



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

**Методические указания**  
к практическим занятиям  
«Экономическая эффективность  
энергосберегающих и природоохранных  
мероприятий»  
по дисциплине

**«Современные системы  
климатизации зданий»**

Авторы  
Галкина Н. И.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Приведена методика определения экономической эффективности энергосберегающих мероприятий, оценки предотвращенного ущерба от снижения загрязнения атмосферы токсичными веществами и оптимизации систем воздействия на окружающую природную среду и нормирование ее качества.

Предназначены для бакалавров направления 08.03.01 «Строительство» профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция» очной и заочной формы обучения.

## Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Галкина Н.И.

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Эффективность энергосберегающих установок .....</b>	<b>5</b>
<b>2. ОЦЕНКА ПРЕДОТВРАЩЕННОГО УЩЕРБА ОТ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ТОКСИЧНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ .....</b>	<b>13</b>
<b>3. ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ .....</b>	<b>18</b>
<b>4. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ .....</b>	<b>29</b>
<b>5. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ .....</b>	<b>31</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>35</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Экономия топливно-энергетических ресурсов и охрана окружающей среды – две неразрывно связанные и актуальные проблемы, решению которых во всем мире уделяется большое внимание.

Несмотря на то, что Россия обладает огромными топливно-энергетическими ресурсами, в ее недрах сосредоточено около 1/3 мировых запасов природного газа, 13 % – нефти, 23 % – угля и 14 % – урана. Эффективное использование их является необходимой основой подъема российской экономики и благосостояния народа. Однако до настоящего времени этот ресурсный потенциал используется далеко не лучшим образом. Сегодня на единицу выпускаемой продукции в России расходуется энергии в 2,5–3 раза больше, чем в США и Западной Европе, и в 4 раза больше, чем в Японии.

В области внедрения энергосберегающих технологий имеются крупные резервы, т.к. наряду с энергоустановками, работающими с коэффициентом полезного действия 90 % и выше, действует большое количество технологических печей, газотурбинных установок, сушильных агрегатов с КПД, не превышающим 30 %. Эффективность использования теплоты в этих агрегатах можно значительно повысить, причем капиталовложения для этого требуются существенно меньшие в сравнении с необходимыми для добычи эквивалентного количества топлива.

Зарубежный и отечественный опыт показывает, что новые энергосберегающие технологии, требующие подчас немалых денежных средств, в любом случае выгоднее, чем разработка новых топливных месторождений и строительство новых энергетических

мощностей. Одновременно сберегаются невозобновляемые источники энергии для будущих поколений, затрачивается меньше энергии на выпуск единицы продукции, уменьшаются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

## 1. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТАНОВОК

Актуальность проведения энергосберегающей политики в нашей стране обусловлена, с одной стороны, имеющимися огромными неиспользованными резервами экономии топливно-энергетических ресурсов, а с другой стороны – тем, что во многих случаях меры по экономии энергии требуют существенно меньше затрат, чем капиталовложения для получения эквивалентного количества новых энергетических ресурсов.

В настоящее время в практике анализа вариантов экономических решений широкое применение получила типовая методика минимальных приведенных затрат  $\Pi$ , согласно которой

$$\Pi_{opt} = (C + E_n \cdot K)_{min}, \quad (1)$$

где  $C$  – суммарные эксплуатационные затраты на теплоиспользующие

установки, руб.;

$K$  – капитальные вложения в выбранный вариант, руб.;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  $E_n = 1/T_n$ , где  $T_n$  – нормативный срок окупаемости вложений, год;  $E_n = 15$ .

При оценке вариантов, в которых  $\Pi_1 > \Pi_2$ , экономическую эффективность принятого варианта определяем из зависимости

$$\mathcal{E}_{\text{эк}} = \Pi_1 - \Pi_2 \geq (C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n K_2)_{\min} \quad (2)$$

Оптимальной является второй вариант, т.к.

$$\Pi_{\text{опт}} = \Pi_2 = (C_2 + E_n \cdot K_2)_{\min}.$$

В указанной последовательности может рассматриваться любой сравниваемый вариант, и чем меньше будут приведенные затраты по сравнению с предыдущим, тем весомей экономический эффект от принятого решения

$$C = C^T + C^{\mathcal{E}} + C^a + C^P + C^{\text{з.п.}} + C^o + C^B + \dots + \sum C^{\text{неучт}} \quad (3)$$

где  $C^T, C^{\mathcal{E}}, C^a, C^P, C^{\text{з.п.}}, C^o, C^B, \sum C^{\text{неучт}}$  – эксплуатационные расходы в сравниваемом варианте соответственно: на топливо, электроэнергию, амортизационные отчисления, текущий ремонт, заработную плату обслуживающего персонала, общие по теплоэнергетическому хозяйству, на воду, на неучтенные расходы, руб.

При определении экономической эффективности применения установок комплексного использования теплоты сопоставлению подлежат варианты энергоснабжения, обеспечивающие: удовлетворение потребностей данного производства во всех видах энергии с учетом использования комплексных установок и без их использования.

В соответствии с основными методическими положениями технико-экономических расчетов в энергетике варианты энергоснабжения для обеспечения их сопоставимости должны удовлетворять следующим требованиям:

- равный эффект энергоснабжения, т.е. каждый из вариантов должен обеспечивать одинаковую как по расходу, так и по заданному режиму подачи энергии потребителю;
- создание оптимальных условий реализации для каждого из рассматриваемых вариантов, т.е. использования для каждого из них технически наиболее совершенного оборудования;
- обеспечение одинаковой надежности энергоснабжения, т.е. варианты с пониженной надежностью приводятся к варианту с необходимой надежностью путем дополнительного включения в схему мощностей для поддержания надежности энергоснабжения на требуемом уровне.

В некоторых случаях количество образующихся на данном предприятии энергетических ресурсов не может быть полностью использовано из-за отсутствия потребителей. Тогда определение экономической эффективности комплексного использования теплоты должно производиться на основе разработки вариантов энергоснабжения не только самого предприятия, но и промышленного и жилого района, в котором оно размещается.

При сравнении экономичности отдельных вариантов допускается рассматривать лишь соответствующие изменения схем энергоснабжения, которые изменяются при переходе от одной схемы энергоснабжения к другой.

Создание комплексных установок использования теплоты на действующих предприятиях связано в ряде случаев с дополнительными расходами вследствие размещения теплоиспользующего оборудования по условиям компоновки цехов, усложнения коммуникаций, омертвления произведенных ранее капитальных затрат в энергетическое хозяйство и т.п. Все это должно учиты-

ваться при расчете экономической эффективности установок комплексного использования теплоты.

