружающего воздуха, °С

$d$ ,  $L$  – диаметр и длина трубопровода, м

$\alpha$  – суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>К (ккал/м<sup>3</sup>×ч×°С)

Для нагретых плоских поверхностей:

$$Q_{П} = \alpha \times (t_{нар} - t_в) \times H, \quad (3.2)$$

где  $H$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>.

Суммарный коэффициент теплоотдачи учитывает теплоотдачу конвекцией  $\alpha_k$  и излучением  $\alpha_l$ . Для расчета первого из них используют зависимости вида  $Nu=f(Re, \dots)$  или  $Nu=f(Gr, Pr)$ .

Приближенно для объектов, находящихся вне помещений на открытом воздухе,  $\alpha_k$  (Вт/м<sup>2</sup>×К) можно оценить:

$$\alpha_k = 10 + 6 \cdot \sqrt{w}, \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}, \quad (3.3)$$

где  $w$  – скорость ветра, м/с

Для трубопроводов диаметром до 2 м., находящихся в помещениях:

$$\alpha_k = 8,1 + 0,045 \times (t_{нар} - t_в),$$

Лучистый теплообмен между поверхностью технологического оборудования и окружающим пространством определяется уравнением:

$$\alpha_l = \varepsilon_{П} c_0 \left[ \frac{\left( \frac{t_{нар}}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_в}{100} \right)^4}{t_{нар} - t_в} \right], \quad (3.4)$$

где  $\varepsilon_{П}$  – приведенная степень черноты системы;

$c_0$  – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела,  $c_0 = 5,7 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}^4$ ;

$t_{нар}$  и  $t_в$  – абсолютные температуры стенок оборудования и окружающих стен.

Потери тепла (Вт/м(ккал/м×ч)) неизолированной трубой в грунте определяются по формуле:

$$Q_n = \frac{2\pi(t_{нар} - t_{гп}) \times \lambda_{гп}}{\ln(2a/r)}, \quad (3.5)$$

где  $\lambda_{гп}$  – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м×°С;

Для влажных грунтов можно принимать  $\lambda_{гп} = 1,5$ ; для грунтов средней влажности  $\lambda_{гп} = 1,5$  и для сухих грунтов  $\lambda_{гп} = 0,5$ .

$t_{гп}$  – температура грунта, °С;

$r$  – радиус поверхности трубы, соприкасающейся с грунтом, м;



$a$  – глубина заложения оси теплопровода от поверхности земли, м.

Известно, что непрерывно увлажняемая за счет адсорбирования парообразной влаги из окружающей среды изоляция теряет в 3-4 раза больше энергии, чем сухая, имеющая влагоизолирующий слой (приложение 2).

Изоляция типа минваты непрерывно увлажняемая потоками воды теряет в окружающее пространство энергии больше, чем полностью неизолированная поверхность, если температура поверхности трубы более 100°C.

При расчете общей длины неизолированных труб для определения потерь тепла важно включить в расчет все фланцы и запорную арматуру. По тепловым потерям фланец эквивалентен 0,8 м трубы, а вентиль или задвижка эквивалентны 1 м трубы.

Можно считать (приложение 3, 4), что неизолированный фланец эквивалентен по величине потерь 8 метрам, а вентиль или задвижка – 10 метрам изолированной трубы.

Поскольку экономия тепловой энергии приводит к уменьшению финансовых затрат, а изоляционные работы к увеличению последних, то следует для конкретных условий вычислять оптимальную величину изоляции трубопроводов.

Для этого рассчитывают приведенные затраты, руб./м<sup>2</sup>

$$P = C_e + \frac{(t_v - t_{om\ пер}) z_{om\ пер} \times 24 m C_m A \times 10^{-6}}{R_0^{np} E_n} \quad (3.6)$$

$C_e$  - единовременные затраты;  $Z_{om\ пер}$  - продолжительность отопительного периода, сутки;  $m$  - 1,05 коэффициент, учитывающий инфляцию;  $C_m$  - стоимость тепловой энергии;  $A = 3,6$ , если руб./ГДж и  $A = 0,86$ , если руб./ГКал

Единовременные затраты

$$C_e = 1,25 [(Ц + Т)k + C_m] \quad (3.7)$$

$Ц$  - оптовая цена конструкций, руб./м<sup>2</sup>;  $Т$  - стоимость погрузочно-разгрузочных работ;  $k$  - 1,02 коэффициент, учитывающий складские расходы;  $C_m$  - стоимость монтажа;  $R_0^{np}$  – приведенное термическое сопротивление.

Для оценки экономии тепловой энергии в паропроводах и тепловых сетях за счет снижения утечек деляют количество теряемого пара и его энтальпию.

Количество пара, попадающего в окружающую среду через неплотности из паропроводов  $G_n$  (кг/ч) определяют:

$$G_n = 2,3 \cdot S \cdot \varphi \sqrt{\rho \cdot P} \quad , \quad (3.8)$$

где  $S$  – площадь отверстия, мм<sup>2</sup>;  $\varphi$  – коэффициент расхода пара через неплотности, можно в среднем принимать  $\varphi = 0,62$ ;  $\rho$  – плотность пара, кг/м<sup>3</sup>;  $P$  – абсолютное давление пара в паропроводе, Мн/м<sup>2</sup>; (10 ата = 1,1 Мн/м<sup>2</sup>)

Расход пара (кг/ч) через полное сечение трубопровода в атмосферу  $G_n$ , определяют:

$$G_n = 3600 \cdot S_{mp} \cdot W \cdot \rho \quad , \quad (3.9)$$

где  $S_{mp}$  – площадь поперечного сечения трубы, м<sup>2</sup>;  $W$  – средняя скорость пара, м/с; (обычно принимают для перегретого пара  $W=50$  м/с, для насыщенного  $W=40$  м/с)

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### Пример 3.1

#### Условие

Определите экономию тепловой энергии при нанесении изоляции на паропровод Ду 108×4 длиной 10 м, работающий непрерывно в течение года. Температура теплоносителя 150°C. Паропровод проложен в помещении, в котором температура +25°C и скорость потока воздуха  $w = 2$  м/с. Толщина изоляции обеспечивает температуру на ее поверхности 35 °С.

#### Решение

Для вычислить потерь теплоты неизолированным трубопроводом находим суммарный коэффициент теплоотдачи от трубопровода к наружному воздуху:

$$\alpha = 10 + 6 \times \sqrt{w} = 10 + 6 \times \sqrt{2} = 18,5 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$$

Тогда теплотери неизолрированным теплопроводом составят:

$$Q_{TP} = \pi d \alpha (t_{нар} - t_{г}) L = 3,14 \times 0,108 \times 18,5 \times (150 - 25) \times 10 = 7842 \text{ Вт}$$

Аналогично для изолированного паропровода

$$Q'_{TP} = \pi d \alpha (t'_{нар} - t'_{г}) L = 3,14 \times 0,108 \times 18,5 \times (35 - 25) \times 10 = 627 \text{ Вт}$$

Тогда экономия тепла за год составит:

$$\Delta Q = (Q_{TP} - Q'_{TP}) \times \tau = (7842 - 627) \times 8760 = 63,2 \times 10^3 \text{ кВт} \times \text{ч}$$

### Пример 3.2

#### **Условие**

Сравните среднегодовое снижение температуры пара в конце паропроводов, проложенных в цехе и вне его на эстакаде и не имеющих внешнего влагоизолирующего слоя изоляции, при следующих исходных данных:

1. Параметры перегретого пара на входе в паропровод

$P_1$  – давление

$t_1$  – температура

$h_1$  – энтальпия

$u_1$  – удельный объем

$t_{s1}$  – температура насыщения

$c_p$  – удельная теплоемкость

2. Скорость пара  $w_{п}$

3. Длина паропровода

$l_1$  – длина паропровода, проложенного в цехе

$l_2$  – длина паропровода, проложенного вне цеха на эстакаде

4. Диаметр паропровода  $D$

5. Среднегодовое количество осадков  $N_{ос}$ , мм

Среднегодовая скорость ветра  $w_b$

6. Среднегодовые температуры:  $t_{вн}$  – внутри цеха

$t_{нар} < 0$  °С – вне цеха

7. Термическое сопротивление изоляции  $R_{из}$

В приближенных расчетах можно принимать температуру стенки внутри паропровода, равную температуре пара, а коэффициенты конвективной теплоотдачи рассчитывать:

для цилиндрических поверхностей диаметром до 2 м внутри помещения:

$$\alpha_n = 8,1 + 0,045(t_{стн} - t_g)$$

где  $t_{стн}$  – температура наружной поверхности изоляции

для цилиндрических поверхностей диаметром до 2 м вне помещения

$$\alpha_n = 10 + 6 \sqrt{w_g}$$

#### **Решение**

1. Рассматриваем паропровод, проложенный в цехе

1.1 *Определим удельный тепловой поток с поверхности паропровода  $q_1$*

Пренебрегаем термическим сопротивлением металлической стенки паропровода.

$$q_1 = \frac{(t_1 - t_{стн})}{R_{из}}$$

$$q_1 = \frac{(t_1 - t_{вн})}{R_{из} + \frac{1}{\alpha_n}}$$

$$\alpha_n = 8,1 + 0,045(t_{стн} - t_g)$$

Решая совместно приведенные выше уравнения, определяем  $q_1$  – удельный тепловой поток с 1 м<sup>2</sup> паропровода.

1.2 *Определим температуру пара в конце паропровода*

$$Q_1 = q_1 \cdot F_1$$

$$F_1 = \pi \cdot D \cdot l_1$$

$F_1$  - площадь поверхности паропровода

$$G = \frac{1}{g_1} \cdot w_n \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$G$  - расход пара в паропроводе

$$Q_1 = G \cdot Cp \cdot (t_1 - t_{\text{вых}})$$

Решая совместно последние четыре уравнения, определяем  $t_{\text{вых}}$  – температура пара на выходе из паропровода

Полученное значение  $t_{\text{вых}}$  сравниваем с температурой насыщения пара  $t_{s1}$  и делаем вывод о возможной конденсации пара.

2. Рассматриваем паропровод, проложенный вне цеха

Так как паропровод проложен вне цеха и не имеет влагоизолирующего слоя изоляции, то на его поверхность будут попадать и испаряться осадки.

2.1 Определим количество осадков, попадающих на поверхность паропровода

Считаем, что осадки попадают только на верхнюю половину паропровода, следовательно, площадь, на которой происходит осаждение, равна:

$$F_{\text{осад}} = D \cdot l_2$$

Объем осадков, попавших на паропровод:

$$V_{\text{осад}} = F_{\text{осад}} \cdot H_{\text{ос}}$$

Среднегодовая удельная скорость (на 1 м<sup>2</sup>) выпадения осадков:

$$U_{\text{осад}} = \frac{V_{\text{осад}} \cdot \rho_{\text{вод}}}{n \cdot 3600 \cdot F_{\text{осад}}}$$

где  $\rho_{\text{вод}}$  - плотность воды

$n$  - число часов работы паропровода в году

2.2. Определим удельный тепловой поток с поверхности паропровода  $q_2$

При среднегодовой температуре вне цеха  $t_{\text{нар}} < 0^\circ\text{C}$  осадки будут в виде снега.

Тепловой поток с поверхности паропровода будет складываться из теплового потока за счет конвекции и сублимации.

$$q_2 = \frac{(t_1 - t_{\text{нар}})}{R_{\text{из}} + \frac{1}{\alpha_n}} + U_{\text{осад}} \cdot r_{\text{субл}}$$

где  $r_{\text{субл}}$  - теплота сублимации льда при температуре  $t_{\text{нар}}$  (из справочника)

$$\alpha_n = 10 + 6\sqrt{w_6}$$

Решая совместно последние два уравнения, определяем  $q_2$  – удельный тепловой поток с 1 м<sup>2</sup> паропровода.

2.3 Определим температуру пара в конце паропровода

$$Q_2 = q_2 \cdot F_2$$

$$F_2 = \pi \cdot D \cdot l_2$$

$F_2$  - площадь поверхности паропровода

$$G = \frac{1}{g} \cdot w_n \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$G$  - расход пара в паропроводе

$$Q_2 = G \cdot Cp \cdot (t_1 - t_{\text{вых}})$$

Решая совместно последние четыре уравнения, определяем  $t_{\text{вых}}$  – температура пара на выходе из паропровода

Полученное значение  $t_{\text{вых}}$  сравниваем с температурой насыщения пара  $t_{s1}$  и делаем вывод о возможной конденсации пара.

### Пример 3.3

#### Условие

Оцените часовой расход насыщенного водяного пара через неплотности в паропроводе при давлении  $P_1=1,7$  ата, если суммарная площадь отверстий  $S=15$  мм<sup>2</sup>.

#### Решение

Утечки пара за 1 час составляют:  $G_{\text{п}} = 2,3 \times S \times \rho \times \sqrt{\rho \cdot P}$

При давлении насыщенного водяного пара  $P = 1,7$  ата, -  $V = 1,07$  м<sup>3</sup>/кг (по таблицам насыщенного водяного пара).

Давление пара в паропроводе,  $P = \frac{1,7 \cdot 1,1}{10} = 0,187$  Мн/м<sup>2</sup>.

Тогда плотность пара  $\rho = \frac{1}{V}$ ,

Следовательно,  $G_{\text{п}} = 2,3 \times 15 \times 0,67 \times \sqrt{\frac{1}{1,07} \cdot 0,187} = 9,66$  кг/ч.

Непроизводительные потери энергии за год составят:

$$\Delta Q = G_{\text{п}} \times h_{\text{п}} \times \tau = 9,66 \times 644,5 \times 8760 = 54,5 \times 10^6$$

Потери пара даже через небольшие неплотности в течение года приводят к значительным потерям тепловой энергии. Например, утечки пара через отверстие диаметром 1 мм составляют:

Абсолютное давление в кгс/см <sup>2</sup>	2	5	7	10	15
Утечки пара, кг/час	0,6	1,4	1,9	2,7	4,1
Утечки пара, т/год	5	12,2	17	24	35,5
Утечки воды, кг/час	4,5	7,1	8,4	10	12

## Задачи

### Задача 3.1

Определите тепловые потери с 10 м<sup>2</sup> неизолированной плоской стенки длиной 20 м и с 10 м<sup>2</sup> неизолированной трубы диаметром 100 мм, если температура теплоносителя 170°С, температура воздуха +20°С и скорость ветра  $w = 3$  м/с (пластина и труба омываются воздухом в продольном направлении). Степень черноты поверхности стенки и трубы принять равной 0,8.

### Задача 3.2

Сравните годовые потери тепла при отсутствии тепловой изоляции парового коллектора диаметром 340 мм и длиной 3 м, если он находится а) в помещении с температурой воздуха +23°С ; б) на открытом воздухе при наружной температуре +23°С и скорости ветра  $w = 1$  м/с. Температура пара 190°С. Число часов работы 8500.

### Задача 3.3

Определите часовую утечку пара через отверстия в диапазоне  $d=0,3 \div 5,0$  мм при давлении в паропроводах  $P=1,5 \div 5,0$  кгс/см<sup>2</sup>.

### Задача 3.4

Определите годовую экономию тепловой энергии от изоляции сборника конденсата. Температура конденсата  $t_k=95$ °С. Температура на поверхности изоляции  $t_{us}=33$ °С. Допустимые потери тепла  $q_{\text{п}}=65$  ккал/м<sup>2</sup>×час. Поверхность изоляции  $H=32$  м<sup>2</sup>. Материал изоляции – маты минеральноватные на фенольной связке. Температура окружающего воздуха  $t_e=+25$ °С. Число часов работы  $\tau=7200$ .

### Задача 3.5

Определите годовую экономию тепловой энергии от изоляции сборника конденсата. Температура конденсата  $t_k=95^{\circ}\text{C}$ . Температура на поверхности изоляции  $t_{uz}=33^{\circ}\text{C}$ . Допустимые потери тепла  $q_{\text{п}}=65 \text{ ккал/м}^2 \times \text{час}$ . Поверхность изоляции  $H=32 \text{ м}^2$ . Материал изоляции – маты минеральноватные на фенольной связке. Температура окружающего воздуха  $t_a=+25^{\circ}\text{C}$ . Число часов работы  $\tau=7200$ .

