

Ордена Трудового Красного Знамени
Академик коммунального хозяйства им. К.Д.Насыпилова

У т в е р ж д и в
Зам. председателя совета
Росжилихсервиса
В. И. Г о р е л о в
19 декабря 1990 г.

Т Е Х Н И Ч Е С К И Е Р Е Ш Е Н И Я
по использованию утилизаторов
в котельных малой мощности

Сектор научно-технической информации
Москва 1992

Даны основные технические решения по утилизации теплоты дымовых газов котельных, работающих на газообразном, жидким и твердом топливе. Рассмотрены экономические и экологические вопросы применения теплоутилизаторов.

Технические решения разработаны отделом коммунальной энергетики АКХ им. К.Д.Памфилова (кандидат техн. наук З.В.Короткова и В.В.Пономарева, инж. Н.Г.Зинева) и предназначены для инженерно-технических работников коммунальных теплоэнергетических предприятий и проектантов.

Замечания и предложения по настоящим техническим решениям просьба направлять по адресу: 123371, Москва, Волоколамское шоссе, 116. АКХ им. К.Д.Памфилова, отдел коммунальной энергетики.

В настоящее время одним из основных путей экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в коммунальной энергетике является повышение эффективности их использования путем утилизации тепла уходящих газов.

В системе местных Советов около 14 тыс. котельных, из которых 10 тыс. котельных мощностью менее 3,5 МВт. Суммарная мощность установленных котлов около 99 МВт, в том числе чугунных 16,3 МВт. Потери тепловой энергии с уходящими газами со средней температурой газов 150⁰С составляют 4-5%, т.е. около 29 тыс. ГДж, что равнозначно потере 800 т у.т /ч или около 2,7 млн. т у.т/год.

В решении энергетической программы в нашей стране значительный вклад может внести применение теплоутилизационных установок, работающих на дымовых газах котельных.

В настоящее время теплоэнергетическое предприятие не заинтересовано в экономии топливно-энергетических ресурсов в связи с низкой их стоимостью и отсутствием системы материального стимулирования за экономию ТЭР. Вопрос экономного расходования топлива стоит на повестке дня как в нашей стране, так и за рубежом, поэтому работы по выбору и проектированию теплоутилизационных установок находят все большее распространение.

Задачей настоящей работы является определение возможности и целесообразности использования утилизаторов теплоты дымовых газов котельных, работающих на различных видах топлива.

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Температура уходящих газов из котельных агрегатов при максимальной нагрузке составляет около 120–130°С, котлы мощностью менее 0,7 кВт выбрасывают дымовые газы с температурой выше 200°С.

Установка в конвективной шахте котлов всяких экономайзеров и воздухонагревателей для ряда котлов не позволяет максимально снизить потери тепла с уходящими газами. При современном уровне эксплуатации котельных температура выбросов газов ограничивается по соображениям возможной конденсации влаги в дымовой трубе. При конденсации резко возрастают коррозионные процессы в связи с высокой агрессивностью конденсата, причем для серосодержащих топлив температура точки росы составляет 120–130°С. Следовательно, показатели эффективности утилизации теплоты дымовых газов в значительной степени зависят от технического уровня применяемого оборудования, в частности, применения антикоррозионных материалов.

Решение об установке утилизаторов теплоты должно предшествовать определение возможных потребителей потенциальной теплоты утилизаторов. Для этого предварительно необходимо определять конкретные потоки воды и воздуха, их расходы, температуры, до которых могут быть подогреты теплоносители в утилизаторах.

В качестве потребителей могут рассматриваться котельные, система теплоснабжения и сторонние потребители.

Правильный выбор вида и требуемой производительности утилизатора определяется не установленной мощностью котлоагрегатов, а наличием реальных потребителей утилизируемой теплоты.

Потребителями могут быть: подогрев исходной и химически очищенной воды, подогрев дутьевого воздуха, система горячего водоснабжения, подогрев обратной сетевой воды, технологические нужды предприятий, подогрев воды для систем теплоснабжения тепличных и парниковых хозяйств, открытых и

закрытых плавильных бассейнов, морюк улиц и транспортных средств, подогрев воздуха для отопления помещений складов, для тепловых засечек и размораживания твердого топлива.

Одним из вариантов решения является использование нагретого воздуха с температурой 60–70°C и выше для обогрева открытых площадок, обогрева наружных лестниц. Недостатком системы воздушного подогрева является малопустынность большой механической нагрузки на подогреваемую площадку и большой расход электроэнергии [14].

Принципиальная схема установки с воздушным подогревом площадок приведена на рис. I. Подогретый воздух поступает в воздушные каналы, расположенные под площадкой, – подающие А, затем – в обратные Б, образуя таким образом замкнутый контур. Охлажденный воздух снова подается в систему подогрева.

Такая схема обеспечивает равномерное плавление снега на площадке только при длине каналов до 50 м. При большей их длине целесообразно применять схему I.б, обеспечивающую возможность периодического изменения направления воздуха в каналах, для этого закрывают установленные в воздуховодах шиберы 1 и 4 и открывают шиберы 2 и 3. Непременным условием является близость обогреваемой площадки к хотельной, иначе будут велики потери тепла и электроэнергии на транспортирование теплоносителя. На рис. I.в приведена принципиальная схема подогрева наружной лестницы.

Экономическую эффективность использования вторичных тепловых ресурсов для плавления снега на открытых площадках определяют путем сопоставления приведенных затрат при таком решении с затратами на уборку и вывозку снега и насыпь.

Расход тепла, затрачиваемый на удаление снега, Bt/m^2 , определяют:

$$q = q_{\text{пл}} + q_{\text{гр}} + q_{\text{отм}} + q_{\text{вес}} \quad (I)$$

где $q_{\text{пл}}$ – скрытая теплота плавления снега, $\text{kДж}/\text{кг}$ ($q_{\text{пл}} = 335 \text{ кДж}/\text{кг}$); $q_{\text{гр}}$ – потери теплоты в грунте, находящем-

ся под площадкой, в среднем 20–40% $q_{\text{пл}}$; $q_{\text{атм}}$ – потери теплоты в атмосферу конвекцией и радиацией, составляющие при плавлении снега около 10% $q_{\text{пл}}$; $q_{\text{исп}}$ – потери теплоты на испарение слоя снега, принимаемые равными 0.1 $q_{\text{пл}}$.

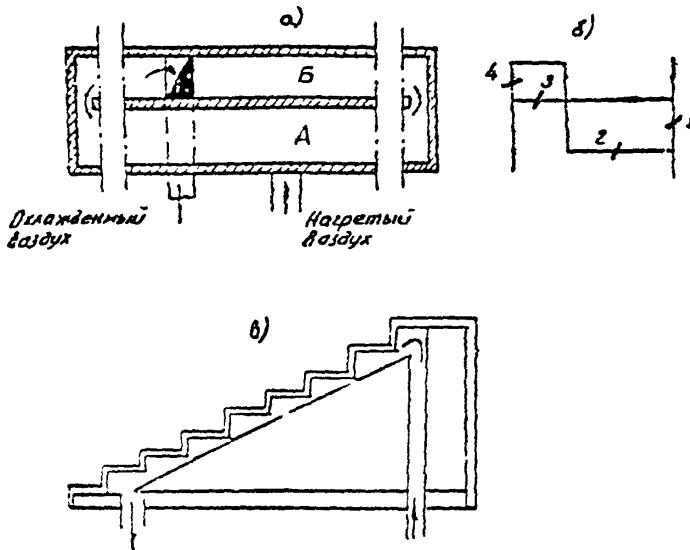


Рис. I. Схема подогрева наружных площадок и ступеней лестниц нагретым воздухом:
а – подогрев наружных площадок с устройством каналов длиной до 50 м; б – то же, длиной более 50 м; в – подогрев ступеней наружных лестниц; I – IV – шеберы

а – подогрев наружных площадок с устройством каналов длиной до 50 м; б – то же, длиной более 50 м; в – подогрев ступеней наружных лестниц; I – IV – шеберы

Схемы утилизации теплоты дымовых газов котельных и зданий применяемых утилизаторов зависят от конкретных источников теплоты, возможности использования потенциала дымовых газов, потребителей теплоты, вида топлива, состава дымовых газов, определяющего агрессивность его по отношению к оборудованию котельных.

Побудительными мотивами установки утилизаторов является стремление наиболее полно удовлетворить потребности в энергии не путем ввода дополнительных мощностей, а за счет энергосбережения. Вследствие отсутствия последовательной политики в нашей стране вопросы утилизации не решаются на должном уровне. В частности, при большом количестве разработок и авторских свидетельств по конструкциям утилизаторов в серийном производстве находятся отдельные утилизаторы, не позволяющие в широком масштабе использовать рационально потенциальную теплоту уходящих дымовых газов.

УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ КОТЕЛЬНЫХ.

Газообразное топливо является наиболее перспективным для сжигания в котельных установках по ряду показателей. С точки зрения утилизации теплоты уходящих дымовых газов их преимущество в отсутствии окислов серы, механических примесей и высоком влагосодержании.

Отсутствие соединений серы позволяет охлаждать газы до относительно низкой температуры, поскольку точка росы $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$. Отсутствие механических примесей отличает выбор теплоутилизаторов и облегчает их эксплуатацию. Относительно высокое влагосодержание дымовых газов дает возможность использовать теплоту конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах, и тем увеличить эффективность процесса утилизации.

Специфические особенности газа и продуктов сгорания позволяют применять контактные теплообменники, в которых происходит непосредственный теплообмен между дымовыми газами и охлаждающей их водой. Такие теплообменники при достаточно приемлемых габаритах, умеренном расходе металла на их изготовление и сравнительно невысоком расходе электроэнергии при эксплуатации обеспечивают глубокое охлаждение дымовых газов до 40°C и конденсацию 80–90% водяных паров, содержащихся в газах.

Но нагрев воды в контактных теплообменниках возможен только до температуры "мокрого термометра", которая составляет 50–60°C. Температура "мокрого термометра" зависит от влагосодержания дымовых газов и коэффициента избытка воздуха. С уменьшением коэффициента избытка воздуха и увеличением влагосодержания парциальное давление водяных паров в дымовых газах растет, а вместе с ним при прочих равных условиях растет температура "мокрого термометра".

Эффективность контактных экономайзеров снижается с увеличением температуры воды на входе, и применение их рекомендуется при температуре воды на входе не выше 35°C.

Характеристика выпускаемых серийно стальных водяных экономайзеров контактного типа ЭК-БМ-1, ЭК-БМ-2 приведены ниже.

Теплопроизводительность, кВт(кал/ч)
0,37(0,32) 1,22(1,06)

Температура газов на входе, °С, не выше	140	140
Коэффициент избытка воздуха на входе, не более	1,5	1,5
Количество газов, проходящих че- рез экономайзер, кг/ч	3600	14400
Количество нагреваемой воды, т/ч	8-12	30-40
Температура на выходе, °С, не ниже: горячей воды	55-42	55-42
уходящих газов	30-40	30-40
Давление воды перед распределите- лем, МПа (кг/см ²), не более	0,049 (0,5)	0,049 (0,5)
Аэродинамическое сопротивление при нормальной нагрузке, Па(кг/см ²)	300-500 (30-50)	300-500 (30-50)
Влагосодержание уходящих газов, г/кг	35-55	35-55
Количество свободной углеродистоти в нагретой воде, мг/л	50-70	50-70
Габариты, мм: длина	1488	2443
ширина	1028	2030
высота	4500	5000
Масса, кг: металлической части	6758	2006
керамической насадки	717	2864
общая	1375	4870

Характеристика контактного агрегата АЭ-0,6 приведена ниже [8].

Тепловая мощность, кВт (Гкал/ч)	0,6(0,5)
Температура газов на входе и выходе, °С	140/(40-50)
Коэффициент избытка воздуха в газах, не более	1,4
Расход газов, кг/с (кг/ч)	35(10620)
Расход нагреваемой воды, т/ч	20
Температура нагрева воды, °С:	
в контактной камере	45-55
водогранический	35-45
Аэродинамическое сопротивление, Па	300
Габариты, мм:	
длина	2800
ширина	2150
высота	5570
Масса, кг:	
металлоконструкций	3100
керамической насадки	2200

Вода, нагретая контактным способом в ОК-Би, содержит свободную углекислоту в количестве до 0,08-0,1 г/л³. При определенных условиях эта вода становится коррозионно-активной, что ставит ограничение для использования воды. Для снижения содержания свободной углекислоты установка контактных экономизеров дополняется декарбонизационной колонкой. Основные характеристики декарбонизационных колонок приведены ниже.

	Тип колонки	
	КД-06	КД-08
Производительность по воде, кг/с (т/ч)	4,15(15)	8,3(30)
Расход продуваемого воздуха на 1т воды, м ³	0,15	0,15
Снижение содержания свободной углекислоты, кг/м ³	0,075	0,075
Аэродинамическое сопротивление, Па (мм вод.ст.)	150(15)	150(15)
Габариты, м:		
диаметр	0,574	0,816
длина	0,748	0,99
высота	1,28	1,434

	<u>Тип колонки</u>	
	<u>КД-06</u>	<u>КД-08</u>
Масса, кг:		
металлической части	95,6	136,6
керамических колец	70	140
общая	165,5	276,6

Установка декарбонизаторов ведет к снижению температуры нагрева воды на 1,5-2°C. Поэтому для снижения потерь теплоты в декарбонизационную колонку рекомендуется подавать теплый воздух для пропускки из верхней зоны котельной.

При повышенных требованиях к нагреваемой воде устанавливается промежуточный теплообменник в контур циркуляции срывающей воды. При этом соотношение расходов воды циркуляционного контура контактного экономайзера и волы, поступающей к потребителю, принимается равным 1,2-1,4.