При анализе вариантов можно также пользоваться методом срока окупаемости, который описывается следующим уравнением

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} \leq T_H. \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой видоизмененное уравнение (1). Однако следует отметить, что уравнение (1) более полно раскрывает экономическую сущность выбора оптимального варианта и более удобно в практике, чем (4).

Рассмотренные выше зависимости справедливы для случая, когда капиталовложения осуществляются в один год, а себестоимость является постоянной, соответствующей периоду нормальной эксплуатации. Если же по сравниваемым вариантам капитальные вложения производятся в разные сроки, а текущие затраты изменяются во времени, то при сравнении вариантов следует затраты более поздних лет привести к настоящему времени, применив коэффициент приведения, исчисляемый при помощи формул сложных процентов

$$\frac{1}{K_{np}} = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (5)$$

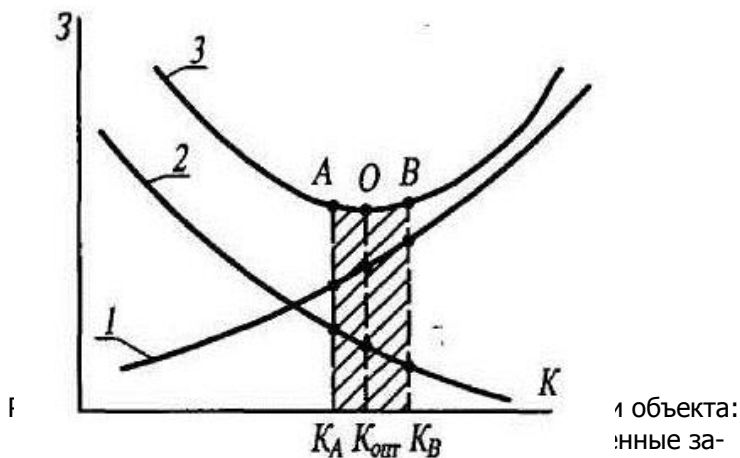
где  $t$  – период времени, год.

Разновременные затраты могут быть приведены и к последнему году строительства. В этом случае применяется коэффициент, обратный  $K_{np}$ , т.е.  $1 / K_{np} = (1 + E)^t$ .



В последние годы все больше внимания уделяется вопросам надежности работы установок и охране окружающей среды. Эти факторы учитываются также при сравнении вариантов.

Для наглядности на рис. 1 представлена графическая зависимость затрат на теплоиспользующую установку от уровня надежности.



Заштрихованный участок – зона оптимальных затрат. Дополнительные затраты по вариантам для обеспечения достаточного уровня надежности теплоиспользующей установки и защиты окружающей среды учитываются уравнениями приведенных затрат. При выборе вариантов решений можно также использовать графическую зависимость затрат от капитальных вложений. На рис. 2 точки *O* и *C* обозначают уровень минимальных приведенных и текущих затрат; заштрихованная область – минимальные приведенные затраты.

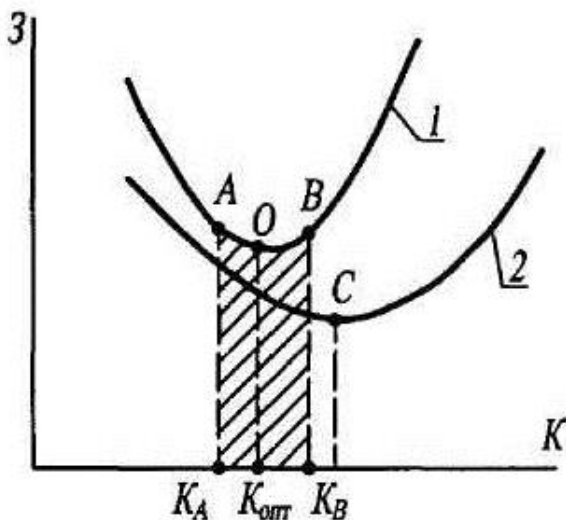


Рис. 2. Зависимость затрат от капитальных вложений:  
1 – приведенные затраты; 2 – текущие затраты

На ряде конкретных установок можно проследить общую закономерность: с ростом технической вооруженности, объема используемых производственных фондов текущие затраты снижаются. Правда, в некоторых случаях возможно и некоторое возрастание текущих затрат с увеличением капитальных вложений. Это объясняется тем, что с увеличением капитальных вложений дальнейший рост амортизационных отчислений не компенсируется снижением других составляющих. Кривая приведенных затрат (рис. 2) вблизи оптимума имеет пологий вид. Учитывая относительную неточность всех технико-экономических расчетов, следует рассматривать не точку, а зону оптимальных решений. В этой зоне для ряда вариантов приведенные затраты практически одинаковы, но капитальные вложения существенно различаются. Для определения оптимального варианта в зоне оптимума необходимо иметь дополнительные критерии, что облегчит решение задачи.

В каждом отдельном случае имеются некоторые ограничения или дополнительные условия, которые не могут быть выражены конкретно. Например, это может быть необходимость экономии капиталовложений. Тогда можно применять вариант с капиталовложениями  $K_A$ , которые сокращаются на  $\Delta K = K_B - K_A$ , но при этом сохраняется требование – минимум приведенных затрат. Или наоборот, если нет ограничений в капиталовложениях, но ограничены энергоресурсы, то следует принять вариант с большими капиталовложениями  $K_B$ , но с меньшими затратами энергоресурсов.

Расчетная экономия народнохозяйственных затрат при проектировании установок комплексного использования теплоты на действующих предприятиях,  $\mathcal{E}$ , руб./год, определяется по формуле

$$\mathcal{E} = B_{\text{ЭК}} - Ц_{\text{ТО}} - Q_T \cdot (C_{\text{ком}} - C_{\text{зам}}) - E_H \cdot (K_{\text{ком}} - \psi \cdot K_{\text{зам}}) \quad (6)$$

где  $B_{\text{ЭК}}$  – экономия топлива за счет использования теплоты комплексными установками, т.т./год;

$(C_{\text{ком}} - C_{\text{зам}})$  – разница в удельных эксплуатационных расходах, связанных с выработкой единицы энергии комплексной ( $C_{\text{ком}}$ ) и замещаемой ( $C_{\text{зам}}$ ) установками, без учета топливной составляющей (учитываются затраты на рабочую силу, воду, электроэнергию, текущий ремонт, амортизацию и т.п.), руб./ГДж;

$Q_T$  – выработка теплоты в комплексной установке, ГДж/год;

$K_{\text{ком}}$  – капиталовложения в комплексную установку, руб.;

$K_{\text{зам}}$  – капиталовложения в замещаемую установку для выработки того количества энергии, которое производит комплексная установка, руб.;

$\psi$  – коэффициент надежности при замещении мощности основных источников энергоснабжения комплексными установками;

$Ц_{\text{ТО}}$  – цена сэкономленного топлива, руб./т.т.