### Задача 3.6

Определите годовые потери тепла теплопроводом диаметром 250 мм и длиной 100 м, если на нем расположены пять единиц неизолированной арматуры и 15 м с уплотнением основного слоя изоляции на 75% (приложение 2). Среднегодовые температуры внутри теплопровода  $400^{\circ}\text{C}$ , поверхности изоляции  $40^{\circ}\text{C}$ , а окружающей среды  $+6^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая скорость ветра 3 м/с.

### Задача 3.7

Оцените годовые непроизводительные затраты тепла на 50 м теплопровода наружной прокладки диаметром 800 мм, не имеющего влагоизолирующего слоя и полностью поглощающего атмосферные осадки в виде дождя и снега, если известно время работы 8500 час, температура среды внутри теплопровода постоянна и равна  $151,1^{\circ}\text{C}$ , поверхности изоляции  $35^{\circ}\text{C}$ , окружающей среды  $0^{\circ}\text{C}$ , годовая норма осадков  $h=150 \text{ мм}$ , а средняя скорость ветра 3,0 м/с. Степень черноты изоляции принять равной 0,8.

Оцените доли потерь тепла за счет конвекции, излучения и испарения влаги.

### Задача 3.8

Для условий задачи 3.6 определите толщину слоя изоляции из минераловатных прошивных изделий марки 200, оптимальную и критическую толщину изоляции, выбрав самостоятельно значение необходимых для расчета величин.

### Задача 3.9

Определите кривые потерь тепла неизолированной трубой, проложенной в сухом и влажном грунте в зависимости от диаметра трубы и глубины ее заложения.

### Задача 3.10

В помещении, температура стен которого  $t_{cm}=20^{\circ}\text{C}$ , проложено 12 м неизолированного теплопровода, наружный диаметр которого 350 мм, а температура поверхности  $t_{нар}=20^{\circ}\text{C}$ , степень черноты металла  $\epsilon=0,8$ . Найти годовые тепловые потери за счет излучения и конвекции.

### Задача 3.11

Определите потери тепла от участка горизонтально расположенной трубы и температуры воды в конце участка, если известно: расход воды  $G_s=0,4 \text{ кг/с}$ , наружный диаметр трубы  $d=0,15 \text{ м}$ , толщина стенки  $\delta_{cm}=1 \text{ мм}$ , длина участка  $L=80 \text{ м}$ , коэффициент теплопроводности стенки  $\lambda_{cm}=56 \text{ Вт/м}\times\text{К}$ , толщина слоя изоляции  $\delta_{uz}=20$ , коэффициент теплопроводности изоляции  $\lambda_{uz}=0,046 \text{ Вт/м}\times\text{К}$ , мм. Температура воды в начале участка  $t_a=90^{\circ}\text{C}$ , а температура окружающей среды  $t_{o,c}=10^{\circ}\text{C}$

#### 4. Методы оценки потерь энергии и энергоносителей при проведении энергоаудита.

---

##### **Задача**

Определить расход теплоты на отопление жилого кирпичного здания, если объем отапливаемой части здания по наружному обмеру  $V = 20493 \text{ м}^3$ ; температура воздуха внутри помещений  $t_g^p = 18 \text{ °C}$ ; температура наружного воздуха  $t_n^{p,om} = -26 \text{ °C}$ .

##### **Решение.**

Расход теплоты на отопление здания по укрупненным показателям определяется по формуле:  $Q_{om} = (1 + \beta) \cdot q_0 \cdot \alpha \cdot V_n \cdot (t_g - t_n^{p,om})$ , где  $\beta = 0,15$ ; для дома с отапливаемым объемом более  $20000 \text{ м}^3$   $q_0 = 0,32$ ;  $\alpha = 1,08$  - поправочный коэффициент для расчетной температуры наружного воздуха -  $26 \text{ °C}$ .

$$Q_{om} = (1 + 0,15) \cdot 0,32 \cdot 1,08 \cdot 20493 \cdot (18 - (-26)) = 358368,5 \text{ Вт}$$

$$Q_{om} = 0,358 \text{ МВт} = 0,358 \cdot \frac{3600}{4,19} \cdot 10^{-3} = 0,358 \cdot 0,86 = 0,308 \text{ Гкал/ч}$$

##### **Задача.**

Определить максимальную тепловую нагрузку (по укрупненным показателям) на горячее водоснабжение в жилом здании с расчетным количеством потребителей  $m = 100$  человек. Температура горячей воды  $55 \text{ °C}$ , температура холодной водопроводной воды в отопительный период  $5 \text{ °C}$ , в летний период  $15 \text{ °C}$ .

##### **Решение.**

Среднесуточный расход теплоты на горячее водоснабжение в отопительный период определяется по формуле:

$$Q_{гв,з}^{cp,c} = 1,2 \cdot m \cdot a \cdot (t_g - t_{x,z}) c_p^{cp}, \text{ кДж/сут},$$

где  $a = 105 \div 120 \text{ кг/(чел-сут)}$  - для жилых зданий квартирного типа, оборудованных ванными;  $c_p^{cp} = 4,19 \text{ кДж/(кг·K)}$  - средняя теплоемкость воды;

$$Q_{гв,з}^{cp,c} = 1,2 \cdot 100 \cdot 120 \cdot (55 - 5) \cdot 4,19 = 3016800 \text{ кДж/сут}$$

Средняя нагрузка на горячее водоснабжение в отопительный период:

$$Q_{гв,з}^{cp} = \frac{Q_{гв,з}^{cp,c}}{24 \cdot 3600} = \frac{3016800}{24 \cdot 3600} = 34,92 \text{ кВт}$$

Средняя нагрузка на горячее водоснабжение в летний период определяется по формуле:

$$Q_{гв,л}^{cp} = 34,92 \cdot \frac{55 - 5}{55 - 15} \cdot 0,8 = 34,92 \text{ кВт}$$

где  $\beta = 0,8$  (для жилищно-коммунального сектора).

Расчетная максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение:

$Q_{26}^p = \chi \cdot Q_{26,3}^{cp} = 2,4 \cdot 34,92 = 83,8$  кВт, где  $\chi$  - расчетный коэффициент часовой неравномерности, ориентировочно для жилых и общественных зданий принимают  $\chi = 2,4$ .

### **Задача**

Рассчитать расход тепла на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха, если температура наружного воздуха  $t_n^{p,om} = -26$  °С, а внутри помещений  $t_g^p = 18$  °С. Расчетное количество людей в помещении  $n = 157$  человек.

### **Решение.**

Минимальный расход инфильтрующегося воздуха можно оценить исходя из количества воздуха, требуемого для обеспечения комфортных условий человека по СНиП.

$$Q_{инф} = 0,28L_n \rho c (t_g - t_n) k$$

где  $\rho$  - плотность воздуха в помещении;

$c$  - теплоемкость воздуха;

Коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях принимается  $k = 0,8$  для окон и балконных дверей с отдельными переплетами.

$L_n = 3$  м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилой площади – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом. Норма жилой площади на одного человека составляет 9 м<sup>2</sup>. Отсюда можно определить расход воздуха на одного человека:  $L_{чел} = 3 \cdot 9 = 27$  м<sup>3</sup>/ч. Тогда для расчетного количества людей  $L_n = 3 \cdot 1413 = 4239$  м<sup>3</sup>/ч

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot 4239 \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-26)) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 50,386 \text{ кВт}$$

## 5. Энергосбережение при производстве и распределении энергии и энергоносителей.

---

### 1. Оценка экономии тепловой энергии в паропроводах и тепловых сетях

Количество пара, попадающего в окружающую среду через неплотности в производственных паропроводах  $\sigma$ , определяется по формуле:

$$\sigma = 2,3 \cdot f \cdot \varphi \cdot \sqrt{\rho \cdot P} \quad \text{кг/ч,}$$

где  $f$  – площадь отверстия,  $\text{мм}^2$ ;

$\varphi$  – коэффициент расхода пара через неплотности,  $\varphi = 0,67$ ;

$\rho$  – плотность пара,  $\text{кг/м}^3$ ; ( $\rho = \frac{1}{V}$ , где  $V$  – удельный объем насыщенного водяного пара при соответствующем давлении – см. табл.1);

$P$  – абсолютное давление пара в паропроводе,  $\text{Мн/м}^2$ ;

$$(10 \text{ ата} = 1,1 \text{ Мн/м}^2)$$

Для полного сечения трубопровода расход пара в атмосферу  $\sigma$ , определяется по формуле:

$$\sigma = 3600 \cdot f \cdot W \cdot \rho \quad \text{кг/ч,}$$

где  $f$  – площадь поперечного сечения трубы,  $\text{м}^2$ ;

$W$  – средняя скорость пара,  $\text{м/с}$ ;

(обычно принимают для перегретого пара  $W = 50 \text{ м/с}$ , для насыщенного  $W = 40 \text{ м/с}$ )

$\rho$  – плотность пара,  $\text{кг/м}^3$ ;

**Пример.** Давление пара в тепловой сети  $P = 1,7 \text{ ата}$ . Необходимо оценить часовой расход насыщенного водяного пара через неплотности в паропроводе, если суммарная площадь отверстий  $f = 15 \text{ мм}^2$ .

Утечки пара за 1 час составляют:  $\sigma = 2,3 \cdot f \cdot \varphi \cdot \sqrt{\rho \cdot P}$ . Плотность пара  $\rho = \frac{1}{V}$ , абсолютное давление пара в паропроводе,  $P = \frac{1,7 \cdot 1,1}{10} = 0,187 \text{ Мн/м}^2$ . При давлении насыщенного водяного пара  $P = 5 \text{ ата}$ , -  $V = 1,07 \text{ м}^3/\text{кг}$  (по таблицам насыщенного водяного пара).

$$\text{Следовательно, } \sigma = 2,3 \cdot 15 \cdot 0,67 \cdot \sqrt{\frac{1}{1,07} \cdot 0,187} = 9,66 \text{ кг/ч.}$$

См. табл.

#### **Задача № 1.1.**

Определите величину утечек перегретого пара за год для полного сечения производственного трубопровода Ду 76x4 при давлении 4  $\text{кгс/см}^2$ .

### 2. Оценка экономии тепловой энергии при использовании изоляции в паропроводах и тепловых сетях.



Тепловую изоляцию необходимо использовать, если температура теплоносителя превышает 45°C. Потери тепла с изолированных поверхностей и с неизолированной напорно-регулирующей арматуры (вентили, задвижки, краны, компенсаторы) при различных температурах теплоносителей приведены в таблицах 2,3. Изоляция трубопроводов, проложенных в грунте, снижает потери тепла на 50-55% по сравнению с потерями неизолированного трубопровода.

Количество тепла, передаваемое в окружающую среду неизолируемой нагретой поверхностью трубопровода, определяется следующим образом:

$$Q_{и} = \pi \cdot d \cdot \alpha \cdot (t_{нар} - t_{в}) \cdot L, \text{ Вт (ккал/ч);}$$

аналогично для нагретых плоских неизолированных поверхностей:

$$Q_{и} = \alpha \cdot (t_{нар} - t_{в}) \cdot H, \text{ Вт (ккал/ч);}$$

где  $t_{нар}$  – средняя температура наружной поверхности, °С

$t_{в}$  – средняя температура окружающего воздуха, °С

$L$  – длина трубопровода, м

$H$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>

$\alpha$  – суммарный коэффициент теплоотдачи,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \left( \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}} \right)$

Для объектов, находящихся вне помещений на открытом воздухе,  $\alpha$  приближенно рассчитывается по формуле:

$$\alpha = 10 + 6 \cdot \sqrt{w}, \quad \text{где } w \text{ – скорость ветра, м/с}$$

Для трубопроводов диаметром до 2 м., находящихся в помещениях:

$$\alpha = 8,1 + 0,045 \cdot (t_{нар} - t_{в})$$

Для плоских поверхностей, находящихся в помещениях:

$$\alpha = 8,4 + 0,06 \cdot (t_{нар} - t_{в})$$

**Пример.** Определить экономию тепловой энергии на изолированном паропроводе Ду 108х4 длиной 10 м. Температура теплоносителя 150°C. Паропровод проложен на открытом воздухе при наружной температуре +25°C и скорости ветра  $w = 2$  м/с.

Необходимо вычислить потери теплоты неизолированным трубопроводом. Находим суммарный коэффициент теплоотдачи от трубопровода к наружному воздуху:

$$\alpha = 10 + 6 \cdot \sqrt{2} = 18,5 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С}}$$

Теплопотери на неизолированном теплопроводе составят:

$$Q_{и} = 3,14 \cdot 0,104 \cdot 18,5 \cdot (150 - 25) \cdot 10 = 7552 \text{ ккал/ч}$$

Согласно таблице 2, тепловые потери с 1 м. длины изолированного теплопровода  $68 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч}}$ . Тогда экономия тепловой энергии при использовании изоляции:

$$\Delta Q = 7552 - 10 \cdot 68 = 6872 \text{ ккал/ч.}$$

См табл.

### **Задача № 2.1.**

Определить тепловые потери с 10 м неизолированной плоской стенки и с 10 м<sup>2</sup> неизолированной трубы диаметром 100 мм, если температура теплоносителя 170°C, температура воздуха +20°C и скорость ветра  $w = 3$  м/с.

**Задача № 2.2.**

Сравнить годовые потери тепла при отсутствии тепловой изоляции парового коллектора диаметром 340 мм и длиной 3 м, если он находится а) в помещении с температурой воздуха +23°C ; б) на открытом воздухе при наружной температуре +23°C и скорости ветра  $w = 1$  м/с. Температура пара 190°C. Число часов работы 8500. См.табл.

## 6. Энергосбережение в промышленности.

### 6.1. Энергосбережение в промышленности.

- 6.1.1. Основные методы расчета и расчетные соотношения.
- 6.1.2. Примеры решения задач.
- 6.1.3. Последовательность решения задач.
- 6.1.4. Условия задач для самостоятельного решения.

#### 6.1.1. Основные методы расчета и расчетные соотношения.

#### 6.1.2. Примеры решения задач.

##### Задача 1

Определить необходимую площадь поверхности нагрева теплообменного аппарата типа водовоздушного рекуператора для обеспечения степени утилизации теплоты сточных вод, равной 0,8. Сточная вода используется для предварительного нагревания дутьевого (приточного) воздуха. Поверхность нагрева выполнена в виде коридорного пучка оребренных труб. Наружный диаметр труб  $d = 12$  мм; толщина стенки трубы  $\delta = 1$  мм; рабочая длина  $L = 5,2$  м; диаметр круглых ребер  $D = 23$  мм; толщина ребра  $\delta_r = 0,3$  мм; степень оребрения  $\psi = 8,2$ ; гидравлический диаметр  $d_g = 4,7$  мм. Теплопроводность материала ребра  $\lambda = 116$  Вт/м К. Вода движется по трубам, воздух – в межтрубном пространстве. Число ходов греющего теплоносителя  $z = 5$ . Термическим сопротивлением стенки и гидравлическим сопротивлением при повороте воды в трубах пренебречь. Мощность, затрачиваемая на прокачку воды по трубам, не должна превышать 60 Вт.

Скорость воздуха принять равной 5 м/с. Начальную температура воды  $t_2' = 49$  °С, воздуха  $t_1' = 6$ °С; расход воды  $G_2 = 0,65$  кг/с, воздуха  $G_1 = 0,3$  кг/с.

##### **Решение**

1. Температура воздуха на выходе из аппарата при эффективности теплообменника

$$\varepsilon = \frac{t_1'' - t_1'}{t_2' - t_1'} = 0,8;$$

$$t_1'' = \varepsilon(t_2' - t_1') + t_1' = 0,8(49 - 6) + 6 = 40,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2. Средняя температура воздуха

$$t_1 = \frac{t_1'' + t_1'}{2} = \frac{40,4 + 6}{2} = 23,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3. Теплофизические свойства воздуха при  $t_1$ :

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 1,2 \text{ кг/м}^3, & c_{p1} &= 1005 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}, & \lambda_1 &= 0,0259 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, \\ \nu_1 &= 15,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, & Pr_1 &= 0,703. \end{aligned}$$

4. Тепловая мощность аппарата

$$Q = G_1 \cdot c_{p1}(t_1'' - t_1') = 0,3 \cdot 1005 \cdot (40,4 - 6) = 10370 \text{ Вт}.$$

5. Температура греющего теплоносителя (воды) на выходе из аппарата

$$t_2'' = t_2' - \frac{Q}{G_2 c_{p2}} = 49 - \frac{10370}{0,65 \cdot 4180} = 45,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Здесь теплоемкость воды взята при средней температуре воды 46,5 °С.