Конструкция экономайзера АЭ-06, разработанного Киевским НИИ Санитарной техники и оборудования зданий, обеспечивает нагрев воды до 40-45°C. Конструкция агрегата содержит поверхности водоподогреватель, предназначенный для подогрева воды, декарбонизатор для снижения содержания углекислоты в конденсате водяного пара, две обогревательные камеры для предотвращения замерзания воды промежуточного циркуляционного контура в случае выключения агрегата, особенно при установке его на открытом воздухе.

Ожидаемый годовой экономический эффект от использования контактных аппаратов составляет, тыс. руб.: для ЭК-Н4-1 около 8-10, ЭК-Н4-2 около 27-30, АЭ-06 - 12-13*.

Схема установки контактных экономайзеров предпочтительна автономная для каждого котлоагрегата, что предотвращает присосы холодного воздуха в экономайзер при отключении одного из котлов. Групповая схема подключения может быть принята только в существующих котельных как вынужденное решение.

Преимущественные области применения контактных экономайзеров: нагрев исходной воды, подпиточной воды для тепловых сетей, питательной воды для котлов, нагрев воды для систем горячего водоснабжения, а также подогрев воздуха для отопления и кондиционирования.

Распространенным видом контактных теплообменников скрубберного типа являются насадочные аппараты, в которых в качестве насадки преимущественно используют кольца Рашига.

Приведенные типы контактных экономайзеров устанавливают за котлами мощностью выше 2,5 т/ч (1,5 Гкал/ч). Для котлов малой производительности контактные экономайзеры могут

* Величины экономического эффекта приведены в ценах 1989 г.

быть изготовлены в индивидуальном порядке в качестве нестандартного оборудования либо могут быть использованы блоки экономайзера ЭК-БИ для установки в качестве группового экономайзера.

Одним из преимуществ использования скрытой теплоты парообразования дымовых газов является возможность использования получаемого конденсата, т.е. экономия воды.

Количество сконденсированной из дымовых газов воды можно определить по соотношению:

$$C_k = C_g^c B (d_g' - d_g''), \quad (2)$$

где C_g^c - количество конденсата, кг/ч; C_g^c - расход сухих дымовых газов, кг/м³; В - расход топлива на котел, м³/ч; d_g' , d_g'' - влагосодержание дымовых газов соответственно на входе и выходе из утилизатора, кг/кг с.г. (сухих газов).

Анализ воды на действующих контактных экономайзерах показал, что содержание свободного углекислого газа на выходе из контактной камеры может достигать 100 мг/л при температуре воды 30–50°C[2]. В связи с этим уменьшается концентрация водородных ионов в результате pH становится ниже 7, а вода приобретает ярко выраженные кислотные свойства. Для использования конденсата в качестве питательной воды необходима установка декарбонизатора. Опасность коррозионной активности воды при пониженном значении pH существует, особенно при малой жесткости и небольшой бикарбонатной щелочности исходной воды.

Использование воды, находящейся в непосредственном контакте с дымовыми газами, для бытовых целей запрещено, поэтому необходимо использование промежуточного теплообменника.

Схема утилизации теплоты дымовых газов за котлом пароизвлекательностью 1 т/ч представлена на рис. 2. Для подачи газов через экономайзер за ним установлен вентилятор ЦДЗ-50 № 3. Для возможности переключения дымовых газов помимо установки имеются переключающие заслонки. Применение

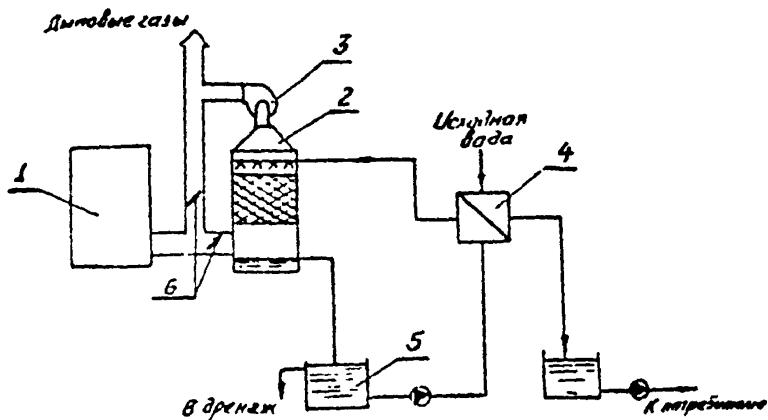


Рис. 2. Схема утилизации дымовых газов парового котла:
 1 - котел; 2 - контактный экономайзер; 3 - вентилятор;
 4 - теплообменник; 5 - бак орошающей воды; 6 - бак горячего
 водоснабжения

такой установки позволило повысить КПД с 82 до 93% (по высшей теплоте сгорания). Температура уходящих газов снижалась с 180–160 до 45–38°C, подогрев воды в теплообменнике производился от 10 до 34–30°C. Годовой экономический эффект составил 7 тыс. руб. [4].

Схема котельной с контактным теплоутилизатором без водоумягчительной установки, разработанная Киевским НИИ Санитарной техники и оборудования зданий [1], представлена на рис.3.

Практическое применение такой схемы в котельной Челябинского завода оргстекла показало, что в результате конденсационных процессов в утилизаторах может быть получено количество конденсата, способное полностью возместить потребность котельной, при этом она может эксплуатироваться без химического очистки (при возврате из системы теплоснабжения 66% конденсата).

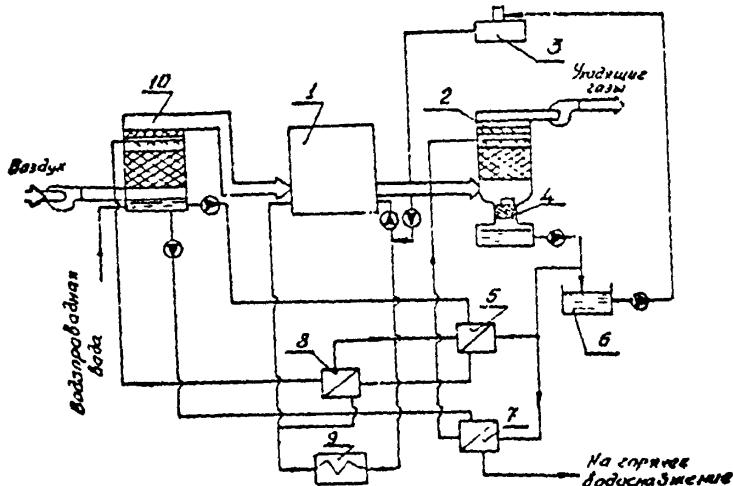


Рис. 3. Схема котельной с контактным теплоутилизатором без водоумягчительной установки:

1 - котел; 2 - контактный экономайзер; 3 - деаэратор; 4 - декарбонизатор; 5 - теплообменник горячего водоснабжения; 6 - бак; 7 - промежуточный теплообменник; 8 - теплообменник; 9 - система теплоснабжения; 10 - воздухоподогреватель

Нагретая в экономайзере вода стекает в декарбонизатор и о помощью насоса направляется в промежуточный теплообменник системы горячего водоснабжения, а затем возвращается снова в экономайзер [2]. Часть воды подается в бак, оттуда насосом - в деаэратор и идет на пополнку системы теплоснабжения. Вода, циркулирующая в воздухоподогревателе 10, омывается с водопроводной водой, часть которой возмещает ее потери за счет испарения в воздухоподогревателе, а ее остаток удаляется в канализацию. В теплообменнике 8 вода, поступившая из подогревателя 10, нагревается и вновь поступает в этот подогреватель.

Эксплуатация такой установки позволила снизить на 10% удельные капитальные вложения и на 15% себестоимость вырабатываемой тепловой энергии.

Максимальная температура, до которой можно нагреть воду при прямом теплообмене в контактном теплообменнике, обычно составляет $50\text{--}70^{\circ}\text{C}$. Для существенного повышения температуры нагреваемой жидкости возможно использование в качестве промежуточного теплоносителя жидкостей с более высокой температурой кипения (следовательно, и с более высокой температурой "мокрого термометра"). В качестве такого теплоносителя могут быть использованы высококипящие органические теплоносители, минеральные масла, которые нагреют воду в промежуточном теплообменнике. При этом необходима за контактным экономайзером по ходу газа установка водяного экономайзера, охлаждающего дополнительно уходящие газы до температур, исключающих существование в уходящих газах паров промежуточного теплоносителя и одновременно утилизирующего дополнительное количество теплоты.

Латвийским политехническим институтом разработана конструкция контактных орошаемых теплообменников с активной насадкой (КТАН) [13].

КТАН является теплообменником рекуперативно-смесительного типа. В нем организуются автономные потоки воды, нагреваемой при непосредственном контакте с дымовыми газами и чистой водой, подогреваемой в поверхностном теплообменнике. Поток орошающей воды интенсифицирует процесс теплопередачи от дымовых газов к чистой воде в поверхностном теплообменнике.

Температура воды на выходе из насадки ограничивается температурой мокрого термометра дымовых газов, которая составляет $55\text{--}65^{\circ}\text{C}$. Поэтому температура воды на выходе из активной насадки принимается равной 50°C .

Разработан ряд типов КТАНов для газифицированных котлов, теплопроизводительность которых $0,23\text{--}116,3 \text{ МВт}$ ($0,2\text{--}100 \text{ Гкал}/\text{ч}$).

Основные типы и характеристики КТАНов, марки котлоагрегатов, для которых рекомендуется установка утилизаторов, и рекомендации по комплектации КТАНами котлов для различных условий работы котельных приведены в табл. I-3.

Особенностью схемы с применением КТАНов по сравнению с традиционной схемой скруббера с промежуточным теплообменником является то, что процесс теплообмена газов с орошающей и нагреваемой водой происходит одновременно на одной поверхности теплообмена. Практически невозможно в КТАНе осуществить притокоток для обеих теплоносителей. Соблюдается притокоток только при теплообмене между орошающей водой и нагреваемой, а между газом и орошающей водой существует прямоток, что снижает интенсивность теплоизменения.

Достоинством КТАН является большая интенсивность процессов тепло- и массообмена газов и орошающей воды за счет повышения (до 6–8 м/с) скорости газов, а также компактность, поскольку все теплообменные поверхности сосредоточены на одном месте. Однако в эксплуатации КТАН не очень удобен, так как ремонт трубчатых поверхностей требует остановки котла.

Следует отметить, что если для традиционной схемы обычного континентального экономайзера с выносенным теплообменником имеется большое количество экспериментальных данных, то КТАНы проверены недостаточно в условиях практической эксплуатации и, видимо, должны быть внесены корректиры в их характеристики по мере накопления данных.

Если при установке КТАН на номинальную теплопроизводительность тепловая нагрузка потребителей ниже номинальной, следует изменять количество дымовых газов, перепускаемых по обводной газоходу. При этом изменяется температура дымовых газов за КТАНом, а теплопроизводительность КТАН остается неизменной.

Если требуемая поверхность теплообмена больше фактической поверхности КТАНа, коэффициент обвода увеличивают, увеличивая расход дымовых газов через КТАН и уменьшая расчетную поверхность нагрева. В случае же, когда расчетная

Таблица I
Основные технические характеристики типового ряда КТМов-утилизаторов

Таблица 2

Рекомендации по комплектации КТАНыи котлов для различных условий
работы котельных

Условия работы котельной	Марка котлов							
	Е-2,5- 10/91М; ДКБР-2,5- 13; ДЕ-4- 14М	КПМ-4; ДКВР-4- 13;	КПМ-6,5; ДКР-6,5- 13; ДЕ-10- 14М	КПМ-10; ДКР-10- 14М	М-25- 40М;	ДКМ-30; ДКР-35- 13;	ДКГЛ-50; ДКР-50- 13;	ДКГЛ-100; ДКР-50- 13; Е-150-24
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Водогрейные или па- роводогрейные ко- тельные теплоноси- нения или с цен- трализованным гори- чим водоснабже- нием из котельной: в открытой сис- теме при $Q_{пар}/Q_B = 2,5$, паровые котель- ные с возвра- том конденсата менее 20-25%	КТАН- 0,25УГ	КТАН- 0,5УГ	КТАН- 0,8УГ	КТАН- 1,5УГ	КТАН- 2,3УГ	КТАН- 4,5УГ	КТАН- 6УГ	КТАН- 12УГ

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
в закрытой смо- тре								
при $Q_{\text{пар}}/Q_{\text{в}} > 2,5$, паровые котель- ные с возвратом конденсата более 25%	КТАН- 0,1УТ	КТАН- 0,25УТ	КТАН- 0,5УТ	КТАН- 0,8УТ	КТАН- 1,5УТ	КТАН- 2,3УТ	КТАН- 4,5УТ	КТАН- 6УТ

Таблица 3
Технические характеристики КТАНов-утилизаторов

Показатель	Марка КТАНа									
	КТАН-12УТ	КТАН-6УТ	КТАН-4,5УТ	КТАН-2,3УТ	КТАН-1,5УТ	КТАН-0,8УТ	КТАН-0,5УТ	КТАН-0,25УТ	КТАН-0,1УТ	КТАН-0,05УТ
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Теплоизвлече- тельность УВт (Гкал/ч)	12 (10,32)	6 (5,16)	4,5 (3,87)	2,3 (1,98)	1,5 (1,29)	0,8 (0,68)	0,5 (0,43)	0,25 (0,21)	0,1 (0,085)	0,05 (0,043)
Расход дымовых га- зов, м ³ /с	35,9	17,96	13,44	6,86	4,5	2,2	1,38	0,69	0,23	0,13
Температура нагре- ваемой воды, °С:										
на входе в КТАН	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
на выходе из КТАН	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Температура дымо- вых газов, °С:										
на входе в КТАН	140	140	140	140	140	150	160	160	250	250
на выходе из КТАН	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Расход орошаемой воды, кг/с(м ³ /ч)	18,8 (67,2)	9,4 (33,8)	5,7 (24,1)	4,5 (16,2)	3,5 (12,5)	1,75 (6,3)	1,2 (4,3)	0,6 (2,16)	0,17 (0,6)	0,08 (0,3)
Расход нагревае- мой воды кг/с(м ³ /ч)	54,2 (231)	32,1 (115)	23,9 (85,5)	12,3 (44)	8 (26,8)	4,3 (15,5)	2,7 (5,6)	1,35 (1,9)	0,56 (2)	0,28 (1)

Продолжение табл. 3

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Размеры КГАИи, м:										
длина	3,785	3,785	3,785	3,785	2,662	2,57	1,704	1,305	0,92	0,79
ширина	5,792	3,478	2,404	1,624	1,75	0,994	1,344	1,344	0,48	0,48
высота	5,52	5,52	5,21	4,74	4,158	4,113	3,3	2,595	2,194	1,882
Проходные сече- ния для тепло- носителей, м ² :										
по воде	1,98x x10 ⁻²	2,46x x10 ⁻²	1,86x x10 ⁻²	1,34x x10 ⁻²	1,11x x10 ⁻²	0,55x x10 ⁻²	0,31x x10 ⁻²	1,54x x10 ⁻³	0,55x x10 ⁻³	0,39x x10 ⁻³
по газам	4,61	2,3	1,73	1,15	0,78	0,39	0,36	0,18	0,0425	0,0304
Поверхность теп- лообмена, м ²	362	181	135,8	90,5	52,4	31,2	25	12,5	2,59	1,84
Аэродинамичес- кое сопротив- ление, Па	675	657	569	448	493	454	206	270	490	293
Гидравлическое сопротивление, МПа	0,025	0,025	0,024	0,013	0,009	0,01	0,018	0,019	0,022	0,01'
Масса, кг	12636	6675	4990	3236	2556	1458	1141	682	170	119

поверхность меньше фактической, уменьшают коэффициент сбоя, что приводит к уменьшению расхода дымовых газов через КТАН и увеличению расчетной поверхности нагрева.