Коэффициент  $\psi$  определяется в зависимости от типа утилизационных установок по их гарантированной мощности с учетом надежности энергоснабжения.

Если на действующем предприятии имеется теплогенерирующая установка, работа которой будет частично замещаться установкой комплексного использования теплоты и ее высвободившаяся мощность не может быть использована для других целей, то капиталовложения в замещаемую установку в формуле (6) не должны учитываться ( $K_{зам}=0$ ).

Если действующая энергетическая установка полностью замещается комплексной установкой и может быть демонтирована, то неамортизационная часть первоначальной ее стоимости должна добавляться к сумме капиталовложений в установку комплексного использования теплоты.

Для действующих предприятий кроме экономии народнохозяйственных затрат должен подсчитываться также получаемый предприятием экономический эффект, который определяется приростом прибыли за счет осуществления мероприятий по утилизации вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). Прирост прибыли при использовании ВЭР установками комплексного использования теплоты,  $\Delta\Pi$ , руб./год, достигается на предприятии за счет сокращения поставок теплоты, полученной в комплексных установках:

$$\Delta\Pi = \Delta B \cdot C_{ТО} + \Delta Q \cdot C_T - Q_T \cdot C_{КОМ}^T \pm \Delta C, \quad \text{руб./год,} \quad (7)$$

где  $\Delta B$  – сокращение в результате использования ВЭР поставок различных видов топлива на предприятие, т.т/год;

$C_{ТО}$  – цена сэкономленного топлива, руб./т.т;

$\Delta Q$  – сокращение потребления тепловой энергии со стороны или отпуск теплоты на сторону за счет использования ВЭР, ГДж/год;

$C_T$  – преискуртантная цена тепловой энергии, руб./ГДж;

$Q_T$  – выработка теплоты в комплексных установках, ГДж/год;

$C_{КОМ}^T$  – себестоимость получения теплоты в комплексных установках, руб./ГДж;

$\Delta C$  – уменьшение или увеличение эксплуатационных расходов по предприятию в связи с переходом на комплексное использование теплоты, кроме расходов на обслуживание комплексных установок, руб./год.

Срок окупаемости капиталовложений на осуществление мероприятий по энергосбережению,  $T_{ок}$ , лет, определяется по формуле

$$T_{ок} = \frac{\Delta K_{КОМ}}{\Delta \Pi}, \quad (8)$$

где  $\Delta K_{КОМ}$  – капиталовложения, необходимые для осуществления комплексного использования теплоты, руб.;

$\Delta \Pi$  – прирост годовой прибыли на предприятии при использовании вторичных энергетических ресурсов установки комплексного использования теплоты, руб./год.

Окончательный вывод о целесообразности и направлении использования ВЭР в энергосберегающих установках на действующем предприятии следует основывать на величине народнохозяйственной эффективности, определяемой по формуле (6).

## 2. ОЦЕНКА ПРЕДОТВРАЩЕННОГО УЩЕРБА ОТ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ТОКСИЧНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Внедрение на действующих промышленных объектах прогрессивных методов сжигания углеводородного топлива, установок, снижающих выброс токсичных веществ в атмосферу, требует капитальных вложений. При этом необходимо определять, насколько уменьшится экономический ущерб, наносимый народ-

ному хозяйству, и насколько будут компенсированы затраты за счет сокращения расходов на оздоровительные мероприятия, увеличения срока службы оборудования и т.п.

Под ущербом понимаются дополнительные затраты, необходимые для ликвидации социально-экономических последствий загрязнения воздушного бассейна, выраженные в денежной форме. Ущерб формируется под влиянием трех факторов: степени загрязнения атмосферы; числа объектов, воспринимающих негативное влияние загрязнения; нормативных экономических показателей, отражающих ущерб.

Экономический ущерб может быть фактическим, возможным и предотвращенным. Под фактическим ущербом понимают фактические потери, наносимые обществу в результате загрязнения окружающей среды.

Возможный ущерб – такой урон, который мог бы быть нанесен при отсутствии природоохранных мероприятий. Предотвращенный ущерб  $\Pi$ , руб./год – разность между возможным и фактическим ущербом, т.е.

$$\Pi = Y_1 - Y_2, \quad (9)$$

где  $Y_1$  – ущерб в период до осуществления природоохранных мероприятий, руб./год;

$Y_2$  – остаточный ущерб после проведения мероприятий, руб./год.

При расчете экономического ущерба от загрязнения воздушного бассейна необходимо учитывать расходы:

- на медицинское обслуживание населения в случае заболеваний, связанных с загрязнением окружающей среды;
- восполнение потерь чистой продукции из-за снижения производительности труда и невыхода на работу людей вследствие воздействия загрязнений;

- возмещение количественных и качественных потерь продукции из-за снижения продуктивности природных ресурсов в загрязненной среде;

- возмещение потерь из-за воздействия загрязнений на основные фонды.

Кроме того, в состав затрат данного типа входят расходы, вызываемые вторичным загрязнением (от сжигания отходов, их проникновения в окружающую среду при хранении и т.п.).

При оценке этого ущерба необходимо помнить, что он представляет собой комплексную величину и складывается из потерь отдельных видов различных объектов народного хозяйства (население, жилищный фонд, промышленные объекты, сельскохозяйственные угодья, леса и т.д.). В настоящее время для оценки экономического ущерба действует «Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды». Методика совершенствуется и работы по этому направлению продолжают (табл. 1).

Таблица 1

Значение показателя относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над территориями различных типов

Тип загрязнения территории	Значение $\sigma$
Курорты, заповедники	10
Пригородные зоны отдыха, садовые, дачные кооперативы	8
Населенные пункты с определенной плотностью населения (чел/га)*	0,1 чел/га·n
Зоны промышленных предприятий (включая защитные) и промузлов	4

Леса:	
I группа	0,2
II группа	0,1
III группа	0,025

\* Для центров городов с населением более 300 тыс. чел.

$\sigma=8$ .