Проверяем значение средней температуры воды

$$t_2 = \frac{t_2'' + t_2'}{2} = \frac{45,2 + 49}{2} = 47,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Оно близко к ранее принятому  $t_2 = 46,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , поэтому окончательно  $t_2 = 47,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

6. Теплофизические свойства воды при  $t_2 = 47,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ :

$$\begin{aligned} \rho_2 &= 985 \text{ кг/м}^3, & c_{p2} &= 4180 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}, & \lambda_2 &= 0,638 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}, \\ v_2 &= 0,669 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, & Pr_2 &= 3,6. \end{aligned}$$

7. Мощность, затрачиваемая на прокачку воды по трубам с внутренним диаметром  $d_2$  и длиной  $L$ , может быть рассчитана по формуле

$$N = \frac{G_2 \cdot \Delta P}{\rho_2 \cdot \eta} = \frac{G_2 \cdot \xi \cdot W^2 \cdot L}{2 \cdot \eta \cdot d_2},$$

где  $\eta = 0,65$  – КПД насоса;  $\Delta P = \xi \cdot \rho_2 W_2 L / 2 d_2 \Delta P$  – гидравлическое сопротивление.

Принимаем, что режим течения воды турбулентный. Тогда коэффициент сопротивления для гидравлически гладких труб  $\xi = 0,316 \text{ Re}^{0,25}$  и скорость воды внутри труб равна

$$W_2 = \left( \frac{2 \cdot N \cdot \eta \cdot d^{1,25}}{0,316 \cdot G_2 \cdot L \cdot v^{0,25}} \right)^{\frac{1}{1,75}} = \left( \frac{2 \cdot 14 \cdot 0,65 \cdot (0,01)^{1,25}}{0,316 \cdot 0,65_2 \cdot 5,2 \cdot (0,669 \cdot 10^{-6})^{0,25}} \right)^{\frac{1}{1,75}} = 1,47 \text{ м/с}$$

8. Число Рейнольдса для воды

$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_2}{v_2} = \frac{1,45 \cdot 0,01}{0,571 \cdot 10^{-6}} = 25700,$$

т.е. соответствует развитому турбулентному режиму течения.

9. Число Нуссельта при турбулентном течении воды в трубе

$$Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,4} = 0,023 \cdot 25700^{0,8} \cdot 3,6^{0,4} = 129,7$$

10. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2} = \frac{129,7 \cdot 0,618}{0,01} = 8017 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$$

11. Число Рейнольдса для воздуха

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_3}{v_1} = \frac{5 \cdot 0,0047}{15,6 \cdot 10^{-6}} = 1506.$$

12. Число Нуссельта

$$Nu_1 = 0,3 \cdot Re_1^{0,625} \cdot \varphi^{-0,375};$$

$$Pr_1^{0,333} = 0,3 \cdot 1506^{0,625} \cdot 8,2^{-0,375} \cdot 0,703^{0,333} = 11,7.$$

13. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_3} = \frac{11,7 \cdot 0,0259}{0,0047} = 64,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$$

14. Эффективность оребрения:

эффективная высота круглого ребра

$$l' = \frac{D-d}{2} \left( 1 + 0,805 \cdot \lg \left( \frac{D}{d} \right) \right) = \frac{0,023 - 0,012}{2} \left( 1 + 0,805 \cdot \lg \left( \frac{0,023}{0,012} \right) \right) = 0,006751 \text{ м;}$$

комплекс

$$ml' = \left( \frac{2\alpha_1}{\lambda_p \cdot \delta_p} \right)^{0,5} \cdot l' = \left( \frac{2 \cdot 64,5}{116 \cdot 0,0003} \right)^{0,5} \cdot 0,006751 = 0,411;$$

эффективность одиночного ребра

$$\frac{th(ml')}{ml'} = \frac{th(0,411)}{0,411} = 0,947;$$

эффективность ребристой поверхности

$$\eta_0 = 1 - \frac{\Psi - 1}{\Psi} (1 - \eta_p) = 1 - 0,878(1 - 0,947) = 0,953.$$

15. Коэффициент теплопередачи, отнесенный к внутренней поверхности труб

$$k_2 = \left( \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_1 \eta_0 \Psi} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{8017} + \frac{1}{64,7 \cdot 0,953 \cdot 8,2} \right)^{-1} = 475 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

16. Логарифмический температурный напор между теплоносителями

$$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \varepsilon_{\Delta t} = \frac{39,2 - 8,6}{\ln \frac{39,2}{8,6}} 0,95 = 20,2 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $\Delta t_6 = t''_2 - t'_1 = 45,2 - 6,0 = 39,2 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $\Delta t_m = t'_2 - t''_1 = 49,0 - 40,4 = 8,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

$\varepsilon_{\Delta t} = 0,95$  – поправка на вид относительного движения теплоносителей (для перекрестного тока) при

$$P = \frac{t''_1 - t'_1}{t'_2 - t'_1} = \frac{40,6 - 6,0}{49,0 - 6,0} = 0,8 \text{ и } R = \frac{t'_2 - t''_2}{t'_1 - t''_1} = \frac{49,0 - 45,2}{40,4 - 6,0} = 0,11.$$

17. Поверхность теплообмена

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{10370}{475 \cdot 20,2} = 1,08 \text{ м}^2.$$

## Задача 2

Определить тепловую мощность, гидравлические сопротивления и степень утилизации теплоты низкопотенциального источника ВЭР – турбинного масла при его охлаждении водой, направляемой затем в систему комбинированного производства теплоты и холода. Охлаждение масла осуществляется в кожухотрубном теплообменнике с перегородками в межтрубном пространстве. При решении задачи использовать методику теплового поверочного расчета.

Масло течет в межтрубном пространстве, вода – внутри труб. Внутренний диаметр кожуха  $D_0 = 0,16 \text{ м}$ ; наружный диаметр труб  $d_1 = 0,012 \text{ м}$ ; внутренний  $d_2 = 0,01 \text{ м}$ ; рабочая длина  $L = 746 \text{ мм}$ ; число труб  $n = 64$  штук; теплопроводность материала труб  $\lambda = 58 \text{ Вт}/(\text{м К})$ ; поверхность теплообмена со стороны воды  $F_2 = 1,5 \text{ м}^2$ ; число перегородок в межтрубном пространстве  $m = 10$ ; расположение трубок – по углам равностороннего треугольника, шаг между трубками  $S = 0,02 \text{ м}$ ; толщина перегородки  $\delta = 0,002 \text{ м}$ .

Горячий теплоноситель (масло турбинное):

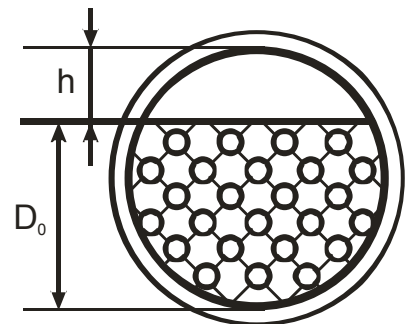
расход  $G_1, \text{ кг}/\text{с}$  ..... 0,75;

температура масла на входе  $t'_1, \text{ } ^\circ\text{C}$  ..... 45;

Холодный теплоноситель (вода):

расход  $G_2, \text{ кг}/\text{с}$  ..... 5,4;

температура воды на входе  $t'_2, \text{ } ^\circ\text{C}$  ..... 25.



**Решение**

1. Для определения теплофизических свойств теплоносителей зададимся их температурами на выходе из теплообменника. Примем, что на выходе масла и воды соответственно они равны:  $t_1'' = 36$  °C,  $t_2'' = 26$  °C.

2. Средние температуры теплоносителей

$$t_1 = \frac{t_1'' + t_1'}{2} = \frac{36 + 45}{2} = 40,5 \text{ °C}; \quad t_2 = \frac{t_2'' + t_2'}{2} = \frac{26 + 25}{2} = 25,5 \text{ °C}.$$

3. Теплофизические свойства теплоносителей при средних температурах:

Масло:  $\rho_1 = 865 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_{p1} = 1930 \text{ Дж/(кг К)}$ ,  $\lambda_1 = 0,128 \text{ Вт/(м К)}$ ,  
 $\nu_1 = 35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\mu_{CT} = 30,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м с)}$ ,  $Pr_1 = 421$ .

Вода:  $\rho_2 = 995 \text{ кг/м}^3$ ,  $C_{p2} = 4180 \text{ Дж/(кг К)}$ ,  $\lambda_2 = 0,61 \text{ Вт/(м К)}$ ,  
 $\nu_2 = 0,985 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $Pr_2 = 6,5$ .

4. Шаг между поперечными перегородками в межтрубном пространстве

$$t_n = \frac{L}{m} = 0,0746 \text{ м}.$$

5. Скорость воды в трубах

$$w_2 = \frac{4G_2}{\rho_2 \pi d_2^2 n} = \frac{4 \cdot 5,4}{995 \cdot 3,14 \cdot 0,01^2 \cdot 64} = 1,06 \text{ м/с}.$$

6. Число Рейнольдса для воды

$$Re_2 = \frac{w_2 d_2}{\nu_2} = \frac{1,06 \cdot 0,01}{0,985 \cdot 10^{-6}} = 10800.$$

7. Число Нуссельта при турбулентном течении

$$Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,4} = 0,023 \cdot 10800^{0,8} \cdot 6,5^{0,4} = 81,7.$$

8. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2} = \frac{81,7 \cdot 0,61}{0,01} = 4985 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

9. Число трубок в среднем сечении кожуха теплообменника

$$n_0 = \frac{D_0}{S_1} = \frac{0,16}{0,02} = 8.$$

10. Принимаем отношение высоты сегмента к диаметру обечайки  $h/D_0 = 0,25$ . Тогда для  $t_n/D_0 = 0,0746/0,16 = 0,466$  из табл.1 находим  $\chi = 0,81$ .

Таблица 1  
Топливо-энергетический баланс

	$\sqrt{\chi}$			
$h/D_0$	0,15	0,2	0,25	0,3
0,2	0,83	1,051	1,23	1,4
0,3	0,67	0,858	1,05	1,135
0,4	0,587	0,743	0,872	0,983
0,5	0,525	0,665	0,775	0,880

11. Живое сечение по межтрубному пространству равно

$$F_{ж} = \frac{(L - m\delta)(S_1 - d_1) \cdot n_0}{m} \cdot \chi = \frac{(0,746 - 10 \cdot 0,002)(0,02 - 0,012) \cdot 8}{10} \cdot 0,81 = 0,00408 \text{ м}^2.$$

12. Скорость масла в межтрубном пространстве

$$w_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot F_6} = \frac{0,75}{865 \cdot 0,00408} = 0,218 \text{ м/с}$$

13. Число  $Re_1$

$$Re_1 = \frac{w_1 d_1}{\nu_1} = \frac{0,218 \cdot 0,012}{35 \cdot 10^{-6}} = 72,8.$$

14. Принимая число рядов труб  $Z$  равным числу труб в среднем сечении кожуха теплообменника  $n_0$ , из уравнения находим поправку на число рядов труб по ходу теплоносителя в межтрубном пространстве.

$$\begin{aligned} \varphi_z &= 0,816 + 0,0361 \cdot Z + 0,18 \cdot 10^{-3} \cdot Re - 0,143 \cdot 10^{-2} \cdot Z^2 + 0,353 \cdot 10^{-7} \cdot Re^2 + 0,932 \cdot 10^{-5} \cdot Z \cdot Re = \\ &= 0,816 + 0,0361 \cdot 8 + 0,18 \cdot 10^{-3} \cdot 100 - 0,143 \cdot 10^{-2} \cdot 8^2 + 0,353 \cdot 10^{-7} \cdot 100^2 + 0,932 \cdot 10^{-5} \cdot 8 \cdot 100 = 1,00. \end{aligned}$$

15. Принимаем температуру стенки труб в теплообменнике  $t_c = 31 \text{ }^\circ\text{C}$ , число Прандтля при этой температуре  $Pr_c = 919$ . И число Нуссельта

$$Nu_1 = 0,6 Re^{0,5} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr_1}{Pr_c} \right)^{0,25} \cdot \varphi_z = 0,6 \cdot 72,8^{0,5} \cdot 421^{0,36} \left( \frac{884}{919} \right)^{0,25} \cdot 1 = 58,3.$$

16. Коэффициент теплоотдачи со стороны горячего теплоносителя

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1} = \frac{58,3 \cdot 0,128}{0,01} = 622 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

17. Коэффициент теплопередачи, отнесенный к внутренней поверхности трубок

$$\alpha_2 = \left( \frac{d_2}{d_1 \alpha_1} + \frac{d_2}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} = \left( \frac{0,01}{0,012 \cdot 622} + \frac{0,01}{2 \cdot 58} \ln \frac{0,012}{0,01} + \frac{1}{4985} \right)^{-1} = 417 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

18. Тепловые эквиваленты теплоносителей

$$W_1 = G_1 C_{p1} = 0,75 \cdot 1930 = 1450 \text{ Вт/К};$$

$$W_2 = G_2 C_{p2} = 5,4 \cdot 4180 = 22200 \text{ Вт/К}.$$

Так как  $W_2 > W_1$ ,  $W_2$  – максимальный тепловой эквивалент ( $W_{\text{макс}}$ ), а  $W_1$  – минимальный ( $W_{\text{мин}}$ ). Обозначим  $\omega = W_{\text{мин}} / W_{\text{макс}} = 0,0653$ .

Тогда число единиц переноса

$$N = \frac{K_2 F_2}{W_m C_m} = \frac{417 \cdot 1,5}{1450} = 0,666.$$

19. Эффективность теплообменника (при числе ходов больше трех в противоточно-перекрестном аппарате можно использовать зависимость  $\varepsilon = f(N; \omega)$  для чистого противотока)

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-N(1-\omega)}}{1 - \omega \cdot e^{-N(1-\omega)}} = \frac{1 - e^{-0,666(1-0,0653)}}{1 - 0,0653 \cdot e^{-0,666(1-0,0653)}} = 0,48.$$

20. Температура горячего и холодного теплоносителей на выходе из аппарата

$$t_1'' = t_1' - \varepsilon(t_1' - t_2') = 45 - 0,48(45 - 25) = 35,4 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_2'' = \frac{\varepsilon \cdot W_1(t_1' - t_2')}{W_2 + t_2'} = \frac{0,48 \cdot 1450(45 - 25)}{22200 + 25} = 25,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Полученные значения температур теплоносителей на выходе из теплообменника не существенно отличаются от ранее принятых (см. п. 2), поэтому считаются окончательными.