В том случае, когда теплопроизводительность котла уменьшается за счет покрытия части нагрузки котла КТАНом, теплоизделие КТАНа оценивается по формуле

$$Q_{\text{кт}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \gamma_k}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \gamma_k + \gamma_{\text{об}} (J' - J'') G_{\text{г}}^{\text{с}}} B \gamma_{\text{об}} (J' - J'') G_{\text{г}}^{\text{с}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплотворная способность топлива, кДж/км³; γ_k – КПД котла; $\gamma_{\text{об}}$ – коэффициент, учитывающий долю расхода дымовых газов, перепускаемых помимо КТАНа по обводному газоходу для подсушки дымовых газов, проходящих через КТАН; J' , J'' – соответственно энтальпия дымовых газов перед КТАНом и после него, кДж/кг; $G_{\text{г}}^{\text{с}}$ – удельный массовый расход сухих дымовых газов, кг/км³; B – расход топлива на котел при работе без КТАНов-утилизаторов, км³/ч.

Если теплопроизводительность котла при установке КТАНа не меняется, тогда теплопроизводительность определяется по формуле

$$Q_{\text{кт}} = G_{\text{г}}^{\text{с}} (J' - J'') B \gamma_{\text{об}}. \quad (4)$$

Теплобалансовые расчеты по возможным потребителям теплоты в паровых и водогрейных котельных, проведенные Даттпромом, представлены в табл. 4-6.

Анализ теплобалансовых расчетов показал, что в открытых системах теплоснабжения и в системах с централизованным горячим водоснабжением КТАНы, установленные в водогрейных и пароводогрейных котельных, при соотношении нагрузок 50%/50%, имеют полную загрузку при всех режимах работы. В пароводогрейных котельных в среднеотопительном режиме КТАНы имеют полную загрузку и при меньшей чем 50%-ной доле водогрейной загрузки из общей нагрузки котельной.

Т а б л и ц а 4
Теплобалансовый расчет по возможным потребителям топлива КТАИа
в Бодогрейной котельной при расчетном режиме

Показатель	Тип котла						
	КВГМ-4	КВГМ-6,5	КВГМ-10	КВГМ-20	КВГМ-30	КВГМ-50	КВГМ-100
I	2	3	4	5	6	7	8
Теплопроизводительность котла, МВт (Гкал/ч)	4,65 (4)	7,56 (6,5)	11,6 (10)	23,2 (20)	35 (30)	56 (50)	116,3 (100)
Возможная теплопроизводительность КТАИа, МВт (Гкал/ч)	0,54 (0,493)	0,94 (0,865)	1,64 (1,41)	3,33 (2,86)	4,93 (4,24)	6,7 (5,76)	13,4 (11,52)
<u>Потребители котельной</u>							
<u>для закрытой системы теплоснабжения</u>							
Расход теплоты на подогрев подпиточной воды							
МВт (Гкал/ч)	0,09 (0,08)	0,15 (0,13)	0,23 (0,22)	0,46 (0,4)	0,67 (0,6)	1,2 (1)	2,3 (2)
%	16	16	14	14	14	17	17
дутьевого воздуха:							
МВт (Гкал/ч)	0,135 (0,116)	0,206 (0,117)	0,343 (0,295)	0,64 (0,55)	0,96 (0,826)	1,56 (1,34)	3 (2,57)
%	23	22	20	19	19	23	23
И т о г о . . .							
МВт (Гкал/ч)	0,23 (0,196)	0,357 (0,307)	0,552 (0,475)	1,1 (0,95)	1,66 (1,426)	2,72 (2,34)	5,31 (4,57)
	39	39	34	33	33	40	40

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Потребители котельной для отопительной системы
теплоснабжения или котельной с централизованным подачи воздухоснабжением

Расход теплоты на подогрев подпиточной воды или воды для централизованного го- рячего водоснабжения:	0,65 (0,558)	0,36 (0,31)	1,63 (1,4)	3,26 (2,8)	4,66 (4,2)	8,14 (?)	16,3 (14)
МВт (Гкал/ч)	113	114	100	99	100	121	121

Т а б л и ц а 5

Теплобалансовая расчетная схема потребления теплоты кГДж
в котельной с парогенератором при расчетном режиме (% от возможной
нагрузки кГДж)

Расход теплоты, %	Возраст кок- сансата, м	Соотношение нагрузок котельной, %		
		75/25	50/50	25/75
В закрытой системе				
На подпитку тепловых сетей и питание котлов	80	11	13	14
	50	25	22	19
	25	35	30	22
На подогрев дутьевого воздуха	-	20	20	20
И т о г о	80	31	33	34
	50	45	42	39
	25	55	50	36
В открытой системе				
На подпитку тепловой сети	-	27	54	81
На подогрев дутьевого воздуха	-	20	20	-
На питание паровых котлов	80	9	6	3
	50	22,5	15	7,5
	25	34	23	11,5
И т о г о	80	96	80	81
	50	69,5	69	68,5
	25	81	57	92,5

Таблица 6

Теплобалансовый расчет по возможным потребителям теплоты КТАНа в котельной
с чисто паровой нагрузкой при расчетном режиме

Показатель	Возврат конденсата, %	Тип котла ДКВР					
		2,5-13	4-13	6,5-13	10-13	20-13	35-13
1	2	3	4	5	6	7	8
Теплопроизводительность котла, МВт (Гкал/ч)	-	2,49 (2,14)	3,99 (3,43)	6,46 (5,57)	9,69 (8,5)	18,6 (16)	34,9 (30)
возможная теплопроизводительность КТАНа, МВт (Гкал/ч)	-	0,32 (0,275)	0,51 (0,44)	0,81 (0,7)	1,29 (1,11)	2,27 (1,95)	5,1 (4,39)
Расход теплоты на подогрев, Гкал/ч или % от Q_{kt}							
питательной воды:							
МВт (Гкал/ч)	80	0,04 (0,034)	0,063 (0,054)	0,102 (0,068)	0,15 (0,13)	0,29 (0,252)	0,52 (0,45)
%	12	12	12	12,5	12	15	10
МВт (Гкал/ч)	50	0,027 (0,024)	0,157 (0,135)	0,256 (0,22)	0,387 (0,333)	0,733 (0,63)	1,31 (1,125)
%	30	30	30	30	30	32	25
МВт (Гкал/ч)	25	0,149 (0,128)	0,235 (0,202)	0,35 (0,33)	0,59 (0,51)	1,1 (0,945)	1,97 (1,65)
%	45	46	47	45	48	36	

8

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8
дутьевого воздуха:							
МВт (Гкал/ч)	-	0,07 (0,06)	0,11 (0,095)	0,18 (0,154)	0,27 (0,236)	0,57 (0,44)	0,98 (0,845)
%		22	22	22	21	22	19
Итого:							
МВт (Гкал/ч)	60	0,11 (0,094)	0,173 (0,149)	0,281 (0,242)	0,426 (0,336)	0,805 (0,692)	1,51 (1,295)
%		34	34	34,5	33	35	25
МВт (Гкал/ч)	50	0,167 (0,144)	0,267 (0,23)	0,435 (0,374)	0,66 (0,569)	1,24 (1,07)	2,29 (1,97)
%		52	52	52	51	54	44
МВт (Гкал/ч)	25	0,216 (0,186)	0,345 (0,297)	0,56 (0,484)	1,1 (0,946)	1,61 (1,365)	2,95 (2,535)
%		69	69	69	57	70	57

В водогрейных и пароводогрейных котельных, работающих в закрытых системах теплоснабжения, а также в чисто паровых котельных, КТАНы недогружены. Процент недогрузки колеблется в широких пределах в зависимости от условий работы котельной и лежит в пределах от 20 до 70%. В подобных случаях рекомендуется устанавливать КТАНы меньшего тиражемера, соответствующие имеющейся тепловой нагрузке, или установку КТАНов не за всеми котлами с возможностью переключения с одного котла на другой.

Возможные схемы подключения КТАНов по воде представлены на рис. 4.

Принципиальная схема котельной с установленным КТАНом и контактным подогревателем дутьевого воздуха приведена на рис. 5.

Горячие газы от котла поступают в КТАНы, где подогреваются химочищенная и исходная вода в трубах активной насадки. Охлажденные дымовые газы лимосжом направляются в дымовую трубу. Для исключения образования конденсата в дымовой трубе и подводном борове имеется частичный перепуск газов по обводному газоходу. Подогретая орошающая вода из КТАНа направляется в контактный воздухоподогреватель для подогрева дутьевого воздуха котла. Охлажденная в воздухоподогревателе орошающая вода направляется насосом на орошение в КТАН. Избыток воды за счет конденсации влаги из дымовых газов направляется в сборный бак.

По требованиям водоподготовительного цикла котельной подогрев исходной воды перед водоподготовительной установкой производится до 20⁰C. В нижней части насадки КТАНа осуществляется подогрев исходной воды от 5 до 20⁰C, а в верхней части подогрев химочищенной воды от 20 до 50⁰C.

В водогрейных котельных, работающих в закрытых системах теплоснабжения, расход теплоты на подогрев подпиточной воды составляет около 30% от возможной теплоизделийности КТАНа в среднесоточильном режиме и всего 14-17% в расчетном режиме. Для этих котельных целесообразна установка

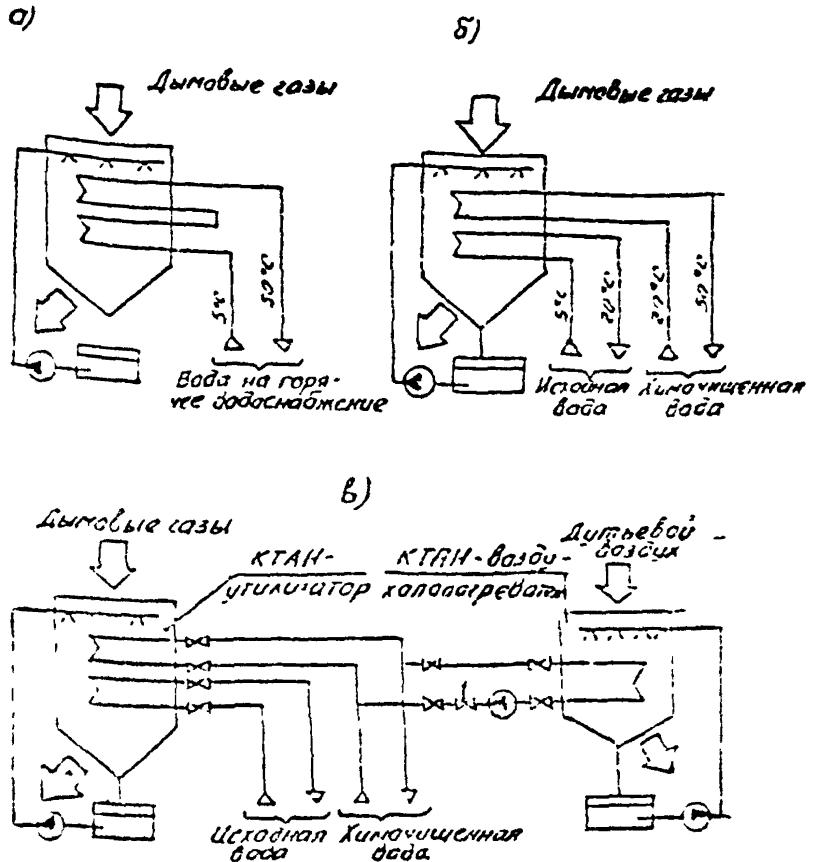


Рис. 4. Схемы экранирования КТНов:

а - в котельной с централизованной системой горячего водоснабжения; б - в котельной для открытой или закрытой систем теплоснабжения; в - подключение воздухоподогревателя

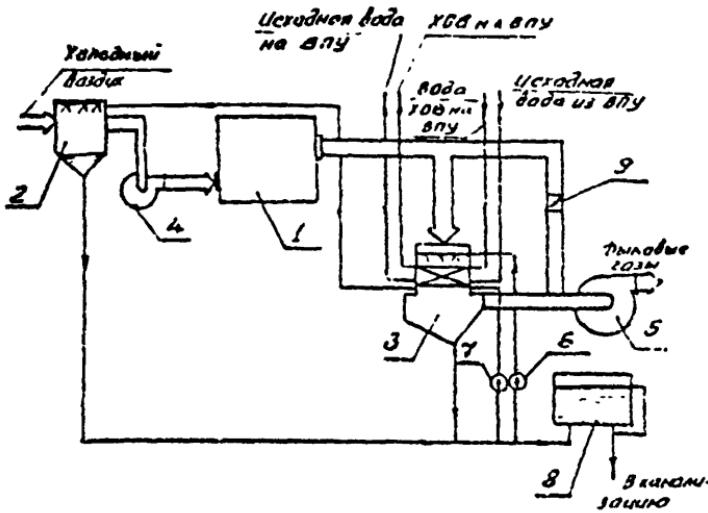


Рис. 5. Принципиальная схема установки КТА-100 в котельной:
 1 - котел; 2 - контактный воздухоподогреватель; 3 - КТАН;
 4 - вентилятор; 5 - дымосос; 6 - насос прошепния КТАНа;
 7 - насос орошения воздухоподогревателя; 8 - бак орошающей во-
 ды; 9 - регулирующий клапан

воздухоподогревателей для нагрева дутьевого воздуха котлов. Подогрев в расчетном режиме дутьевого воздуха до 30°C позволяет использовать около 20% теплоты, получаемой в КТАНе-утилизаторе. В среднеоточительном режиме этот процент снижается до 15%.