Согласно этой методике, экономический ущерб, причиняемый годовыми выбросами загрязнений в атмосферный воздух, для любого источника определяют по формуле

$$Y = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot M, \quad (10)$$

где  $Y$  – оценка ущерба, руб./год;

$\gamma$  – удельный ущерб на тонну выбрасываемого вредного вещества, руб./т, (равен 24 руб./т в настоящее время; постоянно корректируется);

$\sigma$  – безразмерный коэффициент, учитывающий характер загрязняемой территории;

$M$  – приведенная масса годового выброса загрязнений из источника, т./год;

$f$  – поправка, учитывающая характер рассеивания загрязнений в атмосфере.

Показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над территориями различных типов определяется данными, приведенными в табл. 2.

Если зона активного загрязнения неоднородна и состоит из территорий различных типов, то показатель  $\sigma_{зая}$  определяется по формуле

$$\sigma_{зая} = S^{-1} \sum_{i=1}^k S_i \cdot \sigma_i, \quad (11)$$

где  $S$  – общая площадь зоны активного загрязнения, м<sup>2</sup>;

$S_i$  – площадь  $i$ -й части зоны загрязнения, м<sup>2</sup>;



$\sigma_i$  – соответствующее табличное значение показателя для территории  $i$ -го типа.

Таблица 2

Значение показателя  $\sigma_i$  для некоторых токсичных веществ

Вещество	Значение $\sigma_i$
Оксид углерода	1,0
Сернистый газ	16,5
Сероводород	41,1
Оксиды азота	41,1
Летучие низкомолекулярные углеводороды	3,16
Сажа без примесей	41,5

Приведенная масса годового выброса загрязнений в атмосферу определяется по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n A_i m_i, \quad (12)$$

где  $A_i$  – показатель относительной агрессивности примеси  $i$ -го вида, ут/т;

$m_i$  – масса годового выброса примеси  $i$ -го вида в атмосферу, т/г;

$n$  – общее число примесей, выбрасываемых источником в атмосферу.

**Пример.** В результате внедрения мероприятий по сокращению выбросов окислов азота и окиси углерода на газотурбин-

ной установке типа ГТК-10И концентрация  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  снизилась на 80 %. Подсчитать предотвращенный ущерб.

Исходные данные:

– первоначальная концентрация  $\text{NO}_x$  – 200 мг/м<sup>3</sup>;  $\text{CO}$  – 100 мг/м<sup>3</sup>;

– объем выхлопных газов (усредненный)  $V_{\text{п.с.}}=150000$  м<sup>3</sup>/ч;

– число часов работы  $T=5500$  ч/год.

Приведенную массу годового выброса загрязнений определяем по формуле (12)

$$M = (41,1 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} + 1,0 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}) \cdot 0,8 \cdot 150000 \cdot 5500 = 5478 \text{ ут.}$$

Предотвращенный ущерб для зоны промышленных предприятий – по формуле 10:

$$У = 24 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 5478 \approx 525,9 \text{ тыс. руб./год.}$$

### 3. ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ РЕСУРСОВ

Оптимальная схема использования теплоты продуктов сгорания должна отвечать многим требованиям, основные из которых – минимальная стоимость по приведенным затратам при максимальном использовании теплоты отходящих газов. Эту схему следует рассматривать в двойном аспекте.

Первый – оптимальная схема при «идеальном» наборе оборудования, обеспечивающая максимальное использование тепловых вторичных энергетических ресурсов с наименьшими потерями в окружающую среду, с наибольшими коэффициентами полезного действия оборудования, включенного в схему, при минимальных затратах. В такой схеме набор оборудования «произволен», т.е. схема предусматривает установку таких конструкций теплоутилизаторов, которые в данном режиме теплоиспользова-

ния работали бы с наивысшим КПД, причем потери теплоты как теплообменниками, так и газоходами были бы минимальными. Это принцип идеальной схемы, на основе которой необходимо строить математическую модель оптимизации применения теплоты продуктов сгорания.

Второй аспект – оптимальная реальная схема при конкретно возможном наборе оборудования. В условиях промышленного производства обеспечение идеальной схемы практически невозможно. Это обусловлено следующими субъективными и объективными факторами:

- предприятие может приобрести (или изготовить) определенное теплообменное и теплоиспользующее оборудование, но в ряде случаев не то, которое необходимо по «идеальной» схеме. Технические и экономические характеристики этого оборудования будут отличаться от необходимых по схеме, что, следовательно, приведет к удорожанию схемы в целом;

- компоновка технологического оборудования и наличие свободных производственных площадей предъявляют свои требования к размещению и взаимосвязи теплообменников в схеме использования теплоты. Это влечет за собой увеличение протяженности газоходов от одного вида оборудования к другому и удорожание самой схемы, а также увеличивает потери теплоты при транспортировке продуктов сгорания;

- немаловажным фактором является возможность использования теплоты, т.е. наличие на предприятии потребителей утилизированной тепловой энергии, в особенности в летнее время. Вероятно, этот вопрос следует решать, тщательно рассмотрев возможности аккумуляции теплоты, выработки электрической энергии. Последние задачи являются проблемными, требующими своего решения.

Учитывая приведенные факторы, а также другие немаловажные условия, можно наложить на целевую функцию обобщенной схемы конкретные ограничения. После разрешения целевой функции оптимизации с учетом ограничений получается наиболее

целесообразная и эффективная (оптимальная) схема использования тепловых вторичных энергетических ресурсов, которая и должна приниматься в качестве рабочей.

При рассмотрении общей схемы использования теплоты можно выделить четыре основных элемента, которые в силу особенностей определения экономической эффективности различны, кроме того, каждый из них в общей схеме оптимизации подлежит собственной оптимизации в зависимости от режима работы (внутренняя задача оптимизации). Таким образом, общая оптимизационная схема использования теплоты продуктов сгорания должна включать в себя внутреннюю оптимизацию отдельных элементов и собственно оптимизацию схемы в целом (внешняя задача оптимизации).

Схема комплексного использования теплоты имеет следующие основные элементы: источник теплоты, теплообменные аппараты (промежуточное звено), потребители теплоты, связи отдельных видов оборотования.

**Источник теплоты** – технологическое оборудование, уходящие газы после которого обладают высоко-, средне- или низкотемпературным потенциалом для последующего использования в различных теплоутилизаторах.

Источник теплоты определяет исходные данные для разработки и принятия той или иной схемы теплоиспользования: расход теплоносителя (количество продуктов сгорания, количество вентиляционных выбросов и т.п.) и его энтальпию (температуру). Эти две характеристики полностью определяют базовое количество топлива, которое можно использовать в схеме теплopotребления.