21. Тепловая мощность аппарата без учета потерь теплоты в окружающую среду

$$Q = W_1(t_1' - t_1'') = 0,212(45 - 35,4) = 13900 \text{ Вт}.$$

С учетом тепловых потерь в теплообменнике (обычно до 3 %)

$$Q^* = 0,97 \cdot Q = 0,97 \cdot 13900 = 13483 \text{ Вт}.$$

С учетом тепловых потерь при транспорте нагретой воды (5 %) и в установке комбинированного производства теплоты и холода (3 %)

$$Q^{**} = 0,95 \cdot 0,97 \cdot Q^* = 0,95 \cdot 0,97 \cdot 13483 = 11912 \text{ Вт.}$$

22. Степень утилизации теплоты турбинного масла (максимально возможное количество утилизируемой теплоты при работающей турбине определяется диапазоном изменения температуры масла в ее системах смазки и регулирования).

$$\frac{Q^{**}}{Q} = \frac{11912}{13900} = 0,857.$$

#### Расчет гидравлических сопротивлений

22. Средняя температура стенки

$$t_{\text{СТ}} = \frac{t_1^{\text{с}} + t_1^{\text{н}}}{2} - \frac{Q}{\alpha_1 \cdot F_2} = \frac{45 + 35,4}{2} - \frac{13900}{622 \cdot 1,5} = 25,3 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Данной температуре соответствует коэффициент динамической вязкости

$$\mu_{\text{СТ}} = 61,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м с).}$$

23. Коэффициент сопротивления по межтрубному пространству находим по уравнению

$$\xi_1 = 157,8 \text{ Re}_1^{-0,99} (\mu_1/\mu_{\text{СТ}})^{-0,14} = 157,8 \cdot 72,8^{-0,99} (30,3 \cdot 10^{-3}/61,2 \cdot 10^{-3})^{-0,14} = 2,51.$$

24. Гидравлическое сопротивление по межтрубному пространству с  $m$  числом перегородок и, следовательно, с  $(m + 1)$  числом ходов по межтрубному пространству

$$\Delta P_1 = (m + 1) \rho_1 \xi_1 w_1^2 / 2 = (10 + 1) \cdot 8 \cdot 2,51 \cdot 865 \cdot 0,218^2 / 2 = 391 \text{ Па.}$$

25. Коэффициент сопротивления по водяному тракту при турбулентном режиме течения внутри гидравлически гладкой трубы

$$\xi_2 = 0,316/\text{Re}_2^{-0,25} = 0,316/10800^{-0,25} = 0,031.$$

26. Гидравлическое сопротивление по водяному тракту

$$\Delta P_2 = \xi_2 \frac{\rho_2 \cdot w_2^2}{2} \cdot \frac{L}{d_2} = 0,031 \cdot \frac{995 \cdot 1,06^2}{2} \cdot \frac{0,746}{0,01} = 1292 \text{ Па}$$

### 6.1.3. Последовательность решения задач..

#### Задача 1

Определить поверхность теплообмена фреонового конденсатора теплонасосной установки, используемой для нагрева приточного воздуха в системе кондиционирования воздуха, удаляемым из помещений. Поверхность нагрева конденсатора набрана из труб, внутри которых конденсируются пары фреона 22 (далее хладон), трубы имеют наружное оребрение и омываются воздухом, поступающим с улицы. Схема движения теплоносителей – перекрестный ток. Расположение труб в пучке – коридорное. Температура паров хладона на входе  $T_1' = 343 \text{ К}$ . Температура хладона на выходе  $T_1'' = 324 \text{ К}$ . Температура насыщения хладона  $T_s = 327 \text{ К}$ , теплота испарения  $r_1 = 148,7 \text{ кДж/кг}$ . Наружный диаметр труб  $d_n = 12 \text{ мм}$ , внутренний  $d_v = 10 \text{ мм}$ . Поперечный и продольный шаги труб  $S_i = S_l = 23 \text{ мм}$ . Диаметр поперечно-спиральных ребер  $D = 22 \text{ мм}$ , средняя толщина ребра  $\delta_p = 0,5 \text{ мм}$ , шаг оребрения  $S_p = 0,5 \text{ мм}$ . Температура окружающего воздуха  $T_2'' = 308^{\circ}\text{К}$ . Расход хладона  $G_1 = 0,06 \text{ кг/с}$ . Теплопроводность материала поверхности теплообмена и ребер  $\lambda = 116 \text{ Вт/(м К)}$ .

#### **Решение.**

1. Всю область изменения параметров хладона в конденсаторе разбивают на три зоны:

- ◆ зону охлаждения перегретых паров хладона до состояния насыщения;
- ◆ зону конденсации насыщенных паров хладона;



- ◆ зону переохлаждения конденсата.

Зоной переохлаждения конденсата как правило пренебрегают.

2. Схема движения хладона и воздуха в конденсаторе перекрестная. в межтрубном пространстве происходит интенсивное перемешивание воздуха. Поэтому его температуру на выходе из конденсатора можно считать во всех точках сечения канала практически одинаковой.

3. Задаются температурой воздуха на выходе из конденсатора  $T_2''$  и выполняют расчет первой зоны.

#### Расчет первой зоны

- 1) Рассчитывают средние (среднеарифметические) температуры теплоносителей в зоне.
- 2) Используя таблицы или интерполяционные формулы, определяют теплофизические паров хладона и воздуха при их средних температурах.
- 3) Задаются скоростью парообразного хладона в трубах (порядка 3 м/с) и рассчитывают число Рейнольдса.
- 4) Убедившись в том, что режим течения паров хладона турбулентный, выбирают соответствующую формулу и рассчитывают коэффициент теплоотдачи хладона.
- 5) Задаются скоростью (около 6 м/с) и рассчитывают число Рейнольдса для воздуха.
- 6) Выбирают соответствующую формулу и находят коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к воздуху.
- 7) Рассчитывают эффективность (КПД) ребра и оребренной поверхности, коэффициент теплопередачи отнесенный к гладкой (внутренней) поверхности трубы.
- 8) Средний температурный напор между теплоносителями для первой зоны.
- 9) Тепловую нагрузку первой зоны.
- 10) Поверхность теплообмена с внутренней стороны труб.
- 11) Переходят к расчету второй зоны

#### Расчет второй зоны

- 1) Принимают во внимание, что во второй зоне коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха и эффективность (КПД) оребренной поверхности такие же, как в первой зоне.
- 2) По уравнению теплового баланса для второй зоны рассчитывают ее тепловую нагрузку.
- 3) Определяют средний температурный напор.
- 4) Коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося хладона к стенке.

Поскольку величина плотности теплового потока  $q$  или температура стенки трубы неизвестны, решение осуществляют методом последовательных приближений. Для этого можно задаться, например, коэффициентом теплоотдачи при конденсации  $\alpha_1 = 2500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ , рассчитать коэффициент теплопередачи, отнесенный к внутренней поверхности трубы. Зная средний температурный напор, рассчитать плотность теплового потока через стенку трубы и по зависимости коэффициента теплоотдачи хладона от плотности теплового потока – уточненное значение коэффициента теплоотдачи. Последнее сравнивают с ранее принятым. И в случае их существенного расхождения расчет повторяют до тех пор, пока это расхождение не станет пренебрежимо малым. Можно задаваться не плотностью теплового потока, а температурой стенки. Но тогда используют зависимость коэффициента теплоотдачи при конденсации паров хладона от разности температур хладона и стенки.

- 5) Коэффициент теплопередачи.
- 6) По уравнению теплопередачи – площадь поверхности теплообмена.
- 7) По уравнению неразрывности и геометрическим соотношениям линейных размеров, проходных сечений и площади поверхности теплообмена определяют рабочую длину, количество труб в продольном и поперечном рядах пучка.
- 8) Рассчитывают живые сечения каналов для прохода паров хладона и воздуха в конденсаторе и по уравнениям неразрывности вычисляют значения их скоростей. При существенном (более 5 %) отличии полученных значений скоростей от ранее принятых, расчет повторяют.

**Ответ:** Площадь поверхности теплообмена  $S = S_1 + S_2 = 4,0 \text{ м}^2$ .

Рабочая длина труб  $L = 0,5 \text{ м}$ .

Количество труб в пучке  $n = 44$ .

Количество труб в поперечном ряду пучка  $z_1 = 22$ .

Количество рядов труб по ходу воздуха  $z_2 = 2$ .

Количество труб, включенных параллельно,  
в одном ходе хладона  $n_1 = 3$ .

#### 4. Условия задач для самостоятельного решения.

**Задача 1.** Рассчитать площади поверхностей теплообмена калориферов, используемых для нагрева 10 кг/с наружного воздуха от  $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  воздухом, удаляемым из помещения, в системе утилизации теплоты последнего с жидкостно-воздушными теплообменниками-утилизаторами (калориферами) и циркулирующим между ними промежуточным теплоносителем. В качестве промежуточного теплоносителя используется вода. Ее минимальная температура в системе  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , конечная  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температур вытяжного воздуха  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность 50 %. Подобрать стандартные калориферы.

**Задача 2.** Рассчитать площадь поверхности теплообмена вертикального кожухотрубчатого водоподогревателя. 72 т/ч воды проходит по трубам диаметром 18/22 мм. Она нагревается от  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Греющий теплоноситель – вторичный пар из первого корпуса выпарной установки подается в межтрубное пространство. Параметры пара на входе в теплообменник 0,4 МПа и  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи пара принять равным  $5000\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$ , коэффициент теплоотдачи воды –  $4000\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$ . Теплопроводность материала труб –  $50\text{ Вт}/(\text{м К})$ . Выбрать формулы для расчета коэффициентов теплоотдачи пара и воды при заданных условиях и проверить ранее принятые их значения.

**Задача 3.** Рассчитать размеры греющей поверхности и расход насыщенного водяного пара, образующегося при вскипании конденсата и используемого для нагрева 7,2 т воды в аппарате периодического действия с рубашкой. Начальная температура воды  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , конечная  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Давление пара 0,2 МПа. Соотношение внутреннего диаметра корпуса аппарата и его рабочей высоты 1:2. Коэффициент теплоотдачи пара принять равным  $5000\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$ , воды –  $800\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$ . Выбрать формулы для расчета коэффициентов теплоотдачи при заданных условиях и проверить ранее принятые их значения. Рассчитать водоподогреватель, если паровую рубашку заменить на погружной змеевик.

**Задача 4.** Рассчитать площадь поверхности теплообмена воздухоподогревателя из труб со спиральным наружным оребрением. Материал труб – алюминий ( $\lambda = 100\text{ Вт}/(\text{м К})$ ); диаметр  $d_{\text{н}}/d_{\text{в}} = 27/25\text{ мм}$ , диаметр оребрения  $D = 75\text{ мм}$ , шаг ребер 3 мм, средняя толщина ребра 0,3 мм. Подогреватель выполнен в виде шахматного пучка труб с продольным (в направлении по-току воздуха) шагом  $S_1 = 1,2D$  и поперечным  $S_2 = 1D$ . Расход воздуха 10 кг/с, начальная температура  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , конечная  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Греющий теплоноситель – конденсат водяного пара из системы отопления. Начальная и конечная температура конденсата 110 и  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Коэффициенты теплоотдачи конденсата и воздуха (для воздуха коэффициент теплоотдачи отнесен к полной поверхности с учетом оребрения) принять равными 5000 и  $50\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$ . Выбрать формулы для расчета коэффициентов теплоотдачи теплоносителей при заданных условиях. Проверить ранее принятые их значения.

**Задача 5.** Определить расход греющего пара и количество труб в греющей камере аппарата для выпаривания 36 т/ч раствора, поступившего на регенерацию из травильного отделения цеха. Начальная концентрация раствора 5 %, конечная 15 %. Камера кожухотрубчатого типа. Диаметр греющих труб 38x2 мм. Длина труб 4 м. Температура раствора перед камерой  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , его температура кипения  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура насыщения вторичного пара  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Параметры греющего пара 0,6 МПа и  $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Плотность раствора  $1,2\text{ т}/\text{м}^3$ , теплоемкость  $4\text{ кДж}/(\text{кг К})$ , Коэффициенты теплоотдачи пара и раствора принять равными 5000 и  $800\text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ К})$ . Толщина слоя накипи 1 мм, ее теплопроводность  $1\text{ Вт}/(\text{м К})$ . Материал труб – сталь с теплопроводностью  $40\text{ Вт}/(\text{м К})$ . Оценить возможную экономию греющего пара при выпаривании того же раствора в прямоточной трехкорпусной выпарной установке.

**Задача 6.** Рассчитать теплообменник для нагрева воздуха водой из водогрейного котла-утилизатора, установленного за циклонной печью. Начальные и конечные температуры воздуха –  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , воды  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поверхность теплообмена выполнена в виде шахматного пучка оребренных снаружи труб. Диаметр труб  $d_{\text{н}}/d_{\text{в}} = 20/18\text{ мм}$ , поперечно-спиральных ребер  $D = 40\text{ мм}$ . Толщина ребра 0,3 мм. Материал труб и ребер – сталь. Теплопроводность стали  $\lambda_{\text{ст}} = 40\text{ Вт}/(\text{м К})$ . Шаги труб в пучке  $S_1 = S_2 = 1,5D$ . Живое сечение каналов для прохода воздуха в межтрубном пространстве принять равным  $2\text{ м}^2$ . Скорость воды в трубах 1 м/с.

**Задача 7.** При расчете воздухоподогревателя в системе утилизации теплоты вентиляционных выбросов получены следующие данные: площадь поверхности теплообмена  $450\text{ м}^2$ , проходные сечения по воздуху  $2\text{ м}^2$  и по воде  $0,006\text{ м}^2$ . Каким образом необходимо компоновать воздухоподогреватель из калориферов с поверхностью теплообмена  $122,4\text{ м}^2$ , проходными сечениями  $1,045\text{ м}^2$  и  $0,003\text{ м}^2$ ?

**Задача 8.** Расход воды по трубам, из которых выполнена поверхность теплообмена размером  $60\text{ м}^2$ , 45 т/ч, скорость воды 1 м/с. Предложите компоновку трубного пучка конденсатора флегмы, т.е. смеси паров на выходе из ректификационной колонны. Диаметр труб 22/18 мм, длину труб выбрать в преде-

лах 3...6 м. Плотность греющего пара  $2 \text{ кг/м}^3$ , скорость не более 10 м/с. Доля образующегося конденсата от начального расхода паров – 0,8. Вода после конденсатора используется в моечных машинах. Определить количество утилизируемой теплоты в конденсаторе, если температура воды на входе в моечные машины  $65^\circ\text{C}$ , на выходе из них  $45^\circ\text{C}$ , потери теплоты в трубопроводах между конденсатором флегмы и моечной машиной 5 % полезно использованной теплоты.

**Задача 9.** Расход дымовых газов через воздухоподогреватель составляет  $8000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , температура на входе  $300^\circ\text{C}$  и на выходе  $150^\circ\text{C}$ . Расход воздуха  $6000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , начальная и конечная температуры  $20^\circ\text{C}$  и  $250^\circ\text{C}$ . Предложить компоновку трубного пучка воздухоподогревателя и определить длину, шаги и количество труб при скорости дымовых газов 5...15 м/с и воздуха в межтрубном пространстве 5...10 м/с, диаметре труб 58/54 мм и коэффициенте теплопередачи  $30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ . Определить экономию топлива при оснащении парового котла воздухоподогревателем. Теплотворная способность топлива (природный газ)  $35000 \text{ кДж/м}^3$ . Расход воздуха на горение  $10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Выход дымовых газов  $11,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Температура продуктов сгорания перед котельным пучком  $1400^\circ\text{C}$ . Среднюю теплоемкость дымовых газов в диапазоне температур  $150...300^\circ\text{C}$  принять равной  $1,35 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ К})$ , в диапазоне  $0...1400^\circ\text{C}$  –  $1,6 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ К})$ , воздуха –  $1,3 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ К})$ .

## 7. Энергосбережение на объектах жилищно-коммунального хозяйства.

Мероприятия по энергосбережению на объектах ЖКХ можно подразделить на мероприятия по экономии топлива котельным оборудованием, по сбережению тепловой энергии при транспортировке, распределении и у потребителей. В данном задачнике будет рассмотрен круг вопросов, связанных с энергосбережением у потребителей тепловой энергии. Потребителями тепловой энергии являются системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, системы горячего водоснабжения жилых, общественных и административно-бытовых зданий.

Напомним некоторые положения составления балансов помещений и расчета процессов обработки влажного воздуха.

### Расчет расходов воды и тепловой энергии

I. Суточный расход горячей воды ( $G_{звс.}$ ) и расход горячей воды за сутки наибольшего водопотребления ( $G_{нв.звс}$ ) (кг/сутки).

$$G_{звс.} = \sum(G_{гвс.н} \times N),$$

где  $G_{гвс.н}$  - норма расхода горячей воды одним потребителем в средние сутки (кг/сут.потребитель),  $N$  - количество потребителей воды в здании.

$$G_{нв.звс} = \sum(G_{нв.гвс.н} \times N)$$

где  $G_{нв.гвс.н}$  - норма расхода горячей воды одним потребителем в сутки наибольшего водопотребления (кг/сут.потребитель),  $N$  - количество потребителей воды в здании. Суммирование проводится по всем видам потребителей, расположенных в одном здании. Нормы водопотребления берутся из [9].

II. Максимальный расчетный расход горячей в системе горячего водоснабжения.

Максимальный расчетный расход горячей воды в кг/ч в системе горячего водоснабжения:

$$G_{макс.гвс} = K_{ч} \times \sum(G_{нв.гвс.н} \times N) / 24,$$

$K_{ч}$  - коэффициент часовой неравномерности потребления воды, учитывающий неравномерность потребления воды по часам суток.  $K_{ч}$  зависит от числа жителей в населенном пункте и колеблется, как правило, в диапазоне 2,4÷3.