Суммарная нагрузка КТАНов в вологрейных котельных, работающих в закрытых системах теплоснабжения, составляет 35–50% от возможной теплопроизводительности в зависимости от режима работы котельной.

В котельных, работающих в закрытых системах теплоснабжения, часть утилизированного тепла может быть использована для подогрева обратной сетевой воды в системе теплоснабжения.

Быстро в КТАНах подогрев обратной сетевой воды ячейкообразен, так как в течение отопительного сезона температура ее выше или сравнима с максимально возможной температурой подогрева воды в КТАНе.

Разработанный типоряд КТАНов позволяет использовать эту конструкцию в широком диапазоне мощностей за котлами теплопроизводительностью 0,23-116,3 МВт, но эта конструкция нуждается в дополнительной экспериментальной проверке.

Расчетные данные по годовой экономической эффективности для КТАНов, устьновливаемых за водогрейными и паровыми котлами, приведены в табл. 7. Согласно расчетам, скважинность капиталовложений находится в пределах 1-3 лет в зависимости от мощности котла. Себестоимость тепловой энергии в 5-10 раз ниже, чем при выработке из котельной. Годовой экономический эффект выше для паровых котельных вследствие большей продолжительности работы горлов в течение года.

В последнее время значительное внимание уделяется разработке мероприятий по утилизации теплоты дымовых газов для котельных мощностью свыше 116,3 МВт. Для средних мощностей преимущественно предлагается использовать подогреватели воды и воздуха. Разработка проектно-конструкторских решений проводилась ВНИИЭнергопромом (Украинское, Бакинское отделения), МИНХ им. Г.В.Длеханова.

В рассматриваемых решениях в зависимости от конкретных условий может быть увеличен коэффициент использования топлива на 4-12% по сравнению с установками без утилизации теплоты уходящих газов.

В основном, технические решения основаны на применении контактных охладителей уходящих газов и контактных воздухо-подогревателей.

Схема утилизации теплоты уходящих дымовых газов для открытой и закрытой систем теплоснабжения с котлами ЧБМ-180 приведена на рис. 6. На рис. 6, а уходящие дымовые газы охлаждаются в контактном теплообменнике З до 52°C. Охлаждая зода циркулирует в замкнутом контуре, отдавая теплоту в воздухо-подогревателе 5 и охлаждаясь от 67,2 до 10°C.

Таблица 7

Расчетная годовая экономическая эффективность установки КТАнов
(данные Латгипропрома)

Наз кот- лоагре- гаторов	Капиталь- ные вло- жения в услов- ии ного тольи- да, т. ут/т (руб.)	Годо- вые эконо- мики за услуги	Годовая потреб- ность в электро- энергии кВт·ч	Экономия энергии, тыс. руб.	Годовые эксплуатацион- ные расходы, тыс.руб.				Себестоимость, руб./т/ч (руб/т/ч)	Годо- вой эконо- мичес- кий эффект, тыс. руб.	Оценка эффектив- ности					
					I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<u>Водогрейные котлы</u>																
КИГ-4- -150	9,58	190	5573 (1330)	17250	4,6	0,52	0,73	0,15	1,4	0,25 (1,05)	1,91	2,7				
КИГ-4-6,5- -150	10,28	260	7626 (1620)	25000	6,29	0,75	0,87	0,17	1,79	0,23 (0,96)	2,96	2,3				
КИГ-10- -150	13,5	415	12172 (2905)	31464	10,04	0,94	1,15	0,23	2,32	0,19 (0,79)	5,7	1,7				
КИГ-20- -150	16,08	765	22437 (5355)	50430	18,51	1,51	1,37	0,27	31,5	0,14 (0,58)	12,95	1				
КИГ-30- -150	19,63	1290	37836 (9630)	84125	31,21	2,52	1,67	0,33	4,52	0,12 (0,5)	23,75	0,7				
КИГ-50- -150	23,23	2300	67459 (13100)	101896	55,65	3,06	2,48	0,50	6,04	0,09 (0,37)	45,23	0,6				

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
КЭГМ-I00- -150	66,25	4560	I33745 (31920)	I83260	I10,33	5,5	5,03	I,13	I2,26	0,09 (0,36)	66,13	6,?
Паровные кости:												
ДЕ-4-14ГМ	6,15	I62,8	47'5 (II39,6)	9840	3,94	0,29	0,52	0,I	0,91	0,19 (0,79)	2,11	I,6
ДЕ-6,5- -14ГМ	6,5I	425,I	I2468 (2975,7)	29040	I0,29	0,67	0,55	0,II	I,53	0,12 (0,31)	7,78	0,7
ДЕ-10- -14ГМ	9,08	540	I5838 (3780)	31073	13,07	0,93	0,77	0,15	I,85	0,11 (0,48)	9,66	0,6
ДЕ-16- -14ГМ	II,92	I002,8	29412 (7019,6)	37470	24,26	I,12	I,0I	0,2	2,33	0,08 (0,33)	20,14	0,5
ДЕ-25- -14ГМ	I5,0I	I080	31676 (7560)	51735	26,13	I,55	I,28	0,26	3,09	0,09 (0,4)	20,79	0,6

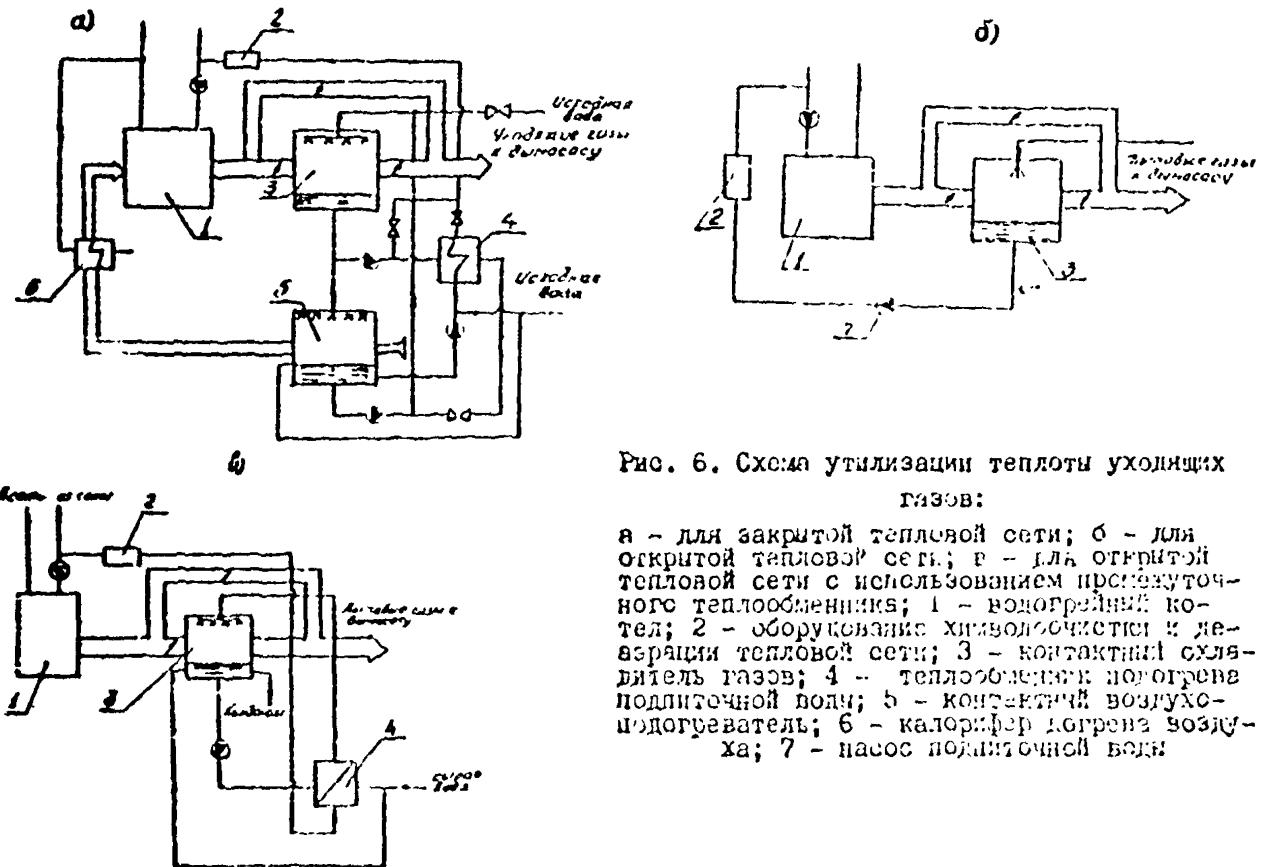


Рис. 6. Схема утилизации теплоты уходящих газов:

а - для закрытой тепловой сети; б - для открытой тепловой сети; в - для открытой тепловой сети с использованием промежуточного теплообменника; 1 - водогрейный котел; 2 - оборудований химволокнистое и цеверации тепловой сети; 3 - контактный склонитель газов; 4 - теплообменник подогрева подпиточной воды; 5 - контактный воздухо-подогреватель; 6 - калорифер подогрева воздуха; 7 - насос подпиточной воды

В калорифере 6 происходит нагрев воздуха на 3-5°C выше точек росы. С целью более полной утилизации теплоты уходящих газов часть воды из циркуляционного контура проходит через водоводяной теплообменник 4, в котором осуществляется подогрев подпиточной воды с 5 до 52°C.

В случае работы установки без теплообменника 4 сырья вода после скруббера-охладителя газов 3 отбирается из циркуляционного контура и подается непосредственно на химроочистку (ХРО) и дезаэрацию 2 тепловой сети.

В летнем режиме воздухоподогреватель отключается вместе с циркуляционным контуром и насосом циркуляции, а вся подпиточная вода после охлаждения газов из скруббера 3 подается на ХРО и дезаэрацию.

При максимальной нагрузке, когда выпаривается вода из циркуляционного контура, последний пополняется сырой водой, а при средних нагрузках, когда происходит конденсация волнистого пара из продукта горения, они используются для подпитки тепловой сети, что составляет около 6,75% от расхода подпиточной воды.

Утилизация теплоты уходящих газов котла, работающего на открытую систему теплоснабжения, предусматривает подогрев только подпиточной воды.

Схема утилизации теплоты дымовых газов для открытой тепловой сети показана на рис. 6,б, где нагрев подпиточной воды осуществляется непосредственно в скруббере и при температуре около 60°C подается в ХРО и дезаэрацию тепловой сети.

При необходимости в циркуляционный контур может быть включен промежуточный теплообменник, в котором нагрев подпиточной воды будет производиться с помощью орошаемой воды, т.е. подпиточная вода не будет иметь прямого контакта с продуктами горения (рис. 6,в).

Задача для открытой системы теплоснабжения вся подпиточная вода подогревается в контактном охладителе газов до температуры около 30°C и подается на ХРО и дезаэрацию. Включение в контур утилизации воздухоподогревателя для открытой

тепловой сети нецелесообразно вследствие наличия большого количества воды, достаточного для эффективного охлаждения продукта горения. В случае закрытой системы теплообменника ввиду недостаточного количества охлаждаемой воды в конструкции утилизации включен воздухоподогреватель. Опыт работы системы теплообменения показал, что при обработке воды на фильтрах в ионитном АУ-2 и вакуумной деаэрации практически полностью уходит из воды продукты неполного горения топлива, растворенные в процессе прохождения воды и газа в контактном экономайзере.

Для снижения коррозионных повреждений в дымовой трубе часть газов по байпасной линии перепускается мимо охладителя газов.

Утилизационное оборудование разрабатывалось как нестандартное применительно к конкретным объектам.

Технико-экономические показатели системы приведены в табл. 8.

Т а б л и ц а , 8
Технико-экономические показатели систем утилизации
теплоты уходящих газов котла КБГМ-180 [1]

Система утилизации теплоты уходящих газов	Средне- годовая экономия газа, %	Годовой эко- номический эффект от применения утилизации, руб/год
Подогрев воздуха и подпиточной воды (для закрытой системы теплообменника)	5,2	224,19
Подогрев подпиточной воды (для открытой системы теплообменения): в промежуточном теплообменнике непосредственно в охладителе газов	11,4 12,3	629,61 589,78

Недостатком использования контактных теплообменников является наличие подогретой орошаемой воды, насущник углеводородной, нагрев воздуха в отдельном контактном воздуко-

подогревателе и подача сильно увлажненного воздуха в топку котла, что приводит к снижению температуры дымовых газов в топке и снижению производительности котла. Для устранения этих недостатков предложены схемы утилизации теплоты, в которые включены контактные подогреватели со встроенным декарбонизатором.