Сам источник теплоты оптимизации в схеме не подлежит, но он служит исходным элементом, определяющим технологию всех возможных схем использования теплоты и выбор наиболее экономичного в данных условиях варианта.

Строго говоря, должен определяться оптимальный режим источника теплоты и на его основе строиться вся работа данного вида технологического оборудования, но это – технико-экономическая задача технологии, наша же задача – оптимизация схем использования теплоты продуктов сгорания.

Следующий элемент – **оборудование**, являющееся промежуточным звеном в схеме использования теплоты. В этом оборудовании происходит передача теплоты от основного (первичного) теплоносителя вторичному.

В связи с тем, что теплоту в конечном счете можно использовать для самых разных нужд: на технологическое теплоснабжение, отопление, горячее водоснабжение, вентиляцию, кондиционирование воздуха и др., конструктивно это оборудование может быть самым разнообразным. Это различного рода рекуператоры, водяные и паровые теплообменники, экономайзеры, тепловые насосы и т.п. Режим работы этого оборудования должен быть оптимизирован по самым различным характеристикам: оптимизация скорости движения первичного и вторичного теплоносителей для получения наибольшего эффекта теплоиспользования при минимальном гидравлическом сопротивлении, оптимизация теплозащитных свойств оборудования для снижения потерь в окружающую среду, определение оптимального количества теплоносителя и интервала рабочих температур и др. Такая оптимизация должна основываться на имеющемся потенциале теплоты и направлении его использования.

Сложность компоновки конкретных схем обусловлена еще и тем, что имеющийся ассортимент существующих типов теплообменных аппаратов недостаточно широк. В основном эти аппараты предназначены для работы только от высокопотенциальных источников теплоты. Имеющееся оборудование для работы в диапазоне высоких температур в ряде случаев сложной конструкции и не позволяет в достаточной мере варьировать поверхность нагрева. Создание теплообменников для работы в низкотемпературном режиме начато сравнительно недавно, поэтому они имеют

ограниченную область применения. Следовательно, оптимизацию теплообменников необходимо вести по двум направлениям: во-первых, оптимизация существующих конструкций с определением экономических режимов работы; во-вторых, разработка на основе оптимизационного алгоритма в диалоговом режиме работы с ЭВМ, систематического ряда новых теплообменных аппаратов, отвечающих всем (или большинству) требованиям по режиму работы и экономичности. Именно такие агрегаты наиболее близки к «идеальной» схеме оптимизации.

Третий элемент схемы – **потребители теплоты**. Использовать вторичные тепловые ресурсы, в особенности высокопотенциальную теплоту, можно по общепринятым направлениями: в технологических или санитарно-технических установках и системах.

Техническое использование теплоты настолько разнообразно, что его необходимо рассматривать в прямой связи с технологическим процессом промышленного производства. В частных случаях вторичную теплоту можно применять непосредственно для других видов технологического оборудования (например, подача продуктов сгорания высокотемпературных печей к средне-температурным нагревательным печам, или использование теплоты продуктов сгорания непосредственно в сушильных установках и т.п.), на нагрев воды для технологических нужд, получения пара, применяемого в технологическом процессе, для нагрева материалов, сырья и т.п. (рис. 3).

Санитарно-технические системы требуют значительного количества теплоты, несмотря на ограниченные возможности использования: отопление, горячее водоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха.

При рассмотрении потребителей вторичной теплоты необходимо учитывать соотношение базового количества тепловой энергии (т.е. количества теплоты, которое непосредственно можно использовать) и расходов теплоты отдельными потребителями. Задача оптимизации здесь усложняется необходимостью не толь-

ко выбора наиболее экономичных потребителей, но и рассмотрением их возможной совместной работы с наивысшим коэффициентом полезного действия при полном использовании тепловых ресурсов и наименьших затратах.

Такая задача в плане общей схемы оптимизации разрешима. Наиболее простой, последний, элемент схемы – **связи отдельных видов оборудования и системы**: источник теплоты – теплообменник – потребитель. Это могут быть газоходы, воздухоходы, трубопроводы горячей воды или пара.

В общей схеме оптимизации этот элемент может встречаться неоднократно в зависимости от разветвленности схемы и характера теплотребления. Оптимизация линий связи может быть простой либо сложной в зависимости от конкретных условий работы, но в сравнении с оптимизацией других элементов – рекуператоров или систем теплотребления – алгоритм расчета значительно проще. Наибольшую трудность в этом случае может представить оптимизация условий сопряжения – определение характеристик первичного теплоносителя на выходе из газохода, т.е. на входе в очередной элемент, но эта задача имеет решение.