III. Расчет среднечасового расхода тепла за сутки наибольшего водопотребления  $Q_{звс.ср}$  и максимального часового расхода тепла на горячее водоснабжение  $Q_{звс.макс}$  (ккал/ч).

$$Q_{звс.ср} = 1,2 \times \sum(G_{нв.гвс.н} \times N) \times (t_{гв} - t_{хв}) / 24,$$

где  $t_{гв}$  - температура горячей воды,  $t_{хв}$  - температура холодной воды, подаваемой в систему горячего водоснабжения. Расчетные температуры в системе горячего водоснабжения - 60/5 °С.

$$Q_{звс.макс} = Q_{звс.ср} \times K_{ч} \text{ ккал/ч.}$$

Расчет годового расхода тепла на ГВС  $Q_{гвс.год}$  (ккал/год).

$$Q_{гвс.год} = Q_{звс.ср} \times n_o + 0,8 \times Q_{звс.ср} \times (8400 - n_o) \times (t_{гв} - t_{хвл}) / (t_{гв} - t_{хвз}),$$

где  $n_o$  - продолжительность отопительного периода в часах ( $n_o = Z_{от} \times 24$ ,  $Z_{от}$  - продолжительность отопительного периода в сутках по [8],  $t_{хвл}$  - температура холодной воды летом, принимаемая +15 °С,  $t_{хвз}$  - температура холодной воды зимой, принимаемая +5 °С.

IV. Расчет максимального часового расхода тепла на отопление  $Q_o$  (ккал/ч).

$$Q_o = q_o \times (t_b - t_n) \times V_{зд} \times k,$$

где  $q_o$  - удельная отопительная характеристика здания (ккал/ч град м<sup>3</sup>),  $t_b$  - расчетная температура воздуха внутри помещения [5],  $t_n$  - расчетная температура наружного воздуха для систем отопления [5,8],  $V_{зд}$  - строительный объем здания,  $k$  - коэффициент, учитывающий отличие расчетной температуры от температуры при которой приведены удельные отопительные характеристики.

Максимальный расход тепловой энергии за год (Гкал/год):

$$Q_{o.год} = Q_o \times [(t_b - t_{н.ср}) / (t_b - t_n)] \times n_o / 10^6,$$

где  $t_{н.ср}$  - средняя температура наружного воздуха за отопительный период [8].

Расчетный расход тепла (ккал/ч) на отопление при температурах наружного воздуха, отличающихся от расчетных

$$Q_o^* = Q_o \times [(t_b - t_{нв}) / (t_b - t_n)],$$

где  $t_{нв}$  - температура наружного воздуха (средняя за месяц, текущая и т.д.).

V. Расчет максимального часового расхода тепла на вентиляцию ( $Q_v$  в ккал/ч) и годового расхода тепла на вентиляцию ( $Q_{v.год}$  в Гкал/год).

Аналогично расчету расходов тепла на отопление вычисляют:

$$Q_v = q_v \times (t_b - t_n) \times V_{зд} \times k,$$

где  $q_v$  - удельная вентиляционная характеристика здания (ккал/ч град м<sup>3</sup>).

$$Q_{v.год} = Q_v \times Z_v \times [(t_b - t_{н.ср}) / (t_b - t_n)] \times n_o / 10^6,$$

где,  $Z_v = n / 24$ .  $n$  - число часов работы вентиляции в сутки.

### Тепловой баланс помещения

Жилые помещения в холодный период года потребляют теплоту для компенсации тепловых потерь ограждения ( $Q_{огр}$ ) и нагрев инфильтрующего воздуха ( $Q_{инф}$ ). В тоже время в помещение поступает теплота, вносимая техникой ( $Q_{обор.}$ ), приборами освещения ( $Q_{осв}$ ) и отопительной системой ( $Q_o$ ). Поддержание фиксиро-

ного значения температуры воздуха внутри здания возможно только в тех случаях, когда суммарные теплопотери ( $Q_{огр} + Q_{инф}$ ) будут компенсироваться теплопоступлениями ( $Q_{обор.} + Q_{осв} + Q_0$ ).  
Тепловой баланс помещения:

$$Q_{огр} + Q_{инф} = Q_{обор.} + Q_{осв} + Q_0,$$

Тепловая нагрузка отопительной системы (без учета теплопоступления от людей):

$$Q_0 = Q_{огр} + Q_{инф} - (Q_{обор.} + Q_{осв}).$$

Расчет теплопотерь через наружные ограждения (стены, окна, двери, подвальные помещения).

$$Q_{огр} = A \cdot (t_B - t_H) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot \frac{n}{R},$$

где  $A$  – расчетная площадь наружного ограждения ( $m^2$ ),  $t_B$  – расчетная внутренняя температура воздуха в помещении ( $^{\circ}C$ ),  $t_H$  – расчетная наружная температура воздуха (для г. Москвы  $t_H = -26^{\circ}C$ ),  $\sum \beta$  – коэффициент ориентации здания в пространстве,  $n$  – коэффициент ограждающей конструкции,  $R$  – термическое сопротивление ( $m^2 \cdot ^{\circ}C / Вт$ ). Термическое сопротивление равно

$$R = \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{н}},$$

где  $\alpha_{вн}$  – внутренний коэффициент теплоотдачи ( $Вт/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ ),  $\delta$  – толщина ограждающей конструкции (м),  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности ( $Вт/(m \cdot ^{\circ}C)$ ),  $\alpha_{н}$  – наружный коэффициент теплоотдачи ( $Вт/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ ).

Расчет расхода теплоты на нагревание инфильтрующего воздуха в жилом помещении при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемый подогревом приточным воздухом.

$$Q_{инф} = 0.28 \cdot L \cdot \rho \cdot C \cdot (t_B - t_H) \cdot K \cdot F,$$

где  $L$  – расход удаляемого воздуха на  $1m^2$ , (принимают  $L = 3 (m^3/ч)$ );  $\rho$  – плотность воздуха, ( $кг/м^3$ );  $C$  – удельная теплоемкость воздуха;  $F$  – жилая площадь помещения ( $m^2$ ),  $K$  – коэффициент учета влияния встречного теплового потока на конструкцию, (зависит от вида переплетов окон, дверей; их количества (см. в табл. 4.1).

Таблица 4.1

Зависимость коэффициента учета влияния встречного теплового потока конструкции от вида переплетения.

Тип окна	Вид переплетения	Коэффициент
1	Двойное остекление из деревянных неспаренных переплетов	0,8
2	Двойное остекление из деревянных спаренных переплетов	0,7
3	Одинарное остекление из деревянных переплетов	1

Расчет тепловой мощности, рассеиваемой осветительными приборами.

$$Q_{осв} = N_{прибора} \cdot a,$$

где  $N_{прибора}$  – суммарная мощность осветительных приборов в помещении, (Вт),  $a$  – коэффициент, учитывающий арматуру.

Таблица 4.2

Зависимость коэффициента, учитывающего арматуру, от вида лампы.

Вид лампы	Кол-во ламп	Коэффициент $a$
Люминесцентные	Открытые	0,9
	Закрытые	0,6
Накаливания	Открытые	1
	Закрытые	0,7

Тепловыделения от оборудования.

$$Q_{обо} = 0.3 \cdot N \cdot n,$$

где  $N$  – потребляемая мощность оборудования по паспорту, (кВт),  $n$  – количество единиц техники.

### Аналитический расчет состояния и процессов обработки влажного воздуха

При решении задач энергосбережения в системах вентиляции и кондиционирования необходимо рассчитывать изменение состояния влажного воздуха. В инженерной практике это делается с помощью  $h, d$  – диаграмм. При использовании компьютеров расчеты удобнее вести, используя исходные уравнения и зависимости, на основе которых построены диаграммы. Некоторые из них приведены ниже.

Зависимость давления насыщенного водяного пара, МПа, над поверхностью жидкости от температуры может быть представлена в виде:

$$p_s = e^{9.77 - \frac{4054}{236+t}}$$

Зависимость влагосодержания от атмосферного давления  $p_{\text{атм}}$ , парциального давления пара  $p_s$  при температуре воздуха и его относительной влажности  $\varphi$ .

$$d = 0,622 \frac{p_s \varphi}{p_{\text{атм}} - p_s \varphi},$$

где  $\varphi = p_n / p_s(t)$ .

Зависимость энтальпии влажного воздуха от его влагосодержания и температуры, кДж/кг сухого воздуха

$$H = C_b t + d(r_0 + C_n t),$$

где  $C_b$  и  $C_n$  – удельные средние теплоемкости сухого воздуха и пара в интервале рабочих температур, характерном для систем отопления (СО), вентиляции (СВ) и кондиционирования воздуха (СКВ);  $r_0$  – удельная теплота испарения воды в окрестности температуры 0 °С.

Зависимость парциального давления пара от влагосодержания  $\alpha$ :

$$p_n = p_{\text{атм}} \frac{d}{0,622 + d}.$$

Плотность влажного воздуха

$$\rho = \frac{p_{\text{атм}}}{R_n T} \frac{1 + d}{0,622 + d}.$$

#### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

##### Пример 4.1.

##### Условие

В системе кондиционирования общественного здания (рис. 4.1) воздух окружающей среды с температурой  $t_n = -10$  °С и относительной влажностью  $\varphi_n = 40\%$  поступает в камеру смешения, где смешивается с частью вытяжного воздуха. Пройдя термовлажностную обработку в центральном кондиционере 2, воздух поступает в обслуживаемое помещение 3 с параметрами  $t_2 = 20$  °С и  $\varphi_2 = 49\%$ . Температуру и относительную влажность воздуха на выходе из цеха принять соответственно равными  $t_3 = 23$  °С и  $\varphi_3 = 44\%$ . Расход приточного воздуха считать равным  $G_0 = 12,44$  кг/с. Степень рециркуляции  $\alpha_p = 0,51$ .

Постройте процесс термовлажностной обработки воздуха в системе кондиционирования в  $H, d$ -диаграмме. Определите, какую тепловую мощность можно сэкономить при применении рециркуляции в схеме кондиционирования воздуха по сравнению с прямоточной схемой.

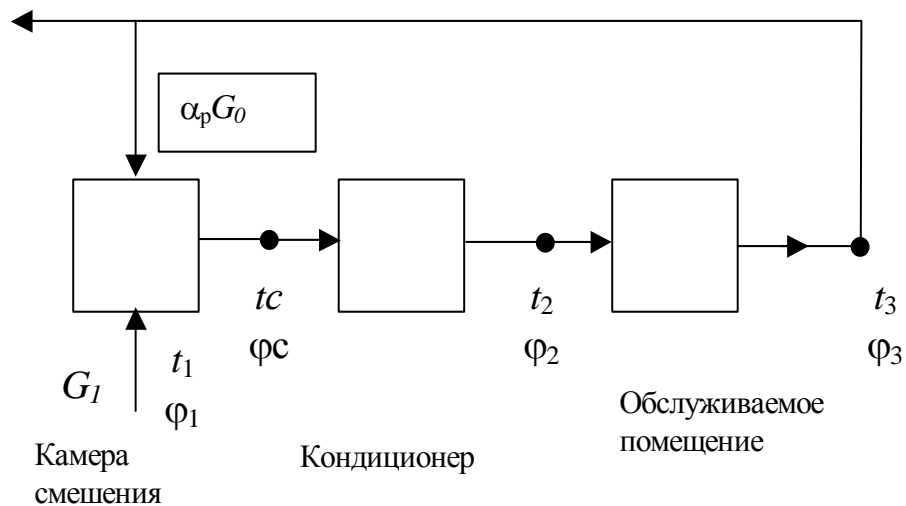


Рис 4.1. Схема кондиционирования общественного здания.

##### Решение.

Для решения задачи можно использовать два метода: аналитический с применением формул, описывающих изменение состояния влажного воздуха, и графо-аналитический с применением  $H-d$  диаграммы. Вначале рассмотрим второй из них.

1. Наносим на диаграмму (рис. 4.2) точки 1, 2 и 3, соответствующие параметрам наружного, приточного и вытяжного воздуха. Положение этих точек определяется по пересечению соответствующих изо-

терм и линий постоянной относительной влажности. По диаграмме находим энтальпии  $H_1=8,5$  кДж/кг с.в.,  $H_2=39$  кДж/кг с.в.,  $H_3=49$  кДж/кг с.в., влагосодержания  $d_1=0,7$  г/кг с.в.,  $d_2=7,5$  г/кг с.в.,  $d_3=10,3$  г/кг с.в.

2. Наносим на диаграмму точку «О» - конечную точку процесса адиабатного увлажнения воздуха в камере орошения. Положение точки «О» определяется пересечением линии постоянного влагосодержания  $d_2$  и линии относительной влажности, соответствующей 95%. Далее задача разбивается на два этапа: построение процессов влажного воздуха для системы с рециркуляцией и прямоточной системы. Энтальпию и влагосодержание воздуха после камеры орошения определяем по диаграмме:  $H_0=29$  кДж/кг с.в.,  $d_0=7,6$  г/кг с.в.

3. Определяем параметры воздуха после смешения двух потоков (свежего наружного с параметрами «1» и рециркулирующего с параметрами «3») Точка «С» на диаграмме находится, как точка пересечения отрезка «1-3» и изоэнтальпы  $H_c$  (или линии  $d_c=const$ ). Численное значение энтальпии  $H_c$  находится из уравнений теплового и материального баланса:

$$G_0 = G_1 + G_3, \quad G_1 = (1 - \alpha_p)G_0, \quad G_3 = \alpha_p G_0$$

$$G_0 H_c = G_1 H_1 + G_3 H_3$$

$$G_0 d_c = G_1 d_1 + G_3 d_3$$

В приведенных уравнениях  $G$  – массовый расход воздуха (кг/с),  $H$  – энтальпия (кДж/кг). Энтальпия и влагосодержание перед подогревателем первой ступени согласно приведенным уравнениям баланса будут:

$$H_c = aH_3 + (1 - \alpha_p)H_1 = 0,51 \cdot 49 + (1 - 0,51) \cdot (-8,5) = 20,8 \text{ кДж/кг с.в.}$$

$$d_c = a d_3 + (1 - \alpha_p) d_1 = 0,51 \cdot 10,3 + (1 - 0,51) \cdot 0,7 = 5,4 \text{ г/кг с.в.}$$

4. Находим положение точки «П1» (параметры воздуха после подогревателя первой ступени кондиционера). Положение точки «П1» на диаграмме находится по пересечению линии  $d_c=const$  и изоэнтальпы  $H_0$ . Параметры воздуха после подогревателя первой ступени определяются по положению на диаграмме точки «П1», они равны  $t_{п1}=27$  °С,  $H_{п1}=H_c=29,2$  кДж/кг с.в.

5. Для прямоточной системы положение точки «П1» находится по пересечению линий постоянной энтальпии  $H_c$  и постоянного влагосодержания  $d_1$ .

6. На диаграмме в итоге нанесено следующее:

- смешение двух потоков 1-С, 3-С;
- подогрев воздуха в воздухоподогревателе 1-й ступени 1-П1 (прямоточная система) и С-П1 (система с рециркуляцией);
- адиабатное увлажнение в камере орошения П1-О;
- подогрев воздуха в воздухоподогревателе 2-й ступени О-2;
- политропный процесс нагрева и увлажнения воздуха в обслуживаемом помещении.

7. Рассчитываем энергосберегающий эффект от применения рециркуляции.