Принципиальная схема утилизации теплоты дымовых газов с применением поверхностного воздухоподогревателя представлена на рис. 7, а. Охлаждаемая вода подается сверху в контактный теплообменник навстречу восходящему потоку газов. Нагреваясь, вода поступает в декарбонизатор 2 через гидрозатворы. В декарбонизаторе вода проливается воздухом и подается в теплообменник 4, где нагревает сырье или химическую очищенную воду, затем снова по замкнутому контуру направляется в контактный теплообменник. Воздух в декарбонизаторе 2 нагревается, увлажняется и подается в поверхностный воздухоподогреватель, где за счет конденсации паров нагревает воздух, поступающий из атмосферы, при этом сам осушается. После смещения оба потока воздуха попадают в топку котла.

Подобная установка имеет самое аппаратурное оформление и ее использование целесообразно с целью увеличения тепловой мощности котельной. В этом случае необходимо использовать весь объем газов, а для предотвращения конденсации воздуха паров следует смешивать их с высокотемпературными дымовыми газами, образованными при сжигании дополнительного количества топлива. Для этой цели перед дымососом предусмотрена смесительная камера 7 в трубе с патрубком, в котором расположены горелки 8, омылкой которых осуществляется подогрев уходящих газов на 25-50°C.

В том случае, когда утилизация теплоты дымовых газов имеет целью снижение расхода топлива, может быть использована установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 7, б.

Увлажненный воздух засасывается из дефлектора в контактный теплообменник и выбрасывается вместе с дымовыми газами из з дымовую трубу в атмосферу, а для подготовления конденсации волнистых паров производится байпасирование дымовых газов.

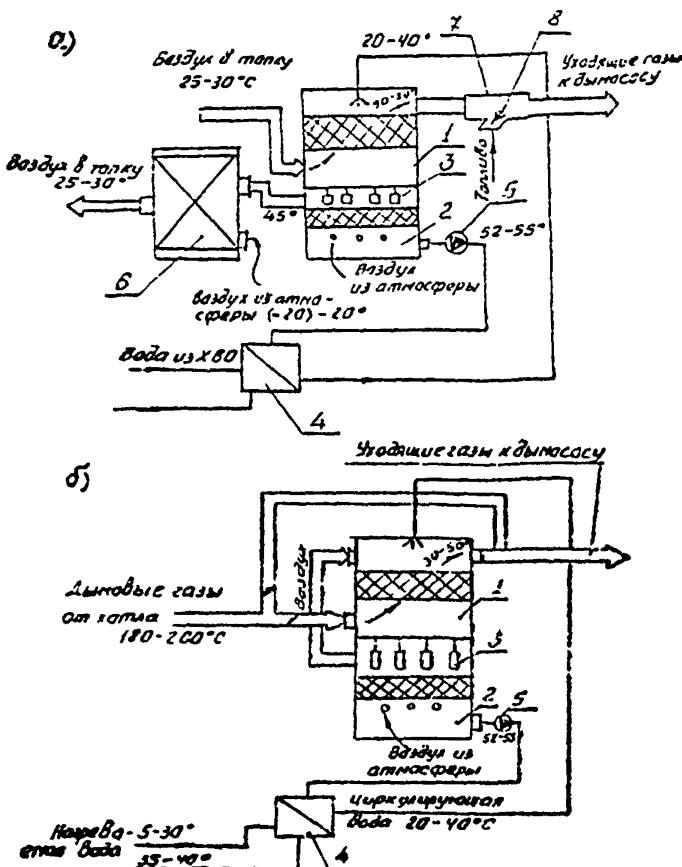


Рис. 7. Схема утилизации теплоты дымовых газов котла КПМ-180:
а - утилизация с воздухонагревателем; б - утилизация с обводным газоходом;

1 - контактный подогреватель циркулирующей воды; 2 - декарбонизатор;
3 - гидроавтоматы; 4 - теплообменник; 5 - насос;
6 - воздухонагреватель; 7 - смесительный газоход;
8 - горелка

Имеются разработки контактно-декарбонизационного экономайзера пропускной способностью по дымовым газам 70–85 и 140–165 тыс.м³/ч.

Для котлов теплопроизводительностью свыше 100 Гкал/ч конструкции теплоутилизаторов дымовых газов находятся на стадии опытных разработок и дальнейшее развитие могут получить только при стимулировании за экономию топливно-экологических ресурсов.

При всей привлекательности использования контактных теплообменников при утилизации теплоты уходящих газов котлов основной недостаток установок – поглощение водой из продуктов сгорания углекислоты и кислорода и приобретение ее таким образом коррозионно-агрессивных свойств – сдерживает широкое применение таких теплообменников. Для нормальной работы установок необходимо проводить декарбонизацию, деаэрацию воды, что в ряде случаев затрудняет использование охлаждающей воды.

В связи с этим внимание обращается на использование конденсационных поверхностей нагрева. Конденсационные поверхности нагрева значительно более развиты по сравнению с обычными экономайзерами. Конденсационные теплообменники имеют также высокий КПД, как и контактные теплообменники, но являются более металлоемкими конструкциями. В то же время отсутствие непосредственного контакта между продуктами сгорания и нагреваемой водой делает их предпочтительными с точки зрения качества нагреваемой воды.

В настоящее время для целей утилизации теплоты в процессах ректификации и концентрирования разработаны и выпускаются промышленностью биметаллические теплообменники, представляющие собой ряд труб с насыженными на них ребрами из сплава алюминия. Алюминий имеет высокую теплопроводительность и антикоррозионные свойства, что позволяет использовать его в конденсационных пропессах теплообмена.

Для обеспечения бескоррозионной работы газоходов и дымовой трубы необходимо обеспечить подсушку уходящих дымовых.

газов. Для этой цели часть дымовых газов по байпасному газоходу перепускается мимо утилизаторов.

Схема с подогревом дымовых газов после утилизатора приведена на рис. 8,а.

Дымовые газы проходят через утилизаторы, в которых охлаждаются охлажденной водой со 190 до 40°C. При этом по расчету конденсируется около 1,13 кг/м³ газа. Конденсат отводится из газохода через гидрозатвор. Около 20% капель конденсата будет унесено потоком газа. По ходу дымовых газов устанавливается калорифер II ступени, осуществляющий подогрев дымовых газов до 70°C, т.е. выше точки росы для предотвращения процессов конденсации в дымовой трубе и подводящих газоходах.

Третьей средой является вода внутреннего контура циркуляции.

Схема утилизации теплоты дымовых газов с частичным перепуском дымовых газов по байпасу приведена на рис. 8,б.

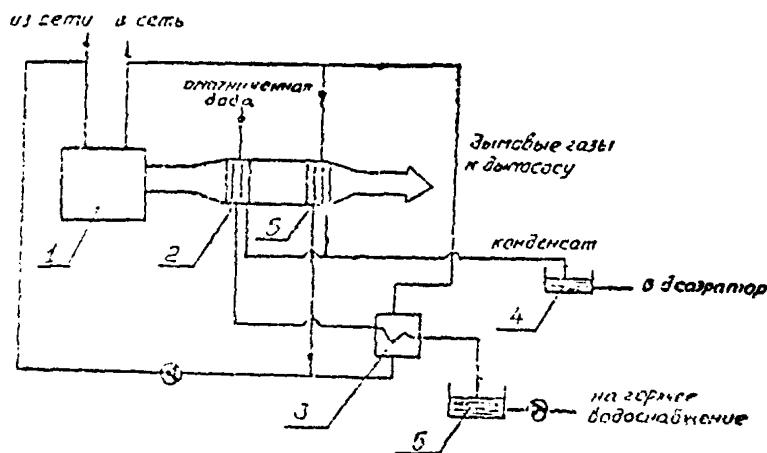
По схеме часть потока газов (примерно 70%) проходит через утилизаторы, где охлаждается до температуры 40°C, т.е. "ниже точки росы", при этом происходит конденсация части водяных паров, содержащихся в дымовых газах. Сколько 30% газов перепускается по обводному газоходу и, смешиваясь с газом, прошедшим через утилизатор, охлаждается до 70-80°C.

Конденсат, образовавшийся в теплоутилизаторе, отводится через гидрозатвор в бак. Поскольку конденсат является обессолененной водой, в отопительный период его используют для приготовления подпиточной воды, летом обрасывают в продувочный колодец, так как использование его на виды потребления, где требуется вода питьевого качества, недопустимо.

Количество конденсата может достигать около 1 кг/м³ газа, что создает дополнительный резерв для экономии воды в котельных.

Технические характеристики конденсационных теплоутилизаторов, которые могут применяться в котельных для нагрева воды [II], приведены в табл. 9,10.

а)



б)

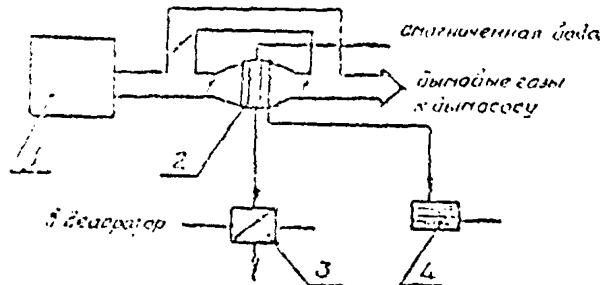


Рис. 3. Схема подключения конденсационных утилизаторов теплоты дымовых газов :
а - с подогревом газов; б - с балансированием газов; 1 - котел; 2 - конденсационный утилизатор; 3 - теплообменник; 4 - бак для сбора конденсата; 5 - бак системы горячего водоснабжения

Таблица 9

Техническая характеристика калориферов КСКЗ-02хЛЗА и КСК4-02хЛЗА

Марка калорифера	Площадь поверхности теплообмена со стороны воздуха, м ²	Площадь фронтальной носки сечения, м ²	Площадь сечения для прохода теплоносителя, м ²	Площадь сечения патрубка, м ³	Площадь сечения распределительно-сборочных коллекторов, м ²	Число ходов для движения теплоносителя	Длина теплоизолированной трубы, м	Масса, кг, не более
КСКЗ-6-02	13,26	0,267	0,000846	0,001006	0,00172	6	0,53	38
КСКЗ-7-02	16,34	0,329	0,000846	0,001006	0,00172	6	0,655	44
КСКЗ-8-02	19,42	0,392	0,000846	0,001006	0,00172	6	0,78	50
КСКЗ-9-02	22,5	0,455	0,000846	0,001006	0,00172	6	0,905	56
КСКЗ-10-02	28,66	0,581	0,000846	0,001006	0,00172	6	1,155	68
КСКЗ-II-02	83,12	1,66	0,002576	0,002205	0,00172	6	1,655	176
КСКЗ-I2-02	125,27	2,488	0,003881	0,002205	0,00172	6	1,655	259
КСК4-6-02	17,42	0,267	0,001112	0,001006	0,0022	6	0,53	45
КСК4-7-02	21,47	0,329	0,001112	0,001006	0,0022	6	0,655	53
КСК4-8-02	25,52	0,392	0,001112	0,001006	0,0022	6	0,78	61
КСК4-9-02	29,57	0,455	0,001112	0,001006	0,0022	6	0,905	68
КСК4-10-02	37,66	0,581	0,001112	0,001006	0,0022	6	1,155	85
КСК4-II-02	110,05	1,66	0,00341	0,002205	0,0022	6	1,655	223
КСК4-I2-02	166,25	2,488	0,005151	0,002205	0,0022	6	1,655	331

Кафедрой теплогазоснабжения ВЭИ предложены решения по применению конденсационных утилизаторов для утилизации теплоты продуктов сгорания и нагрева подпиточной воды для централизованного горячего водоснабжения. Схема с непосредственным нагревом сырой воды в конденсационном теплообменнике приведена на рис. 9, а. Вода нагревается до 50–55°C, затем окончательно догревается в водоводянном теплообменнике, откуда поступает в бак-аккумулятор и далее в систему горячего водоснабжения. Подпиточная сырья вода нагревается в первой секции калорифера до 30–35°C, затем направляется на ХВО, после которой умягченная вода догревается во второй секции калорифера.

Схема подогрева обратной воды, предварительно охлажденной в водоводянном теплообменнике 5, представлена на рис. 9, б. В этом случае тепловой эффект ниже, чем в случае подогрева воды на горячее водоснабжение, так как температура обратной воды выше, что снижает конденсационный эффект.

Горьковский ГИИСактэлектроект рекомендует для утилизации теплоты уходящих газов использовать рекуперативные теплоутилизаторы типа Ш-ПРК. В котельных малой мощности, работающих на природном газе, температуру дымовых газов рекомендуется использовать на нагрев исходной воды при централизованного горячего водоснабжения, на подогрев обратной горячей воды – в случае отсутствия централизованного горячего водоснабжения.

При обрасывании кислого конденсата в канализацию необходимо предусмотреть меры по егонейтрализации или разбавления при предотвращении попадания канализационных трубопроводов.