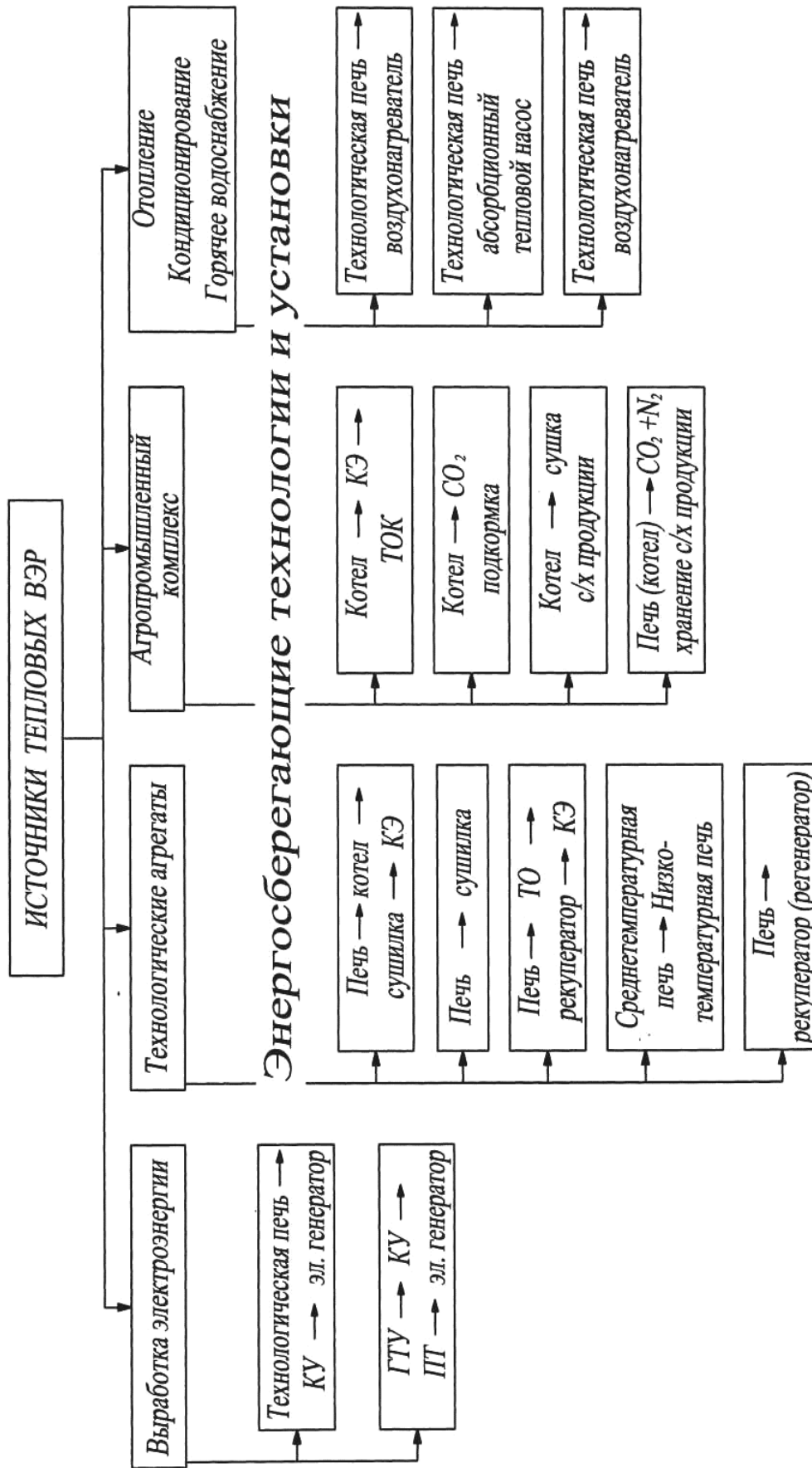


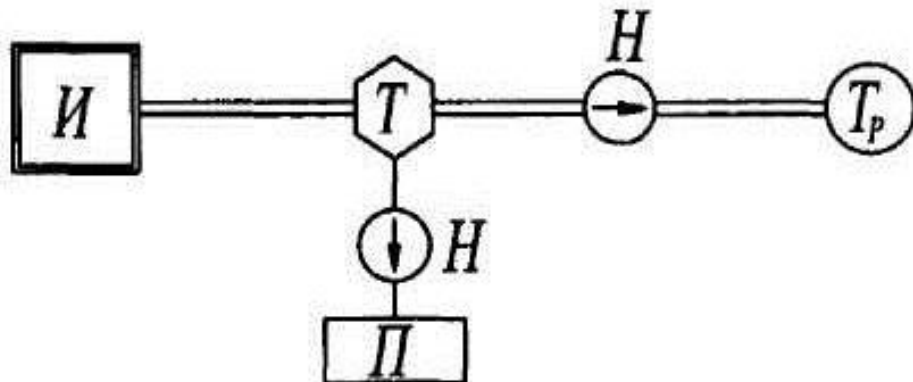
Рис. 3 Схема использования тепловых ВЭР



Таким образом, рассмотрев основные положения, которые необходимо учитывать при составлении схем оптимизации использования вторичной теплоты, обратимся к самой схеме, ее особенностям и к возможности оптимизации отдельных элементов схемы и самой схемы в целом рис. 4. В ней должны быть согласованы количество теплоты, отдаваемой источником, и количество теплоты, необходимой потребителю. На основе известных исходных данных определению подлежат: оптимальный режим работы теплообменника, оптимальный режим работы линий связи (трактов первичного и вторичного теплоносителей), общий тепловой баланс с оценкой эффективности использования теплоты, приведенные затраты в оптимальном режиме работы схемы, оценки экономической эффективности (целесообразности) схемы в целом с определением срока окупаемости [1, 2].

Таким образом, даже простейшая схема использования вторичной теплоты представляет собой довольно сложную технико-экономическую задачу.

В общем виде задачу оптимизации схемы использования вторичной теплоты можно сформулировать следующим образом.



И – источник теплоты; Т – теплообменный аппарат; П – потребитель теплоты; Н – нагнетатель; Т<sub>р</sub> – труба

Рис. 4. Простая схема использования теплоты

**Задано:** источник вторичной теплоты и его характеристики (базовое количество теплоты, параметры продуктов сгорания и т.д.), возможные потребители и их тепловые нагрузки, пространственное размещение источников и потребителей, а также возможные места расположения теплообменных аппаратов, стоимость материалов и энергоресурсов (топлива, электроэнергии и т.п.).

**Требуется определить:** число, тип и режим работы теплообменных аппаратов в оптимальных условиях, оптимальные характеристики линий связи, общие приведенные затраты на устройство системы комплексного использования теплоты и экономическую эффективность принятой схемы.

Обобщенная схема приведена на рис. 5. Для четкости представленная она несколько упрощена: рассматривается один источник теплоты (при оптимизации использования теплоты в целом по цеху или предприятию источников теплоты может быть

несколько и между ними возможны, а в определенных случаях обязательны взаимосвязи), не показаны возможные взаимосвязи между потребителями. Математическую задачу можно представить в следующем виде:

$$P_O = \min \left[ \sum_{i=1}^n P_i(x_T) + \sum_{j=1}^m P_j(x_C) + \sum_{\varphi=1}^k P_{\varphi}(x_{II}) \right] \quad (13)$$

при условии

$$Q_o \geq \sum_{i=1}^n Q_i(x_T) \geq \sum_{\varphi=1}^k Q_{\varphi}(x_{II}) \quad (14)$$

С учетом того, что  $x_T \geq 0$ ,  $x_C \geq 0$  и  $x_{II} \geq 0$ .

Здесь  $P$  – общие приведенные затраты по оптимальной схеме;

$x_T$ ,  $x_C$ ,  $x_{II}$  – функции оптимизации теплообменников, линии связи и потребителей соответственно;

$Q_o$  – базовое количество вторичной теплоты;

$Q_i$  и  $Q_{\varphi}$  – тепловые нагрузки теплообменников и потребителей соответственно.

Условие определяет эффективность использования вторичной теплоты, а приведенные ограничения – действительность или отсутствие рассматриваемого элемента.