Затраты тепловой мощности в прямоточной системе:

$$Q_{пр} = (H_0 - H_1) + (H_2 - H_0) = H_2 - H_1$$

Затраты тепловой мощности в системе с рециркуляцией воздуха:

$$Q_p = (H_0 - H_c) + (H_2 - H_0) = H_2 - H_c$$

Экономия тепловой мощности:

$$\Delta Q = Q_{пр} - Q_p = H_c - H_1 = 20,8 - (-8,5) = 29,3 \text{ кДж/кг с.в.}$$

*Аналитический расчет*

1. Рассчитываем энтальпию влажного воздуха (параметры воздуха 1 и 3) по формуле

$$H = C_v t + d(r_0 + C_p t) \quad H_1 = -8,4 \text{ кДж/кг с.в.}, \quad H_3 = 49,5 \text{ кДж/кг с.в.}$$

2. Рассчитываем энтальпию воздуха после смешения:

$$H_c = aH_3 + (1 - a)H_1 = 0,51 \cdot 49,5 + (1 - 0,51) \cdot (-8,4) = 21,1 \text{ кДж/кг с.в.}$$

3. Экономия тепловой мощности:

$$\Delta Q = Q_{пр} - Q_p = H_c - H_1 = 21,1 - (-8,4) = 29,5 \text{ кДж/кг с.в.}$$

#### Пример 4.2

##### *Условие*

Оцените энергосберегающий эффект от применения рекуперативного теплообменника в системе общеобменной вентиляции полагая, что в обслуживаемом помещении присутствуют внутренние тепловыделения общей мощностью, равной  $Q=70$  кВт. Мощность тепловых потерь через ограждающие конструкции  $Q_{пот}=50$  кВт. Массовые расходы приточного  $G_n$  и выбрасываемого  $G_y$  воздуха принять равными  $G_n=G_y=G=2$  кг/с. Влагосодержание наружного воздуха равно  $d_{н1}=3$  г/кг с.в. В предварительном подогревателе воздух нагревается до  $t_{н1}=5$  °С. Температура приточного воздуха  $t_n=20$  °С. Эффективность теплообменника утилизатора  $\varepsilon=0,6$ . Схема вентиляции представлена на рис. 4.3.



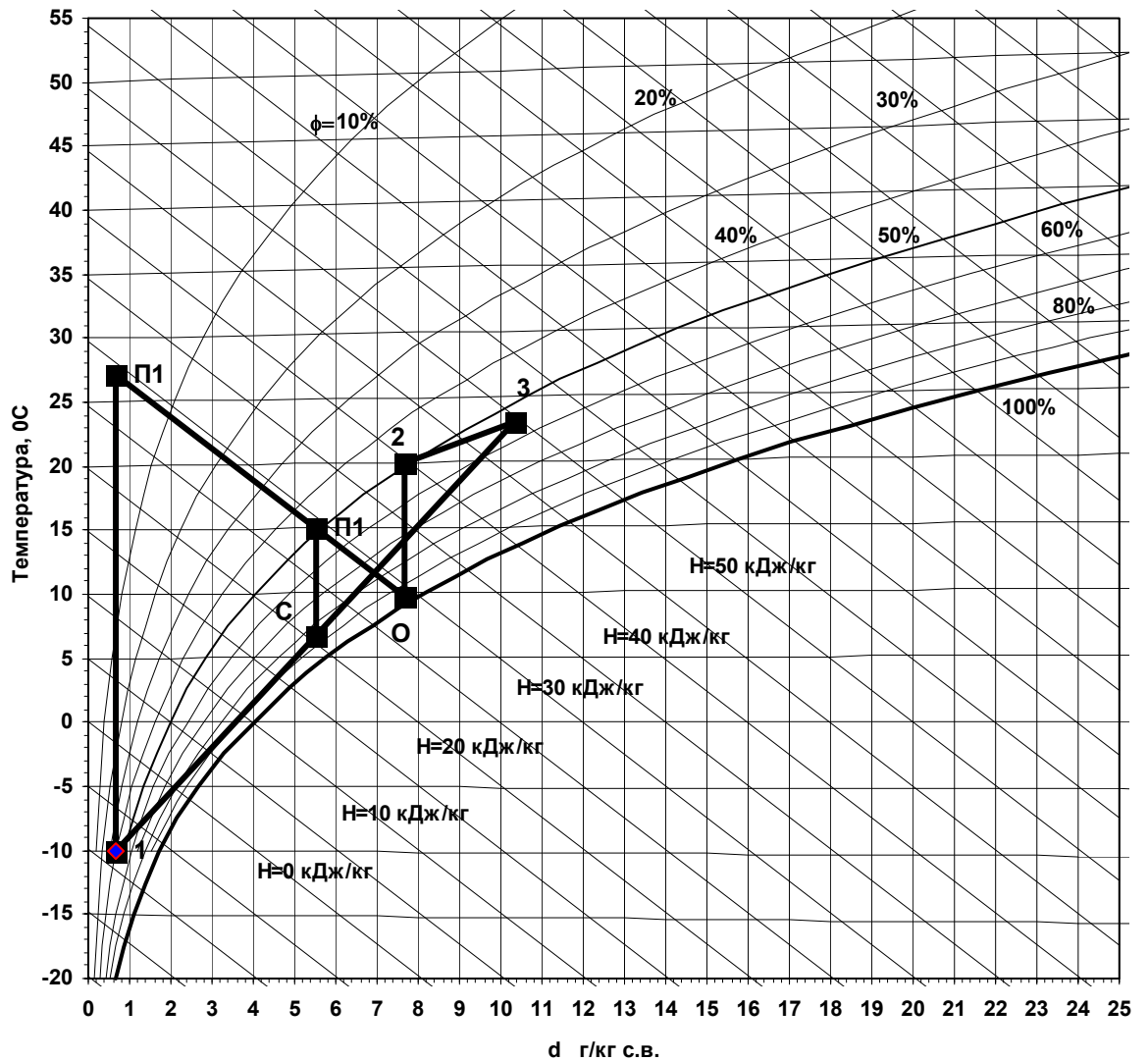


Рис. 4.2 Изменение состояния влажного воздуха в системе кондиционирования общественного здания.

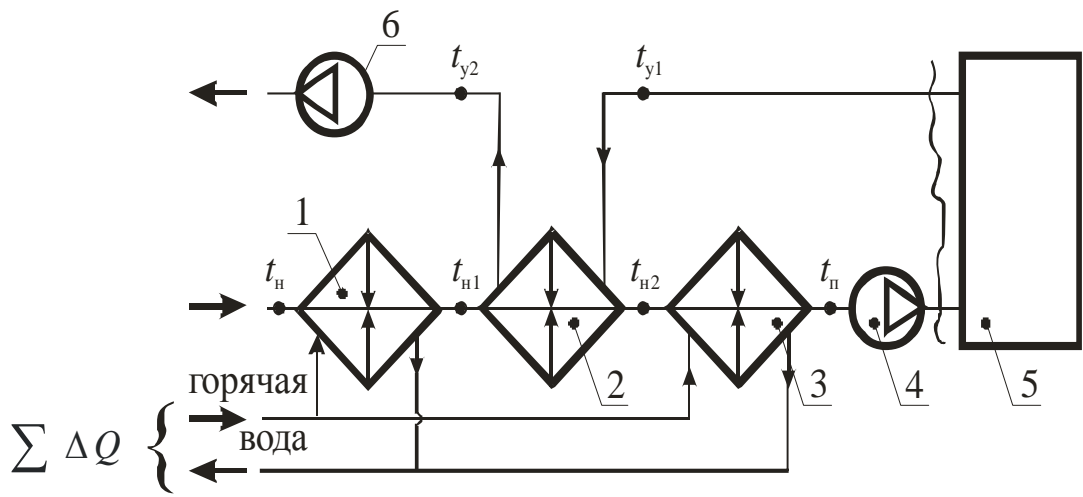


Рис. 4.3. Принципиальная схема системы вентиляции с теплообменником-утилизатором. 1 – предварительный подогреватель (калорифер), 2 – рекуперативный теплообменник, 3 – подогреватель (калорифер), 4 – приточный вентилятор, 5 – вентилируемое помещение,

*Решение*

Уравнения тепловых балансов для теплообменника-утилизатора, вентилируемого помещения и системы в целом будут:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ты}} &= G(H_{\text{н2}} - H_{\text{н1}}) = G(H_{\text{y1}} - H_{\text{y2}}) \\ G(H_{\text{н}} - H_{\text{y1}}) + Q - Q_{\text{пот}} &= 0 \\ -G(H_{\text{y2}} - H_{\text{н}}) + \sum Q + \Delta Q &= 0 \end{aligned}$$

где  $\sum Q = Q_1 + Q_2$  – суммарная мощность, подводимая к воздуху,  $\Delta Q = Q - Q_{\text{пот}}$  – избыточная тепловая мощность в вентилируемом помещении. Из уравнения теплового баланса системы следует, что затраты тепловой мощности по обогреву воздуха в системе вентиляции с теплообменником утилизатором равны

$$\sum Q_y = G(H_{\text{y2}} - H_{\text{н}}) - \Delta Q$$

Для прямоточной системы общеобменной вентиляции, если принять  $H_{\text{y2}} = H_{\text{y1}}$ , затраты тепловой мощности по обогреву воздуха:

$$\sum Q = G(H_{\text{y1}} - H_{\text{н}}) - \Delta Q$$

Энергосберегающий эффект от применения теплообменника-утилизатора в абсолютном исчислении (экономия тепловой мощности, подводимой от внешнего источника теплоснабжения)  $\Delta Q_3$  будет

$$\sum Q_3 = \sum Q - \sum Q_y = G(H_{\text{y1}} - H_{\text{y2}}) = \Delta Q_{\text{ты}}$$

С учетом эффективности теплообменника утилизатора  $\varepsilon = \frac{H_{\text{y2}} - H_{\text{y1}}}{H_{\text{y1}} - H_{\text{н1}}}$

$$\sum Q_3 = G \varepsilon (H_{\text{y1}} - H_{\text{н1}})$$

Для ответа на поставленный вопрос необходимо рассчитать энтальпии влажного воздуха  $H_1$ ,  $H_n$ ,  $H_{y1}$ .

$$H_{\text{н1}} = C_{\text{в}} t_{\text{н1}} + d_{\text{н1}} (r_0 + C_{\text{п}} t_{\text{н1}}) = 1,005 \cdot 5 + 3 \cdot 10^{-3} (2500 + 1,807 \cdot 5) = 5,025 + 7,53 = 12,56 \text{ кДж/кг с.в.}$$

$$H_{\text{н}} = C_{\text{в}} t_{\text{н}} + d_{\text{н}} (r_0 + C_{\text{п}} t_{\text{н}}) = 1,005 \cdot 20 + 3 \cdot 10^{-3} (2500 + 1,807 \cdot 20) = 20,1 + 7,71 = 27,71 \text{ кДж/кг с.в.}$$

Энтальпию  $H_{y1}$  найдем из уравнения теплового баланса помещения:

$$H_{y1} = (\Delta Q / G) + H_{\text{н}} = (20 / 2) + 27,71 = 37,71 \text{ кДж/кг с.в.}$$

Энергосберегающий эффект:

$$\sum Q_3 = G \varepsilon (H_{y1} - H_{\text{н1}}) = 2 \cdot 0,6 (37,71 - 12,56) = 25,15 \text{ кВт.}$$

#### Пример 4. 3.

##### *Условие*

Фактическое теплотребление системой горячего водоснабжения жилого здания, выявленное по результатам инструментального энергоаудита, составляет 120 кВт. Оцените потенциал энергосбережения, если расчетное количество потребителей горячей воды равно  $m = 100$  человек. Температура горячей воды  $55^\circ\text{C}$ , температура холодной водопроводной воды в отопительный период  $5^\circ\text{C}$ , в летний период  $15^\circ\text{C}$ .

##### *Решение*

Среднесуточный расход теплоты на горячее водоснабжение в отопительный период определяется по формуле:

$$Q_{\text{зв,з}}^{\text{р.с}} = 1,2 \cdot m \cdot a \cdot (t_2 - t_{\text{x,з}}) c_p^{\text{р}}, \text{ кДж/сут,}$$

где  $a = 105 \div 120$  кг/(чел-сут) – норма водопотребления для жилых зданий квартирного типа, оборудованных ванными;  $c_p^{\text{р}} = 4,19$  кДж/(кг·К) – средняя удельная теплоемкость воды;

$$\text{Тогда } Q_{\text{зв,з}}^{\text{р.с}} = 1,2 \cdot 100 \cdot 120 \cdot (55 - 5) \cdot 4,19 = 3016800 \text{ кДж/сут}$$

Средняя нагрузка на горячее водоснабжение в отопительный период:

$$Q_{\text{зв,з}}^{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{зв,з}}^{\text{ср.с}}}{24 \cdot 3600} = \frac{3016800}{24 \cdot 3600} = 34,92 \text{ кВт}$$

Средняя за отопительный период нагрузка определяется по формуле:

$$Q_{\text{зв,л}}^{\text{ср}} = 34,92 \cdot \frac{55-5}{55-15} \cdot 0,8 = 34,92 \text{ кВт}$$

где  $\beta = 0,8$  (для жилищно-коммунального сектора).

Расчетная максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение:

$Q_{\text{зв}}^{\text{п}} = \chi \cdot Q_{\text{зв,з}}^{\text{ср}} = 2,4 \cdot 34,92 = 83,8 \text{ кВт}$ , где  $\chi$  - расчетный коэффициент часовой неравномерности, ориентировочно для жилых и общественных зданий принимают  $\chi = 2,4$ .

Потенциал энергосбережения можно оценить, как разность фактической и расчетной тепловых нагрузок -  $Q_{\text{ф.}} - Q_{\text{зв}}^{\text{п}} = 120 - 83,8 = 36,2 \text{ кВт}$ .

## Задачи

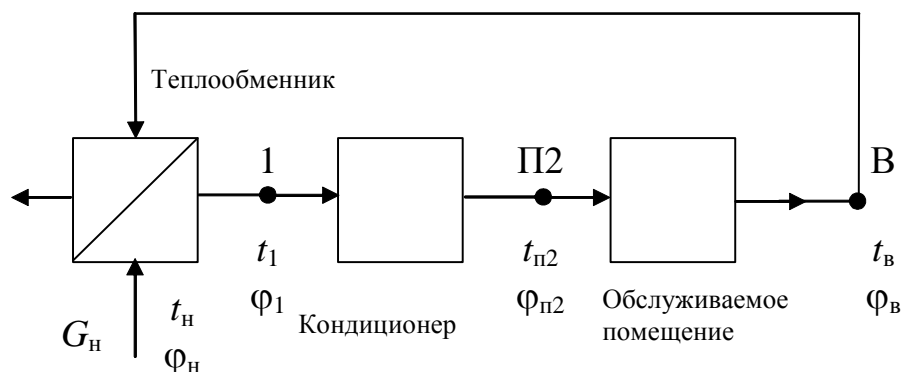
### Задача 4.1.

В системе кондиционирования общественного здания воздух окружающей среды с температурой  $t_1 = 32^\circ\text{C}$  и относительной влажностью  $\varphi_1 = 80\%$  поступает в камеру смешения, где смешивается с частью вытяжного воздуха. Пройдя термовлажностную обработку в центральном кондиционере, воздух поступает в обслуживаемое помещение с параметрами  $t_2 = 20^\circ\text{C}$  и  $\varphi_2 = 55\%$ . Температуру и относительную влажность воздуха на выходе из цеха принять соответственно равными  $t_3 = 23^\circ\text{C}$  и  $\varphi_3 = 65\%$ . Расход приточного воздуха считать равным  $G_0 = 10 \text{ кг/с}$ . Степень рециркуляции  $\alpha_{\text{р}} = 0,3$ .

Постройте процесс термовлажностной обработки воздуха в системе кондиционирования в  $h, d$ -диаграмме. Определите, какую холодильную мощность можно сэкономить при применении рециркуляции в схеме кондиционирования воздуха по сравнению с приточной схемой. Определите экономию условного топлива за год, полагая, что источником холодоснабжения установки является холодильная машина, к.п.д. которой равен 0,8, а система кондиционирования работает 18 часов в сутки.

### Задача 4.2.

В системе кондиционирования здания (см. схему) воздух окружающей среды с температурой  $t_{\text{н}} = 0^\circ\text{C}$  и влажностью  $d_{\text{н}} = 3 \text{ г/кг с.в.}$  подогревается в утилизационном рекуперативном теплообменнике до температуры  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ . Затем, пройдя термовлажностную обработку в центральном кондиционере, воздух поступает в обслуживаемое помещение с параметрами  $t_{\text{п2}} = 20^\circ\text{C}$  и  $\varphi_{\text{п2}} = 55\%$ . Температуру и относительную влажность воздуха на выходе из цеха принять соответственно равными  $t_{\text{в}} = 25^\circ\text{C}$  и  $\varphi_{\text{в}} = 65\%$ . Расход свежего воздуха равен  $G_{\text{н}} = 2 \text{ кг/с}$ . Определите, какую тепловую мощность можно сэкономить при применении в схеме кондиционирования утилизационного теплообменника, по сравнению с приточной схемой. Определите экономию условного топлива, полагая, что источником теплоснабжения является ТЭЦ.