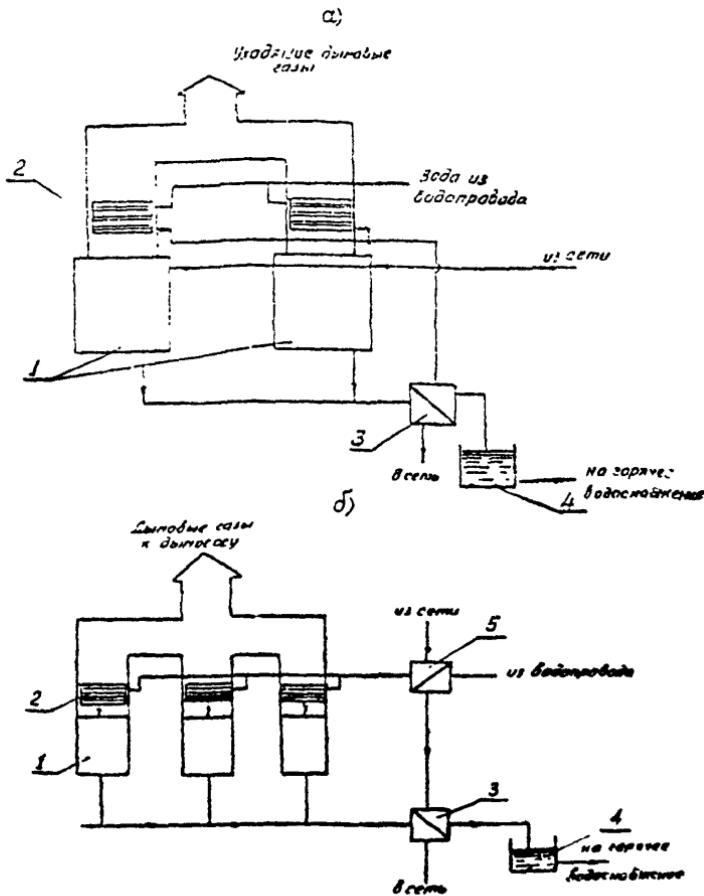


Рис. 9. Схема подогрева:

а - воды для системы горячего водоснабжения; б - обратной воды; 1 - котел; 2 - калориферы-утилизаторы; 3 - теплообменник для подогрева воды; 4 - бак системы горячего водоснабжения; 5 - теплообменник подогрева воды

Таблица 10

Технические характеристики рекуперативных теплоутилизаторов
для систем с промежуточным теплоносителем

Показатели	Типоразмер					
	ПНС5- ТИРКО3	ПНС5- ТИРКО4	ПНС6- ТИРКО3	ПНС6- ТИРКО4	ПНС5- ТИРКО3	ПНС5- ТИРКО4
Производитель- ность по воз- духу, тис. м ³ /ч	5	5	16	16	25	25
Число ходов по воздуху	3	4	3	4	3	4
Площадь тепло- сменной по- верхности, м ²	23,45	30,82	62,01	90,04	102,5	136,02
Площадь фрон- тального се- чения, м ²	0,535	0,565	1,668	1,668	2,499	2,499
Число ходов по теплоносителю	2	2	2	2	2	2
Площадь сече- ния пода, м ²	0,00261	0,00348	0,00522		0,00733	
Площадь сече- ния коллекто- ра, м ²	0,0031	0,0036	0,0031	0,0036	0,0031	0,0036
Площадь сече- ния ватруска, м ²	0,00221		0,00358	0,00521	0,00521	0,00521
Масса, кг	76,3	93,3	195,3	251	286	370
Габариты, мм:						
ширина	1227	1227	1727	1727	1727	1727
высота	180	180	180	180	180	180
ширина	575	575	1075	1075	1575	1575

Применение компенсационных утилизаторов теплоты для ко-
тельных позволяет повысить КПД котельных на 6-8%, снизить
себестоимость тепловой энергии на 9-11%.

Расчеты годовой экономической эффективности для водогрей-
ных котлов КВГМ приведены в табл. II. В основу расчета по-

Таблица II

Расчетная годовая экономическая эффективность установки калориферов КСК

Тип котлоагрегата	Капитальные вложения, тыс. руб.	Годовая экономия угля, т.у./год	Годовая выработка теплоты за счет утилизации, Гкал	Годовая потребность в электроэнергии, кВт·ч	Экономия топлива, тыс. руб.	Годовые эксплуатационные расходы, руб.			Себестоимость топлива/Гкал	Годовой экономический эффект, тыс. руб.	Окупаемость, лет
						на электропроизводство	на амортизацию и текущий ремонт	Всего			
КБГМ-4-150	426,7	162	4971 (1186,5)	1690	4,3	50,7	43,6	94,2	0,02 (0,08)	4,19	0,1
КБГМ-6,5-150	621,3	305,9	8462 (2019,5)	2964	7,3	88,9	63,4	152,3	0,02 (0,08)	7,06	0,09
КБГМ-10-150	1281,7	482,3	13037 (3111,5)	2552	11,5	76,6	130,7	207,3	0,02 (0,07)	11,13	0,11
КБГМ-20-150	2485,5	1036	28010 (6685)	4494	24,8	134,8	253,5	388,3	0,015 (0,06)	23,99	0,1
КБГМ-30-150	3334,6	1595,3	42235 (10080)	2380	38,1	71,4	340	482,8	0,012 (0,05)	37,13	0,09
КБГМ-50-150	3334,6	2695	74352 (17745)	6370	64,4	191,1	340	531,1	0,007 (0,03)	63,34	0,05
КБГМ-100-150	10001	4403	119813 (26595)	73505	105,2	2208,2	1600	3208,2	0,03 (0,11)	100,51	0,1

ложены условия, для которых рассчитывались данные для теплообменников КТАН (см. табл. 7).

При проведении расчетов проводился выбор утилизаторов типа КСК с учетом максимальных затрат электроэнергии с целью использования установленной мощности электродвигателей насосов и винесосов.

В расчетах стоимость электроэнергии принята 30 руб. за 1000 кВт·ч, газа - 29,38 руб. за 1000 м³. Стоимость дополнительного строительного объема для установки утилизаторов составила около 3% капиталовложений в утилизаторы.

Сравнение расчетных данных, полученных для конденсационных теплообменников типа КСК (см. табл. II) и контактных КТАН (см. табл. 7), показывает, что при меньших капитальных затратах и потребности в дополнительной электроэнергии практически можно получить такую же экономию теплаива при установке калориферов КСК, что и для КТАНов. При этом себестоимость тепловой энергии, получаемой в котлоагрегате, значительно ниже, а срок окупаемости составляет около 2 мес, тогда как для КТАНов - 2 года. Действительные показатели могут быть уточнены в процессе эксплуатации теплоутилизаторов как калориферов КСК, так и контактных типа КТАН.

В качестве перспективных утилизаторов теплоты для котельных малой мощности, работающих на закрытую систему теплоснабжения, могут быть рассмотрены разработанные ЦНИИЭП инженерного оборудования поверхности теплоутилизаторы типа ТКГ, предназначенные для тепловой обработки воздуха. Конструкция теплоутилизатора предусматривает работу в конденсационном режиме, что существенно увеличивает коэффициент теплопередачи. Рекомендуемая область применения теплоутилизаторов находится в пределах пропускной способности от 2,5 до 125 тыс. м³/ч. Наиболее эффективно их использование при повышенной влажности удалаемого газа и повышенных температурах наружного воздуха. Теплоутилизаторы типа ТКГ могут быть выполнены из антикоррозионных материалов и со стеклянными трубками. Теплоутилизаторы с алюминиевыми трубками, имеющими внутреннее сребрение с пропускной способностью

10-160 тыс.м³/ч, изготавливаются объединением Моссантех-промом.

В теплоутилизаторах наружный воздух движется внутри труб, дымовые газы - в межтрубном пространстве по перекрестной схеме. Разработчики гарантируют надежную работу теплоутилизаторов до температур наружного воздуха -30°C. Теплоутилизаторы оборудованы поддоном для сбора и отвода сконденсировавшихся водяных паров и байпасным каналом по тракту наружного воздуха. При возникновении обледенения (о чём свидетельствуют отрицательные температуры поверхности труб) по команде реле давления или термопары открывается заслонка байпасного канала, что приводит к сокращению расхода наружного воздуха по трубам. В результате снижения скорости движения наружного воздуха в трубках теплоутилизатора повышается температура поверхности труб и наледь ликвидируется.

Применять теплоутилизаторы типа ТКС рекомендуется при запыленности дымовых газов не более 20 мг/м³.

Для применения этих типов теплоутилизаторов в котельных необходима доработка конструкции с учетом специфики использования дымовых газов и проверка работы их в практических условиях.

Одним из перспективных направлений, обеспечивающих сокращение топлива на путях теплоснабжения, а также сокращение загрязнения окружающей среды, является применение теплоизолирующих установок (ТИУ). Энергетическая эффективность ТИУ оценивается коэффициентом трансформации теплоты. Представляемое отношение теплопроизводительности к затраченной теплоизолической работе. Обычно этот коэффициент равен 3-5 (т.е. на 1 кВт затрачиваемой электрической мощности может быть получено 3-5 кВт теплоты за счет использования низкопотенциальных источников). На практике этот коэффициент не превышает 2,2, что не позволяет конкурировать с централизованным теплоснабжением.

В настоящее время в нашей стране тепловые насосы не получили широкого распространения в связи с низкой стоимостью органического топлива для котельных и высокой стоимостью оборудования ТИУ. Однако в связи с изменением замыслових

затрат на органическое топливо и обострением экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды продуктами сгорания топлива, вопрос применения ТНУ приобретает особое значение. Специального оборудования для тепловых насосов в стране не выпускается, отдельные установки, работающие в настоящее время, базируются на оборудовании серийно выпускаемых холодильных машин.

Для решения вопроса о целесообразности создания теплонасосной станции должен быть проведен технико-экономический расчет сопоставления вариантов котельной с ТНУ и без него с учетом стоимостных показателей, степени дефицитности топлива и электроэнергии и экологических факторов в каждом конкретном случае.

На экономичность ТНУ наибольшее влияние оказывают следующие факторы: вид системы теплоснабжения (открытая, закрытая); температура низкопотенциального источника; температура нагреваемой среды (сетевой воды) после ТНУ; для горячего водоснабжения в суммарной тепловой нагрузке; продолжительность стоящего периода; вид замещаемого органического топлива; местные условия и ограничения (условия электроснабжения, затраты на испольование низкопотенциального теплоисточника и т.д.).

При открытой системе теплоснабжения ТНУ преимущественно может работать на подогрев подпиточной воды от 5 до 70°C в устойчивом экономичном режиме.

При открытой системе удовлетворительная работа ТНУ может быть достигнута лишь при решении проблемы суточного выраживания температуры обратной воды.

Схема утилизации теплоты дымовых газов с применением теплового насоса для котлов КНТи-180 и КВТК-100-150, работавших в открытой системе теплоснабжения с ограничением количеством нагреваемой воды за счет утилизации, представлена на рис. 10. Предложен тепловой насос на базе бромисто-литиевой адсорбционной холодильной машины, работавшей от тепловой сети, позволяющей избежать больших расходов электроэнергии на привод по сравнению с компрессорной машиной.

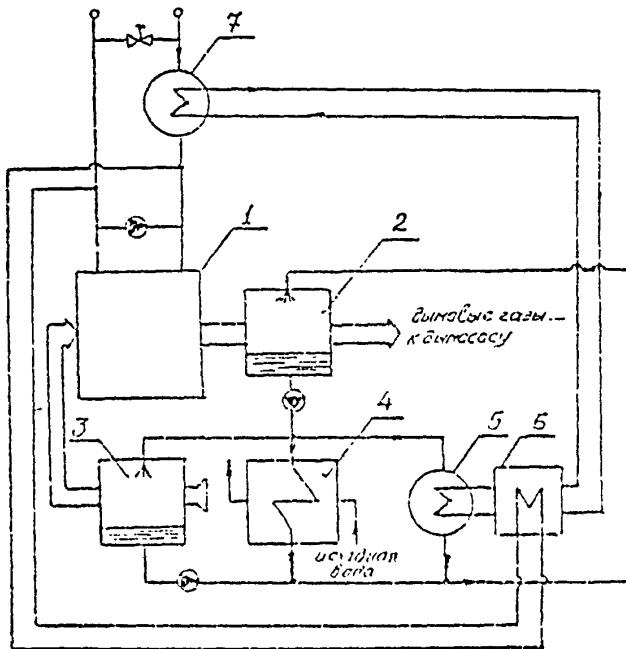


Рис. 10. Схема утилизации теплоты дымовых газов с использованием теплового насоса:

1 - котел; 2 - контактный теплообменник; 3 - воздухонагреватель; 4 - теплообменник; 5 - испаритель; 6 - тепловой насос; 7 - конденсатор

Предукты сгорания из котла поступают в контактный теплообменник 2, где охлаждается орошаемой водой из замкнутого циркуляционного контура. Вода, нагретая в скруббере до 60-70°C, подается в параллельно включенные воздухоподогреватель 3, теплообменник подогрева подпиточной воды 4 и испаритель теплового насоса 7, а затем общим потоком возвращается в скруббер-охладитель газов 2.

Теплота, отобранная у воды циркуляционного контура в сумме с теплотой, использованной на работу генератора, передается в обратную магистраль тепловой сети через теплообменник 4.

Оптимальная работа теплового насоса 6 на базе холодильной абсорбционной машины типа АБХМ-3000Т с тепловой нагрузкой испарителя около 3,9 МВт обеспечивается при подаче в генератор сетевой воды с температурой около 150°C, для чего котлоагрегат работает на первоменном расходе воды в сети. В этом случае минимальная температура воды на выходе в котел (около 70°C) будет иметь место при максимальной нагрузке котла, а при снижении нагрузки она будет возрастать, обеспечивая одновременно и надежную защиту хвостовых поверхностей нагрева от коррозии. В тепловой сети при этом поддерживается постоянный расход сетевой воды по графику качественного регулирования.

По данным разработчика схемы, система утилизации теплоты продуктов сгорания для котлов на газе, используя только подогрев воздуха и подпиточной воды, дает возможность экономить в отопительный период и в летнем режиме горячего водоснабжения соответственно 4,3 и 8,1% топлива. Для котлов на твердом топливе эти величины составляют соответственно 2,5 и 11,2%.

При дополнительной установке одной серийной бронестальевой абсорбционной машины типа АБХМ-3000Т с тепловой нагрузкой испарителя 3,9 МВт, температурой воды на выходе из испарителя 28°C соответственно 150 и 65°C дополнительная экономия газообразного топлива в отопительный период составляет 0,85-3,2% в зависимости от схемы регулирования нагрузки КВГЧ-180, а летом 1,2-1,9%.