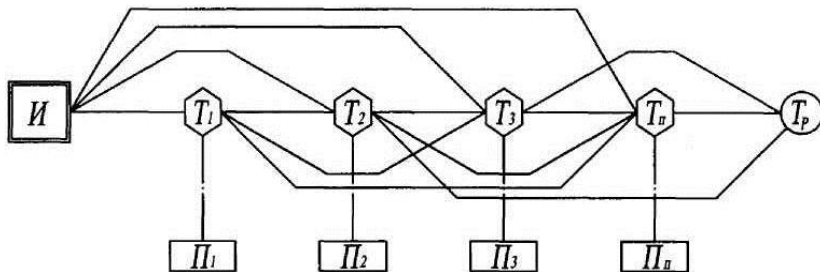


Рис. 5. Обобщенная схема использования теплоты

В настоящее время методы решения рассматриваемой задачи, позволяющие находить абсолютный оптимум, отсутствуют. Это обусловлено:

- целочисленностью характеристик (число и нагрузки теплообменных установок и потребителей, диаметры газопроводов и трубопроводов и т.п. не представляют собой непрерывных функций, они дискретны);

- нелинейностью характеристик (зависимость приведенных затрат в расчетных уравнениях от определяющих характеристик элементов нелинейны);

- динамичностью системы (нерегулярность теплопотребления, динамика отпуска теплоты источником при переменном режиме работы и т.п.).

В связи с этим используемые методы решения подобных задач позволяют получить решения, близкие к оптимуму, а иногда и совпадающие с ним.

В практике решения могут применяться два в принципе различных метода. В наиболее простых случаях (незначительное число потребителей, выбор теплообменного оборудования ограничен, стационарный режим работы источника) рекомендуется применять так называемый оценочный метод. Суть его заключается в том, что предварительно определяются различные варианты схем, из которых выбирается наилучшая. Этот метод имеет свои преимущества: возможность назначения схем на основе инженерных соображений, более точный учет нелинейности и дискретности при выборе оптимального режима. В общих случаях предпочтительнее оптимизационный метод, при использовании которого рассматривается совокупность всех возможных сочетаний элементов схемы с широким варьированием числа элементов и их характеристик [3, 4].

## 4. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

При проектировании новых объектов, реконструкции действующих или при принятии решения о ликвидации предприятия необходимо провести оценку возможного их воздействия на окружающую среду. В Законе «Об охране окружающей среды» содержится раздел, определяющий порядок проведения государственной экологической экспертизы или государственной оценки окружающей среды (ГООС). Наиболее важные статьи, относящиеся к ГООС, определяют:

- ландшафтный характер ГООС;
- объекты ГООС;
- ответственность за несоблюдение требований ГООС и ответственность экспертов;
- выполнение оценки окружающей среды.

Начиная с 1975 г. оценку воздействия на окружающую среду стали проводить во многих странах. В России в целях реализации ст. 41 Закона «Об охране окружающей среды» (раздел IV) было утверждено положение об оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) в РФ, что означает деятельность, направленную на выявление и прогнозирование ожидаемого влияния на среду обитания, на здоровье и благосостояние людей со стороны различных мероприятий и проектов.

В России ОВОС проводится в обязательном порядке для объектов хозяйственной деятельности, среди которых такие, как тепловые и атомные электростанции, предприятия черной, цветной и химической промышленности. Объекты нефтегазовых отраслей, для которых в обязательном порядке осуществляется ОВОС:

- предприятия по добыче нефти мощностью 500 тыс. т/год и более;
- предприятия по добыче природного газа мощностью 500 млн м<sup>3</sup>/год и более;
- разведка, добыча нефти и газа, лицензируемые виды геологических изысканий [5].

Порядок проведения ОВОС определяется отраслевыми инструкциями о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство (реконструкцию) объектов, предприятий и сооружений и методиками их разработки.

ОВОС осуществляется межведомственной группой независимых экспертов из различных проектных и научно-исследовательских институтов и органов власти. Группа оценивает соответствие проекта законам об охране природы, экологическим нормам и правилам. Итоговая документация затем направляется на государственную экспертизу, которую проводит Минприроды РФ или его территориальные органы. Проекты при необходимости проходят также общественную экспертизу.

Задачами государственной экологической экспертизы является определение уровня экологической опасности намечаемой или осуществляемой хозяйственной и иной деятельности, которая может в настоящем и будущем прямо или косвенно оказать воздействие на состояние окружающей среды и здоровье населения; проверка соответствия проектируемой хозяйственной деятельности требованиям экологического законодательства; определение достаточности и обоснованности предусматриваемых проектом мер по охране природы. В экологической экспертизе должны содержаться материалы по оценке воздействия на окружающую природную среду (ОВОС). В работе государственной экологической экспертизы не должны участвовать лица, заинтересованные каким-либо образом в ее исходе.

Перечень объектов государственной экологической экспертизы постоянно расширяется, в него входят проекты государственных планов, программ, концепций, основных направлений и схем размещения производственных сил страны и отраслей промышленности, реализация которых может оказать воздействие на состояние окружающей среды.

Реализация проекта, подлежащего экологической экспертизе, без положительного заключения государственной экологической экспертизы **запрещается** и не подлежит финансиру-

нию. Отказ в открытии финансирования без положительного заключения экспертизы не позволит ставить общественность перед фактом – строительство начато, средства вложены. Не исключена возможность постановки вопроса о взыскании затраченных средств с виновных в незаконном строительстве в случае признания его экологически вредным и небезопасным.

В законе «Об экологической экспертизе» названы специально уполномоченные государственные органы в области экологической экспертизы. Это Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ (ныне Госкомэкология) и его территориальные органы, которые имеют исключительное право на проведение государственной экологической экспертизы и осуществление соответствующих функций через свои специализированные подразделения.

## **5. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

Нормирование качества окружающей природной среды – центральная идея Закона РФ «Об охране окружающей природной среды». Роль нормативов в формировании информации о качестве окружающей природной среды неоднозначна. Одни из них дают оценку окружающей природной среды, другие лимитируют источники вредного воздействия. Нормирование качества окружающей природной среды представляет собой деятельность по установлению нормативов (показателей) предельно допустимых воздействий человека на природу. Под воздействием понимается антропогенная деятельность, связанная в основном с реализацией экономических интересов человека, вносящая физическое, химическое, биологическое изменения в природную среду. Наиболее распространенным видом отрицательного воздействия на природную среду является загрязнение окружающей среды,носящее угрозу причинения вреда жизни и здоровью человека, постоянно растительного и животного мира, экологическим системам природы.