### Задача 4.3.

Жилое здание типовой постройки типа ПЗ1/12 имеет строительный объем  $24950 \text{ м}^3$  и расположено в г. Москва. Оцените годовую экономию тепловой энергии, если в результате проведения комплекса энергосберегающих мероприятий, связанных с улучшением теплозащитных свойств ограждающих конструкций, удалось снизить теплопотери в окружающую среду на 5%.

### Задача 4.4.

Определите величину зазора между стёклами оконной рамы размерами  $h=1,5$  мм (высота) и  $l=2,0$  мм (ширина) при которой тепловые потери через окно будут минимальными. Толщина стекол  $d=0,003$  м. При решении задачи принять расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха по СНиП. Жилое здание расположено в г. Москве.

#### Задача 4.5

В приточной системе вентиляции холодный наружный воздух с температурой  $t_n = -15^{\circ}\text{C}$  поступает в калорифер по стальному воздуховоду квадратного сечения размерами  $(50 \times 50)$  мм. Толщина стенки воздуховода  $\delta=1,5$  мм. Длина участка воздуховода от ввода в здание до калорифера  $L=15$  м. Температура в месте прокладки воздуховода  $t_1=18^{\circ}\text{C}$ . Воздух подогревается в калорифере до  $t_b=22^{\circ}\text{C}$  и подается вентилятором в обслуживаемое помещение. Расчетные параметры теплоносителя в водяной системе отопления  $105-70^{\circ}\text{C}$ . Производительность вентилятора  $18000$  м<sup>3</sup>/ч. Какая тепловая мощность экономится за счет подогрева воздуха на участке от ввода до калорифера? На сколько уменьшится расход горячей воды?

Задача 4.6 Сравните годовое теплотребление системой вентиляции образовательного учреждения, расположенного в Москве, при круглосуточной работе с максимальной нагрузкой и при работе в следующем режиме теплотребления:

Интервалы часов в сутки	Тепловая нагрузка, в % от $q_b$
6-8	70%
8-18	100%
18-8	10%

Максимальная часовая вентиляционная нагрузка  $q_b=1,09$  Гкал/ч.

#### Задача 4.7

Рассчитайте площади поверхностей теплообмена калориферов, используемых для нагрева  $10$  кг/с наружного воздуха от  $-26^{\circ}\text{C}$  до  $+10^{\circ}\text{C}$  воздухом, удаляемым из помещения, в системе утилизации теплоты последнего с жидкостно-воздушными теплообменниками-утилизаторами (калориферами) и циркулирующим между ними промежуточным теплоносителем. В качестве промежуточного теплоносителя используется вода. Ее минимальная температура в системе  $+5^{\circ}\text{C}$ , конечная  $+8^{\circ}\text{C}$ . Температур вытяжного воздуха  $+25^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $50\%$ .

#### Задача 4.8

При расчете воздухоподогревателя в системе утилизации теплоты вентиляционных выбросов получены следующие данные: площадь поверхности теплообмена  $450$  м<sup>2</sup>, проходные сечения по воздуху  $2$  м<sup>2</sup> и по воде  $0,006$  м<sup>2</sup>. Каким образом необходимо скомпоновать воздухоподогреватель из калориферов с поверхностью теплообмена  $122,4$  м<sup>2</sup>, проходными сечениями  $1,045$  м<sup>2</sup> и  $0,003$  м<sup>2</sup>?

#### Задача 4.9

Рассчитайте экономию тепловой энергии в случае уменьшения расхода инфильтрующегося воздуха на  $50\%$  из-за проведения энергосберегающих мероприятий. Расчетные температуры: наружного воздуха  $t_n^{p,om} = -26^{\circ}\text{C}$ , внутри помещения -  $t_g^p = 18^{\circ}\text{C}$ . Расчетное количество людей в помещении  $n = 157$  человек.

1. Актуальность энергосбережения в России и мире.
2. Государственная политика в области повышения эффективности использования энергии. Управление энергосбережением в России.
3. Нормативная база энергосбережения.
4. Методы и критерии оценки эффективности энергосбережения.
5. Основы энергоаудита объектов энергетики.
6. Методы энергосбережения при производстве и распределении тепловой и электрической энергии.
7. Энергосберегающие мероприятия в промышленности.
8. Энергосберегающие мероприятия на объектах жилищно-коммунального хозяйства.
9. Применение теплообменных аппаратов для утилизации тепла вторичных энергетических ресурсов.

## Актуальность энергосбережения в России и мире

**Вопрос №1:** Укажите правильное соотношение между 1 Гигакалорией и 1 киловатт-часом энергии

1 кВт·ч =  $0,857 \times 10^{-3}$  Гкал

1 кВт·ч =  $0,113 \times 10^{-3}$  Гкал

1 кВт·ч =  $1,130 \times 10^{-3}$  Гкал

1 кВт·ч =  $4,187 \times 10^{-3}$  Гкал

**Вопрос №2:** Выберите правильное утверждение: Федеральный закон «Об энергосбережении» ...

Определяет планируемый уровень потребления топлива и энергетических ресурсов в России на ближайшее будущее

Определяет планируемый уровень экономии топлива и энергетических ресурсов в России на ближайшее будущее

Определяет основы государственной политики в области энергосбережения

Определяет конкретные направления экономии энергии в различных сферах хозяйственной деятельности

**Вопрос №3:** Что из ниже перечисленного является тепловым вторичным энергетическим ресурсом?

Мусор, сжигаемый на заводе переработки

Попутный нефтяной газ

Вентиляционный воздух, удаляемый из производственных помещений

Сжатый газ

**Вопрос №4:** Уровень мирового потребления топлива и энергии в 2000 г. составлял:

27 Гигатонн условного топлива

13 Гигатонн условного топлива

5 Гигатонн в нефтяном эквиваленте

3,5 Гигатонн в нефтяном эквиваленте

**Вопрос №5:** Условное топливо соответствует топливу с низшей теплотворной способностью в

30 МДж/кг

25,7 МДж/кг

29,3 МДж/кг

Здесь нет правильного ответа

**Вопрос №6:** Низшая теплота сгорания топлива меньше высшей теплоты сгорания, поскольку учитывает то, что в топливе присутствуют негорючие вещества

часть тепла необходима на испарение влаги, присутствующей в топливе

часть тепла необходима на испарение влаги, присутствующей в топливе и образующейся в процессе реакции горения

не знаю

**Вопрос №7:** Для выработки 1 киловатт-часа электроэнергии в России в среднем расходуется

128 грамм условного топлива

320 грамм условного топлива

1250 грамм условного топлива

1500 грамм условного топлива

**Вопрос №8:** На электростанциях какого типа вырабатывается в настоящее время наибольшее количество электроэнергии в России?

Атомных электростанциях

Гидроэлектростанциях

Паротурбинных тепловых электростанциях

Газотурбинных тепловых электростанциях

**Вопрос №9:** Какой из типов электростанций имеет наибольшее значение электрического к.п.д.

Использующих цикл Ренкина

Использующих газотурбинный цикл

Использующий паро-газовый цикл

**Вопрос №10:** Каковы основные потери тепла на электростанциях паротурбинного цикла?

Потери через ограждение котельного агрегата

Потери тепла с дымовыми газами, уходящими из дымовых труб

Потери, связанные с охлаждением конденсатора турбины

Подтвердите свой выбор

<b>Государственная политика в области повышения эффективности использования энергии. Управление энергосбережением в России.</b>	
<b>Вопрос №1:</b> В какой из стран энергоёмкость ВВП является наименьшей	США Германия Россия Япония
<b>Вопрос №2:</b> Примерная доля энергии в мировом энергетическом балансе, получаемая за счет использования нетрадиционных источников энергии составляет:	2% 10% 15% 20%
<b>Вопрос №3:</b> Какие предприятия подлежат обязательному энергетическому обследованию?	Предприятия, потребляющие более 1000 т.у.т./ год Предприятия, потребляющие более 100 т./ год моторного топлива Предприятия, потребляющие более 6000 т.у.т./ год Все потребители ТЭР
<b>Вопрос №4:</b> Какая из указанных пропорций правильнее всего отражает соотношение стоимостей тарифов на электроэнергию и теплоту в Европейской части РФ:	5,5:1 2:1 1:1 0,5:1
<b>Вопрос №5:</b> Во сколько раз энергоёмкость ВВП России превышает аналогичный показатель ведущих западных стран:	В 1,4 – 2 раза В 3,5 – 4,5 раза В 6,5 – 7,5 раза В 9 – 10 раз
<b>Вопрос №6:</b> Укажите примерный потенциал энергосбережения в России	100 млн. т.у.т. 200 млн. т.у.т. 400 млн. т.у.т. 800 млн. т.у.т.
<b>Вопрос №7:</b> Укажите уровень потребления ТЭР в России, прогнозируемый Федеральной целевой программой «Энергоэффективная экономика» в 2010 г.	0,5 млрд. т.у.т. 1,1 млрд. т.у.т. 1,6 млрд. т.у.т. 2,8 млрд. т.у.т.
<b>Вопрос №8:</b> Укажите долю финансовых средств, направляемых на обновление основных фондов энергетического оборудования согласно Федеральной целевой программе «Энергоэффективная экономика».	40% 65% 85% 95%
<b>Вопрос №9:</b> Учет каких ТЭР должны вести все юридические лица согласно Федеральному закону «Об энергосбережении»	Производимых Хранимых Потребляемых Всех вышеперечисленных
<b>Вопрос №10:</b> Какой орган устанавливает тарифы на энергетические ресурсы?	Правительство РФ Госэнергонадзор Региональная энергетическая комиссия Госдума РФ
<b>Подтвердите свой выбор</b>	

## Нормативная база энергосбережения

**Вопрос №1:** Какой из документов нормативной базы энергосбережения не относится к нормативно-техническому:

- СНИП
- ГОСТ
- Правила проведения энергетических обследований
- Постановления Правительства РФ

**Вопрос №2:** Какой из документов нормативной базы энергосбережения не относится к нормативно-правовому:

- Закон об энергосбережении
- Постановления Правительства РФ
- Указ Президента
- ГОСТ

**Вопрос №3:** Как часто согласно нормативным документам промпредприятиям следует проводить энергетическое обследование:

- Ежегодно
- Один раз в пять лет
- Один раз в десять лет
- По мере необходимости

**Вопрос №4:** К какому уровню нормативно-технической базы энергосбережения относятся СНИПы:

- Мировой
- Федеральный
- Региональный
- Муниципальный

**Вопрос №5:** К какому уровню нормативно-правовой базы энергосбережения относится "Закон об энергосбережении Краснодарского края":

- Мировой
- Федеральный
- Региональный
- Муниципальный

**Вопрос №6:** Какой из указанных нормативных документов является основополагающим и должен приниматься во внимание при разработке остальных:

- ГОСТ 51379-99 Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения.
- ГОСТ 27322-87 Энергетический баланс промышленного предприятия. Общие положения.
- Закон об энергосбережении от 13.06.96
- Правила технической эксплуатации теплотребляющих установок и тепловых сетей и правила техники безопасности при эксплуатации теплотребляющих установок и тепловых сетей ГОСЭНЕРГОНАДЗОРА РФ.

**Вопрос №7:** В каком из нормативных документов указана обязательность проведения энергетических обследований предприятий:

- Указ Президента
- Закон об энергосбережении
- Постановление Правительства РФ
- ГОСТ 51379-99 Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения.

**Вопрос №8:** В каком из нормативных документов изложены основные принципы энергосберегающей политики государства на ближайшие годы:

- ГОСТ 51379-99 Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения.
- ГОСТ 27322-87 Энергетический баланс промышленного предприятия. Общие положения.
- Закон об энергосбережении от 13.06.96
- Постановление Правительства РФ

**Вопрос №9:** Каков уровень разработки энергосберегающих мероприятий, предусматриваемый ГОСТом на энергетический паспорт:

- Рекомендации по возможным энергосберегающим мероприятиям
- Разработка бизнес плана энергосберегающих мероприятий
- Проектно-конструкторская документация на реализацию предложенных мероприятий
- Реализация мероприятий с получением реального энергосберегающего эффекта

**Вопрос №10:** Какому из органов государственного управления федерального уровня поручен надзор за эффективным использованием энергоресурсов в масштабах государства:

- Государственной Думе
- Минэнерго РФ
- Минэкономразвития РФ
- Счетной Палате РФ

Подтвердите свой выбор



<b>Методы и критерии оценки эффективности энергосбережения</b>	
<b>Вопрос №1:</b> Как изменится КПД котельного агрегата, если при его расчете вместо низшей теплотворной способности топлива использовать высшую?	<input type="checkbox"/> Не изменится <input type="checkbox"/> Уменьшится <input type="checkbox"/> Увеличится <input type="checkbox"/> Может как увеличиться, так и уменьшится
<b>Вопрос №2:</b> Который из перечисленных КПД на ТЭЦ имеет наименьшее значение?	<input type="checkbox"/> КПД котельного агрегата <input type="checkbox"/> Электрический КПД ТЭЦ <input type="checkbox"/> Тепловой (по отпущенной теплоте) КПД ТЭЦ <input type="checkbox"/> КПД турбоагрегата
<b>Вопрос №3:</b> Какой из перечисленных ниже показателей относится к натуральным?	<input type="checkbox"/> Современная стоимость потока платежей <input type="checkbox"/> Совокупный удельный расход топлива <input type="checkbox"/> Чистый дисконтированный доход <input type="checkbox"/> Эксергетический КПД
<b>Вопрос №4:</b> Какой из перечисленных ниже критериев оптимизации трактует технологический аппарат как черный ящик?	<input type="checkbox"/> Энергетический КПД <input type="checkbox"/> Совокупный удельный расход условного топлива <input type="checkbox"/> Эксергетический КПД <input type="checkbox"/> Удельный расход тепла на единицу выработанной продукции
<b>Вопрос №5:</b> Укажите правильное определение понятия «условного топлива»?	<input type="checkbox"/> В качестве единицы условного топлива принимают топливо, имеющее высшую теплоту сгорания 7000 ккал/кг или 29,3 МДж/кг <input type="checkbox"/> Под условным топливом понимают такую эталонную единицу, которая соответствует выделению 7000 ккал/кг у. т. или 29,3 МДж/кг у. т. <input type="checkbox"/> «Условное топливо» - это такая эталонная единица, которая соответствует выделению 7000 ккал/кг у.т.или 29,3 МДж/кг у.т. <input type="checkbox"/> Не знаю
<b>Вопрос №6:</b> Какой из приведенных ниже коэффициентов следует использовать для пересчета теплотворной способности топлива из кДж/кг в ккал/кг	<input type="checkbox"/> 0,86 <input type="checkbox"/> 0,239 <input type="checkbox"/> 1,163 <input type="checkbox"/> 4,186
<b>Вопрос №7:</b> Что такое показатель энергетической эффективности?	<input type="checkbox"/> Признак изделия и/или технологии, количественно характеризующий их свойства, связанные с потреблением ими топлива, тепловой и/или электрической энергии <input type="checkbox"/> Количество и стоимость тепловой и электрической энергии, переданной поставщиками <input type="checkbox"/> Абсолютная удельная или относительная величина потребления или потерь энергетических ресурсов для продукции любого назначения или технологического процесса <input type="checkbox"/> Экономический эффект, полученный за счет оптимизации режимов работы системы энергоснабжения
<b>Вопрос №8:</b> Для перевода 1 кВт·ч выработанной на ТЭЦ электроэнергии в т.у.т. используется коэффициент:	<input type="checkbox"/> $7,000 \cdot 10^{-3}$ <input type="checkbox"/> $0,320 \cdot 10^{-3}$ <input type="checkbox"/> $0,123 \cdot 10^{-3}$ <input type="checkbox"/> Не знаю
<b>Вопрос №9:</b> Выберите правильные определения коэффициента полезного действия:	<input type="checkbox"/> Величина, характеризующая совершенство процессов превращения или передачи энергии, являющаяся отношением полезной энергии к подведенной <input type="checkbox"/> Отношение всей полезно используемой в энергоустановке энергии к суммарному количеству израсходованной энергии <input type="checkbox"/> Верны оба ответа <input type="checkbox"/> Не знаю
<b>Вопрос №10:</b> Выберите правильное определение полной энергоемкости продукции	<input type="checkbox"/> Величина потребления энергии и/или топлива на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции на базе заданной технологической системы <input type="checkbox"/> Величина расхода энергии и/или топлива на изготовление продукции, включая расход на добычу, транспортировку, переработку и т.д. с учетом коэффициента использования сырья и материалов <input type="checkbox"/> Верны оба ответа <input type="checkbox"/> Здесь нет правильного ответа
<b>Подтвердите свой выбор</b>	