Суммарная экономия топлива при работе воздухонагревателя, подогревателя подпиточной воды и теплового насоса составит в отопительный период 5,1-7,5, а в летний - 9,3-10%.

Для котлоагрегата на твердом топливе установка теплового насоса дает дополнительную экономию топлива 5,8%, а суммарная экономия с подогревом воздуха и воды составит 8,3%.

Годовой расход электроэнергии на единицу машины типа АБХМ-ЗОСОТ составляет около 635 тыс.кВт·ч. Годовой экономический эффект от применения двух тепловых насосов данного типа для КВГМ-180 вместе с подогревом воздуха и подпиточной воды составляет около 360 тыс.руб.

Для котлоагрегата КБТК-100-150, работающего на бурых угольах, суммарный экономический эффект при дополнительной установке одной машины вместе с подогревом воды и воздуха составляет около 16 тыс.руб/год.

Схема утилизации теплоты дымовых газов, потребителем для которого является установка для выработки электрического тока [15], приведена на рис. II.

Дымовые газы с температурой 200-270°C и объемом 15-20 тыс.м³/ч поступают от циркулятора 3 подогревателя I, затем испаритель 2, и, охлаждавшись, сбрасываются в дымовую трубу. Полученный в испарителе пар с давлением 19-25 кар и температурой 140-160°C поступает на турбину 6, приводящую в движение электрогенератор 5, вырабатывающий 70-120 кВт мощности.

В качестве рабочей среды используется гамогенизированный углеводород Р II. Рабочая среда, проходя через турбину, поступает в основной конденсатор 7, подогревая подпиточную воду. Избыток теплоты реализуется в дополнительном конденсаторе для подогрева исходной воды. После этого рабочая среда проходит через фильтры, где подвергается очистке и подается снова в подогреватель.

Основные технические и стоимостные данные установки ОВС приведены ниже.

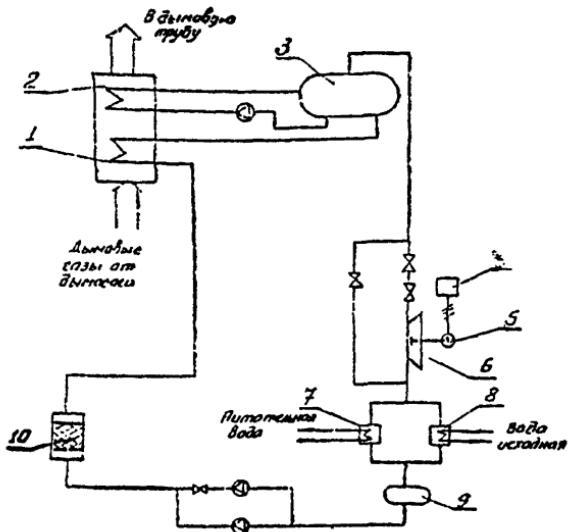


Рис. II. Схема утилизации теплоты дымовых газов для выработки электроэнергии:

1 - подогреватель; 2 - испаритель; 3 - сборник; 4 - распределительная панель; 5 - генератор; 6 - турбина; 7 - основной конденсатор; 8 - дополнительный конденсатор; 9 - бак; 10 - фильтр

Рабочая среда	... . . . .	P II
Источник тепловой энергии	... . . . .	дымовые газы
	с температурой	с температурой
	максимальной	максимальной
	до 2700°C, ми-	до 2700°C, ми-
	ниципально 2000°C,	ниципально 2000°C,
	объемом 15-	объемом 15-
	-20 тыс. м ³ /ч	-20 тыс. м ³ /ч
Температура уходящих газов, °C	... . . . .	110
Максимальная мощность на валу		
турбины, кВт	... . . . .	140
мощность электрогенератора, кВт	... . . . .	120/70

Параметры турбины:	
на входе	Давление пара 18-25 бар, $t = 140-160^{\circ}\text{C}$
на выходе	Давление пара 3-6 бар, $t = 60-85^{\circ}\text{C}$
Охлаждаемая среда в конденсаторе	Подпиточная вода (нагревается при $t = 20-30^{\circ}\text{C}$) и исходная
Капитальные вложения ^х , тыс.марок ФРГ	367
Удельная стоимость вырабатываемой мощности, марок ФРГ	
на 1 кВт	2625

^хБез подогревателя, испарителя, конденсаторов и трубопроводов.

Эта установка позволяет часть собственных ГЭЦ в электроэнергии покрывать за счет вырабатываемой электроэнергии на тепловой энергии дымовых газов.

Стоимость установки достаточно высока и ее использование может быть оправдано только высокой стоимостью топливно-энергетических ресурсов.

ОСОБЕННОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В КОТЕЛЬНЫХ, РАБОТАЩИХ НА БИОММ ТОПЛИВЕ

Большая часть котельных работает на газовом топливе, однако в соответствии с действующими нормами и правилами чавляющее большинство котельных, работающих на газе, имеет резервный вид топлива - мазут. Длительность работы котельных на мазуте зависит от выделяемого лимита природного газа и колеблется в широких пределах от нескольких дней до нескольких месяцев.

В разработанной конструкции КЛН-утилизатора отсутствуют элементы, необходимые для работы на дымовых газах, образующихся при сжигании мазута, отсутствуют антикоррозийные покрытия активной насадки и корпуса КЛНа, не решен вопрос

удаления из контура орошения чистого конденсата дымовых газов. Поэтому при переходе котельной на работу на резервном виде топлива - мазуте - установленные в котельной КТАИ-утилизаторы необходимо плотно отключить от газового тракта и пропустить газы по обводному газоходу непосредственно в дымовую трубу. Необходимо иметь в виду, что точка росы для дымовых газов, содержащих сернистый ангидрид, около 140°C при сжигании мазута.

Челесособрано котельные небольшой мощности обеспечить полностью газовым топливом, увеличив количество смешиваемого мазута на более крупных источниках. В этом случае экономически оправданными будут мероприятия по очистке дымовых газов от сернистого ангидрида. Одним из элементов этих устройств может быть КТАИ соответствующей конструкции, который наряду с очисткой дымовых газов будет выполнять и свою функцию теплоутилизатора.

Впрочем, для работы на жидкое топливо могут быть использованы те же утилизаторы, что и для газовых котельных, но специфика продуктов горения требует особого подхода к использованию утилизационного оборудования.

Вопрос утилизации теплоты дымовых газов потлов малой мощности 20-1000 кВт наиболее рационально решен в Западной Европе, где большая доля топлива приходится на мазут. Как правило, для целей отопления и горячего водоснабжения применяют конденсационные котлы, в которых используют теплоту как явную, так и тепло конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах. Коэффициент полезного действия таких установок выше 100% (по назначению теплоте горения). Для утилизации теплоты используют теплообменники из специальных коррозионных сталей. Модульная система "Calcon", предназначенная для котельных установок промышленного и бытового назначения, имеет три ступени. В первой ступени продукты горения охлаждаются до температуры, близкой к температуре "точки росы", отдавая теплоту в систему отопления; во второй ступени температура продуктов горения понижается до 25°C , выделенная теплота используется для горячего водо-

снабжения или для подогрева воздуха; в третьей ступени осуществляетсянейтрализация вредных веществ и удаление коксингата. Чистка продуктов сгорания по сернистым соединениям достигает 90%, КПД установки достигает 108% [16].

Фирмой "Вентаг" [19] прошлюжен конвективный теплообменник, изготавливаемый из медного литья со специальным легированием для применения в котлах, работающих на жидким топливом. Теплообменник снижает температуру до 150°C, затем продукты сгорания поступают в конденсатор водяных паров, выполненный из керамических материалов, в котором температура уходящих газов снижается до 35-55°C. Образующийся конденсат стекает в конденсаторную ванну нейтрализатора, снабженную абсорбционными кубиками для очистки его от мазутных образований, затем во второй сборник с циркуляционным гранулятором, в котором pH повышается до 6,3-7. Для связывания углеводородов в третьем сборнике находится аммиакированый уголь. Такая технология позволяет повысить КПД котлов, работающих на жидким топливом, до 106% (по иной теплоте сгорания). При этом дымовая труба может изготавливаться из полимерного материала.

Для утилизации теплоты продуктов сгорания используют также встроенные в котлоснегрегат контактные экономайзеры "Recitec", изготовленные из высококачественной стали. Активная насадка изготавливается из хромоникелевомолибденовой стали. Система автоматики и регулирования обеспечивает стабильный режим работы экономайзера. Для предотвращения разрушения дымовой трубы при конденсации водяных паров из котлов сгорания выброс уходящих газов производится через дымовую трубу из легированной стали. Получаемый конденсат отводится в систему канализации. Подобные типы утилизаторов применяются в котельных установках теплопроизводительностью 0,1-10 МВт.

Потеря давления в утилизаторе "Recitec" зависит от конструкции поверхности нагрева (сталкотрубчатая или с оребрением трубами) и колеблется от 0,15 до 0,6 кПа. Эти потери следует учитывать при выборе дымососов. Экономик тепловой

энергии при использовании язкой теплоты 8-10% и скрытой 7-10%, т.е. практически на 15-20% можно увеличить коэффициент использования тепла. Температура уходящих газов при использовании жидкого топлива и наилучшей регулирующей системе составляет 70-120°C без использования скрытой теплоты и 55-60°C при использовании скрытой теплоты.

Использование утилизаторов из коррозионно-стойких сталей в АГТ оправдано высокой стоимостью топлива, в результате чего капитальные затраты окупаются за 1-4 года при эксплуатации установок 1500-2000 ч в год, при более длительной эксплуатации на промышленных предприятиях срок окупаемости сокращается [12].

Реализация перечисленных зарубежных решений возможна при достаточно высокой стоимости топлива и жестких требований к охране окружающей среды. Эти два фактора позволили разработать наиболее эффективные и экологически чистые технологии использования теплоты продуктов сгорания отопительных котлов, работающих на жидким топливом.

Принципиальная схема утилизации теплоты дымовых газов в мазутных котельных представлена на рис. 12. В основе схемы - использование КПДН. Для повышения долговечности утилизационного оборудования применяются коррозионно-стойкие материалы из алюминиевых сплавов, нержавеющей стали, антикоррозионные покрытия, а также методы нейтрализации серной кислоты, образующейся в процессе сгорания жидкого топлива. Последний вариант экспериментально проверен в промышленных условиях на паровом котле производительностью 50 т/ч [6]. Сромщенная вода вместе с конденсатом из КПДН поступает в резервуар 3, состоящий из трех камер, соединенных между собой перегородками. В камеру I поступает 25%-ный раствор АН₄СН из бака 2 и добавляется в сромщенную воду. Через перегородки вода поступает в среднюю камеру II, куда может дополнительно добавляться вода при необходимости. Твердые частицы оседают во дно I и II. Сосетенная вода поступает в камеру III, откуда подается снова на сромажку. В зависимости от сте-

пени часццейии сульфатом остаток отводится в специальный объем. Дозирование аммиачной воды осуществляется с помощью насоса-дозатора по величине pH, которая поддерживается на уровне 7. Твердый остаток периодически подается в сепаратор 4, где отделяется твердая фаза, которая представляет интерес для дальнейшего использования.

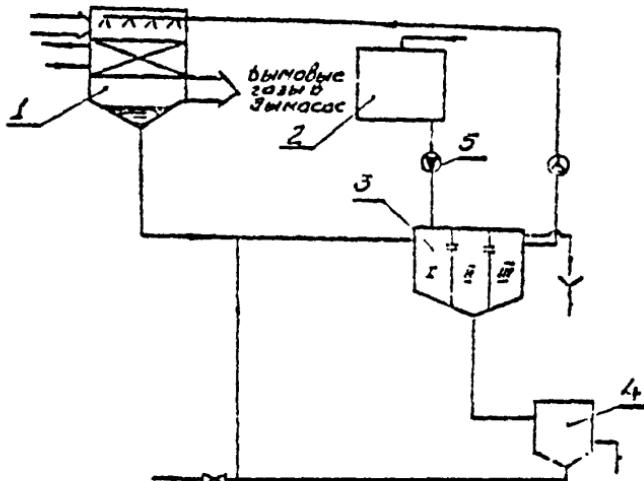


Рис. 12. Схема использования теплоты дымовых газов котельных, работающих на жидким топливе :

1 - контактный теплообменник; 2 - бак с аммиачной водой; 3 - бак орошающей воды; 4 - сепаратор вредных отложений; 5 - насос-дозатор

Использование контактного теплообменника за котлами в такой схеме дает возможность утилизировать теплоту конденсации водяных паров, в то же время орошение поверхности КТАН химическим раствором позволяет снизить коррозионные процессы, извлечь из дымовых газов ценный продукт для промышленности (сульфат аммония) и сократить выброс вредных веществ в окружающую среду.

В нашей стране имеется опыт применения утилизационных установок из стеклянных труб для подогрева воздуха за счет теплоты продуктов сгорания котлов, работающих на жидком топливе. Воздухоподогреватель выполнен из стеклянных труб в виде горизонтального пучка труб [7]. Воздух пропускается внутри трубок, дымовые газы — в межтрубном пространстве. Имеется сплит эксплуатации 70 воздухоподогревателей для котлов производительностью 10—950 т/ч. Расход труб при повышенных КПД на 2% составляет: для котла производительностью 10 т/ч — 750 м, 210 т/ч — 12 км, 950 т/ч — 70 км. Общая стоимость воздухоподогревателей из стеклянных труб составляет: для котла производительностью 10 т/ч — 4300 руб., 210 т/ч — 35000 руб. Экономия условного топлива около 70 кг у./ч/год из 1 м² стеклянной поверхности.