Нормативами качества окружающей природной среды являются предельно допустимые нормы воздействия на природу со стороны хозяйственной деятельности человека. Все нормативы качества подразделяются на три группы.

Первую группу составляют санитарно-гигиенические нормативы. К ним относятся нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, нормативы санитарных, защитных зон, предельно допустимых уровней радиационного воздействия и др. Цель таких нормативов – определить показатели качества окружающей среды применительно к здоровью человека. Это наиболее разработанная часть нормативов качества окружающей природной среды.

Вторую группу нормативов качества образуют производственно-хозяйственные нормативы, возглавляют эту группу нормативы выбросов и сбросов вредных веществ (ПДВ). Они устанавливают требования к источнику вредного воздействия, ограничивая его деятельность определенной пороговой величиной. К данной категории относятся технологические, строительные правила, содержащие экологические требования охраны окружающей среды.

В третью группу нормативов входят так называемые комплексные нормативы, сочетающие в себе признаки первой и второй групп: ПДН окружающей среды, нормы защитных и санитарных зон и т.п. Нормирование ПДК вредных веществ имеет самостоятельное значение ввиду того, что оно охватывает не только экологическую, но и производственную, жилищно-бытовую сферу жизни человека. Главная его задача состоит в установлении санитарных норм и правил, обязательных для выполнения на всей территории Российской Федерации государственными и общественными структурами, предприятиями, организациями независимо от их подчиненности и форм собственности, должностными лицами и гражданами.

В настоящее время количество норм ПДК вредных веществ для водных объектов хозяйственно-питьевого и бытового



назначения составляет более 1900, для атмосферного воздуха около 500, а для почвы – 109 [6].

Роскомгидромет соответственно с СЭС РФ имеет сеть наблюдательных постов и станций, где осуществляет программу наблюдений, связанную с изменением концентраций вредных веществ в городах и поселках, в атмосфере, водоемах, почве. Основными компонентами, загрязняющими атмосферный воздух, являются оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, твердые частицы. На их долю приходится около 98% в общем объеме выбросов вредных веществ в атмосферу. Концентрации этих веществ, как правило, превышают допустимый ПДК многих населенных пунктов. Помимо названных вредных веществ в атмосфере городов наблюдается еще более 70 наименований других вредных веществ, специфичных для экономики промышленных центров. Так, в Самаре, где высокий уровень развития нефтехимии и электроники, веществами, определяющими большой уровень загрязнения, являются формальдегид, фтористый водород. В Кемерово, где развито производство минеральных удобрений, химия, металлургия, наиболее высокий процент загрязнения падает на аммиак, формальдегид, бензпирен, оксиды азота, свинец, сероуглерод.

В Москве, где главным источниками загрязнения являются автотранспорт, ТЭЦ, промышленные предприятия машиностроения, металлургии и т.д., главные компоненты загрязнения – пыль, оксиды азота, фенол, формальдегид, аммиак, бензпирен.

Нормативы предельно допустимых выбросов и сбросов вредных веществ, а также микроорганизмов и других биологических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, воды и почвы, устанавливаются с учетом производственных мощностей объекта, данных о наличии мутагенного эффекта и вредных последствий по каждому источнику загрязнения согласно действующим нормативам ПДК вредных веществ.

Нормативы ПДК вредных веществ дают экологическую и санитарно-гигиеническую оценку состояний окружающей среды, но не указывают на источник вредного воздействия и не регули-

руют его поведение. Эту функцию выполняют нормы ПДВ. На предприятии может быть не один, а несколько источников выбросов, сбросов. Поэтому ПДВ устанавливаются не по предприятиям, учреждениям и организациям, а по источникам выбросов, сбросов на основе их инвентаризации.

Разработка нормативов ПДВ организуется Минприроды России совместно с другими специально уполномоченными органами в области охраны природы, органами санитарно-эпидемиологического контроля, а также совместно с органами исполнительной власти республик, краев, областей.

Проекты нормативов выбросов и сбросов загрязняющих веществ разрабатываются самими предприятиями с учетом предложений органов местного самоуправления, научных учреждений, общественных организаций.

Согласно ГОСТ 17.2.3.02-78 (Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями), ПДВ устанавливаются для каждого источника загрязнения при условии, что выбросы вредных веществ от данного источника с учетом фоновое загрязнение, с учетом перспективы развития промышленных предприятий и рассеивания вредных веществ в атмосфере не создадут приземную концентрацию (на уровне 2 м), превышающую ПДК.

Если в воздухе городов или других населенных пунктов концентрация вредных веществ уже превышает ПДК, а значения ПДВ по причинам объективного характера предприятием не могут быть достигнуты, для таких предприятий устанавливаются временно-согласованные выбросы вредных веществ (ВСВ). Вводится поэтапное снижение показателей выбросов вредных веществ до значений, которые обеспечивают соблюдение ПДВ.

Однако практика жизни и статистика показывают, что в нормативы ПДВ сейчас укладываются лишь 15-20 % загрязняющих производств. Значительная доля остается за предприятиями, которые работают на 40-50 % по ВСВ, остальные, а их немало, загрязняют среду на основе лимитированных выбросов и сбросов, которые определяются по фактическому выбросу-сбросу на опре-

деленном отрезке времени. Парадокс заключается в том, что все они действуют на основе разрешений Минприроды России и единственной формой ответственности здесь является возмещение вреда в виде экономической (платежи за загрязнение) и эколого-правовой ответственности предприятия-загрязнителя как источника повышенной опасности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экология. Нефть и газ/ А.И. Гриценко [и др.]. – М.: Наука, 1997. – 598 с.
2. Широков В.А. Оптимизация энерготехнологических установок использования теплоты продуктов сгорания в газовой промышленности // Сбережение материальных и энергетических ресурсов в системах отопления и вентиляции: сб. науч. тр. – Ростов н/Д, 1993. – С. 113-115.
3. Е.Е. Новгородский [и др.]. Разработка оптимальных схем комплексного использования теплоты // Энергосбережение и водоподготовка. – 1998. – № 3. – С. 84-88.
4. Е.Е. Новгородский [и др.]. Оптимизация систем использования вторичных тепловых ресурсов // Газовая промышленность. – 1996. – № 6. – С. 34-36.
5. Е.Е. Новгородский [и др.]. Основные предпосылки и преимущества комплексного использования природного газа // Энергосбережение и водо-подготовка. – 1997. – № 2. – С. 23-31.
6. Экология: учеб. пособие / под ред. С.А. Боголюбова. – М.: Знание, 1997. – 288 с.