## Основы энергоаудита объектов энергетики

**Вопрос №1:** К тепловым ВЭР относится:

- Потенциальная энергия газов и жидкостей
- Кинетическая энергия газов и жидкостей
- Физическое тепло отходящих газов технологических агрегатов
- Жидкие топливные отходы

**Вопрос №2:** Какая из форм (таблиц) не входит в состав энергетического паспорта предприятия:

- Технико-экономическое обоснование проведения энергосберегающих мероприятий
- Перечень энергосберегающих мероприятий
- Основные сведения о предприятии
- Сведения о потреблении тепловой энергии на предприятии

**Вопрос №3:** Какой из указанных приборов при проведении инструментального аудита сушильной установки является основным с вашей точки зрения:

- Гигрометр
- Портативный расходомер
- Газоанализатор
- Электроанализатор

**Вопрос №4:** Может ли энергетическое обследование предприятия проводится органами энергонадзора:

- Да
- Нет
- Да, в исключительных случаях

**Вопрос №5:** Какая работа, как правило, не проводится энергоаудиторами при экспресс обследовании промышленного предприятия:

- Сбор первичных статотчетных данных
- Составление топливно энергетического баланса предприятия
- Составление материальных и тепловых балансов отдельных подразделений предприятия
- Разработка направлений энергосбережения

**Вопрос №6:** Какой из перечисленных ниже приборов используется для измерения скорости газового потока:

- Гигрометр
- Люксометр
- Анеометр
- Пирометр

**Вопрос №7:** Какие из перечисленных ниже целей характерны для энергоаудита первого уровня:

- Определение необходимости проведения энергоаудита
- Разработка технических решений
- Оценка технико-экономической эффективности
- Определение структуры энергозатрат и структуры энергоиспользования

**Вопрос №8:** Какой из органов государственной власти утверждает энергетический паспорт предприятия:

- Гос. дума РФ
- Гос. Дума области (края)
- Госэнергонадзор
- Администрация губернатора

**Вопрос №9:** Какое из перечисленных энергетических обследований осуществляется только сотрудниками Госэнергонадзора

- Внеочередное
- Локальное
- Экспресс-обследование
- Предпусковое и предэксплуатационное

**Вопрос №10:** Являются ли энергосберегающие мероприятия, указанные в пояснительной записке к энергетическому паспорту обязательными для выполнения на предприятии?

- Да
- Нет
- Да, если срок окупаемости мероприятия меньше трех лет
- Да, если мероприятие не требует капитальных вложений

**Подтвердите свой выбор**

## Методы энергосбережения при производстве и распределении тепловой и электрической энергии

**Вопрос №1:** Сколько килограмм условного топлива расходуется на производство 1 отпущенной Гкал теплоты в среднем по России?

- 100
- 130
- 175
- 300

**Вопрос №2:** Какое из перечисленных направлений повышения КПД ТЭС является наиболее перспективным в настоящее время?

- Повышение параметров пара перед турбиной
- Увеличение единичной мощности турбогенераторов
- Замена паросиловых циклов на газотурбинные
- Комбинированное применение паросиловых и газотурбинных циклов

**Вопрос №3:** Какие из перечисленных потерь или затрат теплоты топлива имеют наибольшее значение на электростанции с газотурбинными установками, вырабатывающими только электроэнергию?

- Потери теплоты через ограждения камеры сгорания
- Потери теплоты с отработанными продуктами сгорания
- Необратимые потери в проточной части газотурбинной установке
- Затраты энергии на привод воздушного компрессора

**Вопрос №4:** В каком случае необходимо применять тепловую изоляцию трубопроводов или плоских поверхностей?

- Тепловой изоляцией необходимо покрывать все объекты
- Тепловая изоляция применяется, если температура теплоносителя выше 45°C
- Применение тепловой изоляции необходимо для объектов с температурой поверхности от 40°C до 100°C

**Вопрос №5:** В котором из ответов наиболее правильно указаны объемы производства электроэнергии (%) в России на ТЭС, ГЭС и АЭС?

- |    |    |    |
|----|----|----|
| 70 | 12 | 13 |
| 10 | 10 | 80 |
| 65 | 19 | 16 |
| 65 | 35 | -- |

**Вопрос №6:** Применение тепловых насосов наиболее целесообразно, если источником для их работы является:

- Оборотная вода систем теплоснабжения
- Воздух окружающей среды
- Сточные воды промышленных предприятий
- Конденсирующийся пар

**Вопрос №7:** Назовите КПД энергетических установок парогазового цикла:

- 25 – 35%
- 35 – 45%
- 45 – 55%
- 60 – 70%

**Вопрос №8:** На какие расстояния обычно транспортируют пар по тепловым сетям:

- до 1 км
- до 5 км
- до 10 км
- свыше 10 км

**Вопрос №9:** Назовите долю электроэнергии, вырабатываемой в России нетрадиционными источниками:

- 1 – 2%
- 3 – 5%
- 5 – 7%
- 7 – 8%

**Вопрос №10:** Какое мероприятие существенно выгоднее применять на ТЭС, чем в отопительных котельных?

- Регенеративный подогрев питательной воды
- Подогрев воздуха, поступающего на горение
- Распыление газообразного топлива в турбодетандерах
- Предварительная подготовка топлива

**Подтвердите свой выбор**

## Энергосберегающие мероприятия в промышленности

**Вопрос №1:** Какие потери энергии (из перечисленных ниже), по Вашему мнению, являются наибольшими при конвективной сушке?

- С сушимым материалом и через ограждения
- За счет кинетического несовершенства установки
- С уходящим сушильным агентом
- С пролетным паром

**Вопрос №2:** В какой комбинации указаны только вторичные энергоресурсы (ВЭР) ?

- Пар от котельной и сетевая вода
- Древесные отходы мебельного комбината и пар вскипания конденсата
- Конденсат греющего пара и обратная вода
- Пар из отбора турбины и древесные отходы

**Вопрос №3:** Понятие паразитного удлинения времени сушки:

- Отношение времени сушки в условиях неравномерности тепломассообмена ко времени сушки в условиях равномерного распределения параметров
- Отношение времени сушки в условиях равномерного распределения параметров ко времени сушки в условиях неравномерности тепломассообмена
- Увеличение общего времени сушки, вследствие простоя оборудования

**Вопрос №4:** К тепловым ВЭР относится:

- Потенциальная энергия газов и жидкостей
- Кинетическая энергия газов и жидкостей
- Физическое тепло отходящих газов технологических агрегатов
- Жидкие топливные отходы

**Вопрос №5:** Биогаз, твердые и жидкие топливные отходы относятся к:

- Тепловым ВЭР
- ВЭР избыточного давления
- Топливным (горючим) ВЭР
- Не знаю

**Вопрос №6:** Один из способов использования теплоты ВЭР – это регенеративное теплоиспользование, представляющее:

- Использование теплоты в другой установке
- Возврат тепла в установку
- Комбинированное теплоиспользование
- Не знаю

**Вопрос №7:** В системах утилизации теплоты вентиляционного воздуха пластинчатые оребренные теплообменники применяются в том случае, когда:

- Расход холодного теплоносителя значительно больше расхода греющего теплоносителя
- Воздуховоды с горячим и холодным теплоносителями удалены друг от друга
- Воздуховоды с горячим и холодным теплоносителями расположены на небольшом расстоянии друг от друга
- Не знаю

**Вопрос №8:** Укажите природный источник, применение которого меньше всего оправдано для работы теплового насоса:

- Теплота естественных и искусственных водоемов
- Теплота грунта, получаемая при помощи трубчатых теплообменников
- Теплота воздуха окружающей среды при отрицательных температурах
- Тепло, получаемое в результате использования солнечной энергии

**Вопрос №9:** Теплообменный аппарат, в котором передача теплоты осуществляется посредством поочередного омывания поверхности нагрева греющим и нагреваемым теплоносителем называется:

- Регенеративным теплообменником
- Рекуперативным теплообменником
- Смесительным теплообменником

**Вопрос №10:** Установка конденсатоотводчиков увеличивает КПД парoisпользующего оборудования на:

- 5 – 10%
- 10 – 20%
- 3 – 5%
- 1 – 2%

Подтвердите свой выбор

## Энергосберегающие мероприятия на объектах жилищно-коммунального хозяйства

<b>Вопрос №1:</b> Какое количество тепла ориентировочно теряется через оконные проемы?
10-15%
30-40%
Не теряется
<b>Вопрос №2:</b> Обычное оконное стекло:
Хорошо пропускает инфракрасное излучение
Хорошо поглощает инфракрасное излучение
Хорошо отражает инфракрасное излучение
<b>Вопрос №3:</b> Какое окно имеет максимальное удельное приведенное сопротивление теплопередаче:
Трехслойное с селективным покрытием среднего стекла
Трехслойные стеклопакеты из обычного стекла
С двойным остеклением
С одинарным остеклением
<b>Вопрос №4:</b> Какая величина принимается за базовую при подсчете максимальной отопительной нагрузки по укрупненным показателям:
Площадь здания
Площадь пола этажей зданий
Число жителей
Объем здания по внешнему обмеру
<b>Вопрос №5:</b> В каких документах можно найти значение длительности отопительного периода в данном регионе:
В строительных нормах и правилах
В нормативных документах Энергонадзора
В санитарно-гигиенических нормах
Здесь нет правильного ответа
<b>Вопрос №6:</b> В каких типах зданий отсутствуют затраты тепла на работу систем вентиляции:
В зданиях общественного назначения
В промышленных зданиях
В жилых зданиях
Затраты тепла на работу систем вентиляции нужны во всех типах зданий
<b>Вопрос №7:</b> Какая система отопления более экономична с точки зрения затрат первичных энергоресурсов:
Водяное отопление
Водяное отопление при помощи настенных отопительных приборов
Воздушное отопление
Системы электрического лучистого отопления
<b>Вопрос №8:</b> Укажите параметр, от которого не зависит тепловая нагрузка на горячее водоснабжение здания:
Число потребителей
Температура наружного воздуха
Температура холодной воды
<b>Вопрос №9:</b> Как изменится термическое сопротивление наружной стены при нанесении тепловой изоляции с наружной стороны
Увеличится
Не изменится
уменьшится
<b>Вопрос №10:</b> Какая из составляющих энергетических затрат в ЖКХ России потребляет наибольшее количество энергии:
Отопление
Вентиляция
Горячее водоснабжение
Освещение

Подтвердите свой выбор

## Применение теплообменных аппаратов для утилизации тепла вторичных энергетических ресурсов

**Вопрос №1:** Для каких теплоносителей – газообразных или капельных жидкостей – выше удельные затраты мощности на перемещение в трубах и каналах?

- Жидких
- Газообразных
- Запыленных газообразных
- Не знаю

**Вопрос №2:** В каком случае коэффициент теплоотдачи имеет наименьшее значение?

- при вынужденной конвекции воздуха
- при конденсации паров органических жидкостей
- при свободной конвекции воздуха
- при кипении воды

**Вопрос №3:** Для какого из перечисленных процессов коэффициент теплоотдачи имеет наибольшее значение?

- Нагревание перегретым паром
- Конденсация чистого пара
- Охлаждение жидкостью
- Нагревание газов

**Вопрос №4:** Назовите недостатки воздуха как теплоносителя по сравнению с водой.

- Большой коэффициент теплоотдачи
- Большие затраты мощности на перемещение
- Меньший коэффициент теплоотдачи
- Здесь нет правильного ответа

**Вопрос №5:** Назовите достоинства воздуха как теплоносителя по сравнению с водой.

- Меньшие затраты мощности на перемещение
- Большой уровень температуры
- Неизменность агрегатного состояния
- Здесь нет правильного ответа

**Вопрос №6:** Какие из теплообменных аппаратов обладает наибольшим коэффициентом компактности?

- Кожухотрубные
- Секционные
- С оребренными трубками
- С гладкими пластинами
- Оребренные пластинчатые

**Вопрос №7:** В каких случаях целесообразно применять ребристые трубы в качестве поверхностей нагрева в теплообменных аппаратах?

- Если внутри труб конденсируется пар
- Если снаружи трубы обтекаются воздухом
- Если скорость теплоносителя в трубах невелика
- Здесь нет правильного ответа

**Вопрос №8:** Когда коэффициент теплоотдачи при одинаковой скорости теплоносителя будет выше?

- При поперечном обтекании трубы
- При течении жидкости в трубе
- Не знаю

**Вопрос №9:** Какие недостатки имеет пластинчатый теплообменник по сравнению с кожухотрубным?

- Большая компактность
- Большее гидравлическое сопротивление
- Меньший допустимый перепад давлений между теплоносителями
- Не знаю

**Вопрос №10:** Укажите примерные значения коэффициента оребрения для оребренных труб, применяемых в теплообменных аппаратах.

- 10 ... 25
- 25 ... 30
- 30 ... 40

**Подтвердите свой выбор**

Вы ответили на \_\_\_\_\_ вопросов из 10 предложенных.

Мы считаем, что Ваши знания по данному разделу можно оценить в \_\_\_\_\_ баллов по 100 – балльной шкале.

При подведении итогов мы руководствовались сложностью конкретных вопросов, а также тем, насколько Вы были близки (далеки) к правильному ответу.

В том случае, если Ваш результат не превышает 80 баллов, Вам следует вернуться к изучению материала. Не расстраивайтесь! Ваши знания оценивались машиной и алгоритм оценки пока не достаточно совершенен.

Если же Ваш результат выше – примите наши поздравления! Переходите к изучению других разделов.

Ваши результаты:

1 Вопрос		3 Вопрос		5 Вопрос		7 Вопрос		9 Вопрос	
2 Вопрос		4 Вопрос		6 Вопрос		8 Вопрос		10 Вопрос	
<i>«?» – неправильный ответ</i>									
<i>«+» – правильный ответ</i>									

Если Вы хотите еще раз попробовать свои силы, нажмите кнопку «Контроль» основного меню.

# Литература

---



Энергосбережение - от слов к делу.

Данилов Н.И.

Изд.2-ое, исправленное и дополненное, Екатеринбург: Энерго-Пресс, 2000.



Состояние и перспективы развития энергетики Центра России.

Мошкарин А.В., Смирнов А.М., Ананьин В.И.

Иван. гос. энерг. ун-т. - Москва - Иваново, 2000. - 192 с.



Региональный вектор энергосбережения.

Литвак В.В., Силич В.А., Яворский М.И.- Томск: STT, 1999. - 320 с.



Энергоаудит и энергосбережение на ТЭС

Вып.1 / Под ред. А.В.Мошкарина, Е.В.Барочкина, Ю.М.Пашковского. - Москва - Владимир - Иваново: ИГЭУ, 1999. -208 с., ил.



Энергосбережение (справочное пособие).

В.Е.Батищев, Б.Г.Мартыненко, С.Л.Сысков, Я.М.Целоков.  
Екатеринбург, 1999.



Энергосбережение. Введение в проблему

Н.И.Данилов, А.И.Евпланов, В.Ю.Михайлов, Я.М.Щелоков. - Екатеринбург: ИД "Сократ", 2001. - 208 с., ил.



Научные основы энергосбережения.

Леончик Б.И., Данилов О.Л.

Учебное пособие.-М.: Издательский комплекс МГУПП, 2000.-107 с.



Подписано в печать 22.02.18.

Издательство Современного технического университета  
390048, г. Рязань, ул. Новоселов, 35А.  
(4912) 30-06-30, 30 08 30