Как показали расчеты, для повышенных КПД водогрейных котлов КВГИ производительностью 4,65—39 МВт, работающих на мацуте, достаточно установить пучок стеклянных труб диаметром 45×4 мм и длиной 23 ч на каждый 1 МВт производительности. Пучок собирается с коридорным расположением труб с зазорами $S_1 = 100$ мм и $S_2 = 67$ мм. Коэффициент использования поверхности при этом составлял 0,7.

Технико-экономические показатели воздухоподогревателей со стеклянными трубами за котлами КВГИ приведены ниже.

	Теплопроизводительность котла, МВт				
	4,65	7,55	11,53	23,26	35
Температура дымо- газов, °С:					
перед воздухо- подогревателем .	245	245	230	242	250
после воздухо- подогревателя .	200	200	200	200	200
Температура воздуха, °С:					
перед воздухо- подогревателем .	20	20	20	20	20
после воздухо- подогревателя .	68	68	54	65	76
Увеличение КПД .	: 1,84	1,84	1,22	1,71	2,03
Экономия условного топлива, кг у./ч/год	54	86	88	243	434

Установка воздухоподогревателей со стеклянными трубами скапливается за 1,5-2 года. Практика эксплуатации показала целесообразность применения воздухоподогревателей и надежность их работы.

Достаточно большой интерес вызывает использование теплообменников на тепловых трубах для утилизации теплоты продуктов сгорания жидкого топлива, особенно за котлами малой мощности, за которыми температура уходящих газов составляет 300-320°C. Традиционные решения для нагрева воды с помощью теплоты дымовых газов требуют значительных капитальных вложений для защиты от сернистой коррозии. Теплообменники на тепловых трубах помогают поддерживать температуру стенки труб 140°C, что позволяет избежать точки росы, а следовательно, конденсации водяных паров и растворения в них окислов серы. Подобный опыт использования теплообменника на тепловых трубах приведен в работе [9].

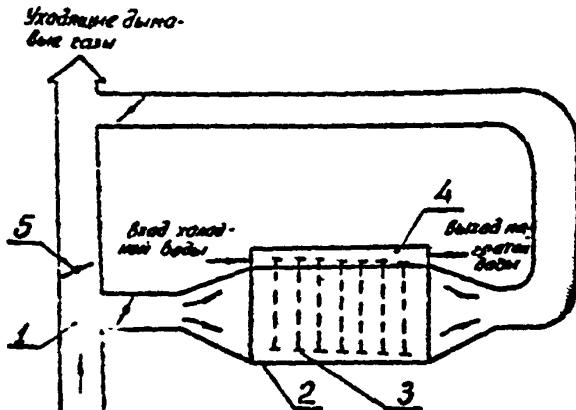


Рис. I3. Схема утилизационной установки на тепловых трубах:

1 - дымоход; 2 - теплообменник; 3 - тепловые трубы; 4 - генератор с холодной водой; 5 - заслонка

В устройстве (рис. I3) температура дымовых газов из выхода в теплообменник 220, на выхоле 246°C. Подогрев воды производится при этом от 50 до 59°C при расходе ее от 346 до 21713 кг/ч. Мощность установки 20 кВт. Теплообменники компактны, имеют объем 0,3 м³ на 10 т/ч газа. Удельная экономия теплоты около 17 Гкал/кВт (~ 4 Гкал/кВт). Срок окупаемости установки II мес.

В процессе работы установки температура стенки трубы поддерживается около 170°C. Малое аэродинамическое сопротивление не требует дополнительной установки тягогультевых устройств.

Возможную схему использования теплоты дымовых газов для котла, работающего на природном газе с резервным жидким топливом, представляет рис. I4. В схеме предусмотрена промывка дымовых газов и нейтрализация промывочной воды с целью снижения содержания вредных веществ в воде и уходящих газах [I].

Из котла I дымовые газы проходят по газоходу, в котором установлено вспрыскивающее устройство, в которое подается вода из сепаратора пара 2, или конденсат. После экономайзера 4 установлена разбрзгивающая сопла 5. Промывочная вода собирается в полосы газохода, откуда через теплообменник 6 подается в бак-накопитель 7, из которого выделяющийся SO₂ подается в сборнику SO₂, а промывочная вода далее поступает в нейтрализатор 8 и шламоотделитель 9. После нейтрализации вода может быть включена в контур котельной для приготовления подпиточной воды.

Эта схема требует практической проработки для определения экономической и технологической целесообразности как для периодического, так и постоянного использования ее при работе котла на жидким топливе.

Утилизация теплоты продуктов сгорания жидкого топлива требует применения коррозионно-стойких материалов для конструкций утилизаторов, но это недостаточно для нормальной эксплуатации, поскольку происходит зонирование поверхностей продуктами сгорания, что требует специальных мероприятий для

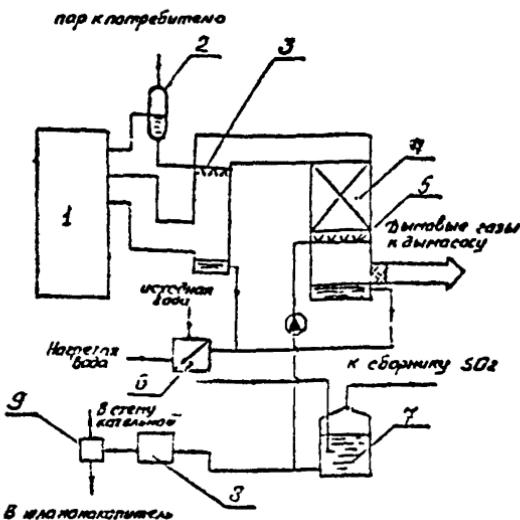


Рис. 14. Схема утилизации теплоты дымовых газов с промежуточной газовыми:

I - котел; 2 - сепаратор газа; 3 - вспеняющее устройство; 4 - экономайзер; 5 - разбрзгиватель сопла; 6 - теплообменник; 7 - бак-накопитель; 8 - нейтрализатор; 9 - насоспитатель

очистки поверхностей. Поэтому наиболее рационально применение очистных сооружений в котельных установках на жидкое топливо, с помощью которых можно комплексно решить вопросы долговечности оборудования, высокого уровня эксплуатации и охраны окружающей среды.

ОСОБЕННОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ В КОТЕЛЬНЫХ, РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Для утилизации теплоты уходящих газов котлов, работающих на твердом топливе, в принципе также могут быть использованы те же утилизационные установки для подогрева воздуха и воды, что в котельных, работающих на газе, но при этом должны быть предусмотрены мероприятия по удалению твердых частиц, а при высокой сернистости топлива — по защите оборудования от коррозии.

Принципиальная схема утилизации теплоты дымовых газов для котла КБТК-100-150, работающего для закрытой системы теплоснабжения, приведена на рис. 15, а. В качестве топлива принят уголь Иртыш-Бородинского месторождения, содержание в котором серы 0,2%, окислов кальция до 26%. Предусматривается золоулавливание в типовых электрофильтрах до степени очистки 0,97-0,98 с последующим улавливанием остатка золы в скруббере с охладителем газов при форсункочном разбрзгивании орошающей воды охладительного контура в поток газов.

Производства сгорания из котла поступают в электрофильтры, затем в охладитель газов 3, в котором орошающая вода подогревается до температуры 35-55°C в зависимости от режима работы установки и схемы ее работы, при этом производства сгорания охлаждаются до 25-50°C. С целью предотвращения конденсации в дымовой трубе часть газов через байпасную линию перенаправляется мимо скрубберного охладителя. Из охладителя 3 вода циркуляционного контура с температурой 64-67°C насосом прокачивается через гравийные фильтры 4 конструкции СКБ НИИ им. Ф.Э.Дзержинского, в которых она очищается от золы и шлама, выносимых из охладителя. Для более полной очистки воды добавляется сернокислый аммоний в размере 5 мг/л. После фильтров вода подается в форсунки скруббера-подогревателя воздуха, в часть — в параллельно включенный водоводяной теплообменник 5, в котором подпиточная вода подогревается до 50°C и подается в смес в химвodoочистку.

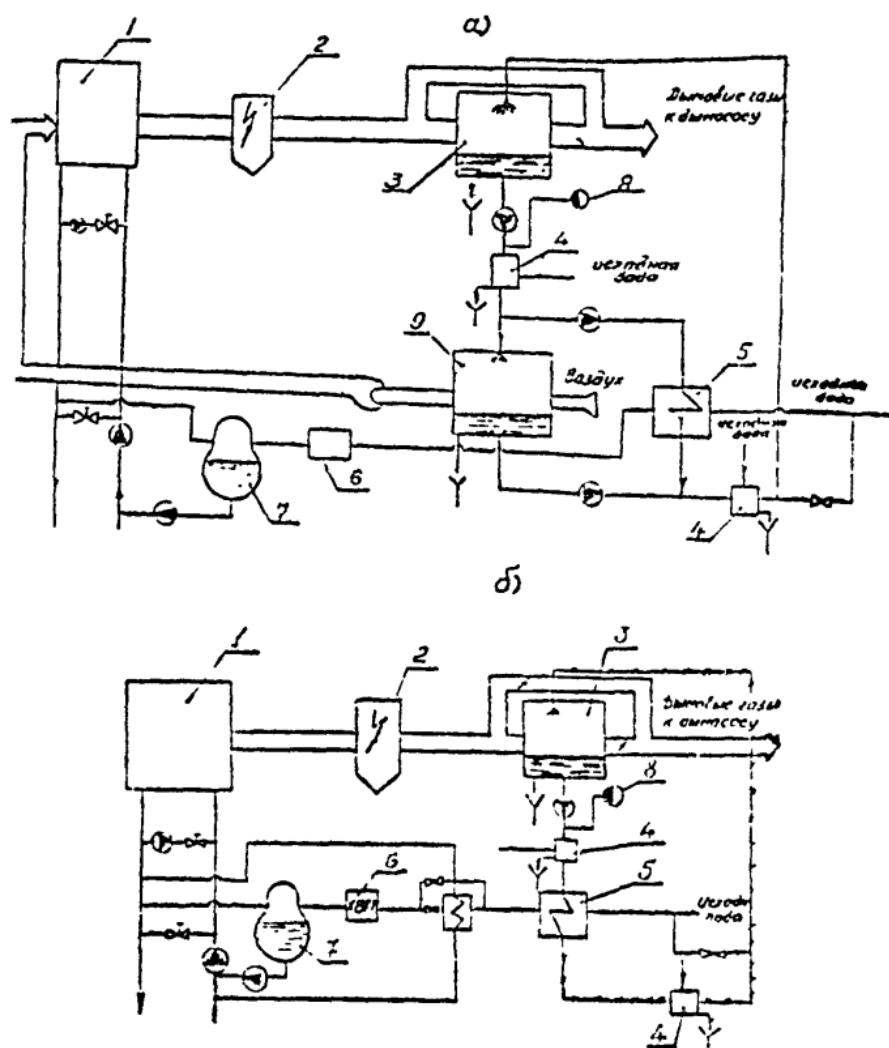


Рис. 15. Схема утилизации теплоты дымовых газов котла КТК-100-150:

а - в закрытой тепловой сети; б - в открытой тепловой сети;

1 - котел; 2 - электрофильтр; 3 - контактный охладитель газов; 4 - фильтр; 5 - теплообменник; 6 - оборудование химоочистки; 7 - деаэратор; 8 - ввод коагулянта; 9 - воздушно-подогреватель

В целях защиты от загрязнений форсунок скрубберов из нихнических точек аппаратов осуществляется дренаж пульпы в количестве около $0,03 \text{ м}^3/\text{ч}$, что компенсируется конденсируемой из газов водой. Кроме того, перед охладителем газов орошающая вода прокачивается снова через напорные фильтры 4.

Для нормальной работы системы утилизации необходимо обеспечить водно-химический режим работы циркуляционного контура, исключающий коррозию оборудования, отложение шлама и карбонатов на форсунках и поверхностях теплообменника. Отсутствие такого опыта в практике эксплуатации требует проведения специальных исследований.

В данной схеме не предусматривается специальной сероочистки в связи с низким содержанием серы в природном виде топлива. Нейтрализация этих соединений обеспечивается щелочными элементами улавливаемой в охладителе газов золы.

Для защиты от коррозии теплоутилизационного оборудования рекомендуется применение силиката лягрия, периодически дозируемого в воду циркуляционного контура, в количестве 3-5 мг/л.

Для открытой тепловой сети предлагается принципиальная схема утилизации, представленная на рис. 15,б.

Охлаждение газов производится в охладителе газов 3 до температур 23-40°C в зависимости от режима работы установки. Нагретая в скруббере 3 вода до 57-61°C поступает в напорные фильтры 4, где очищается от твердых частиц и шлама, а затем направляется в водоводящий теплообменник 5, в котором подогревается подпиточная вода. Охлажденная вода возвращается в охладитель газов при температурах около 12°C. Для открытой тепловой сети расход подпиточной воды значителен, поэтому подогрева воздуха не производится. Конструкция основного оборудования утилизации теплоты линовых газов должна быть разработана применительно к конкретным условиям.

Охладитель газов скрубберного типа имеет форсуночный разбрьязгиватель сверху, в вязу - двойной отстойник шлама совмещенный с декарбонизатором. Воздухоподогреватель скрубберного типа также с форсуночным распылением воды. Выход-

ное сечение перекрыто каплеуловителем из колец Рашита, в нижней части имеется отстойник шлама.

При оборудовании котлоагрегатов КВТК-100-150 системой утилизации теплоты уходящих газов экономия топлива за год составляет в среднем 3,9% для закрытой и 11,7% для открытой тепловой сети. Годовой экономический эффект при стоимости топлива 22 руб/т у.т. составил по расчетам 5,44 тыс. руб. для закрытой и 104,6 тыс.руб. для открытой тепловой сети.

При температуре уходящих газов выше 150⁰С может быть предложена схема, представленная на рис. I6. За котлом устанавливают два скруббера, один из которых 2 служит для очистки газов от механических примесей. Примеси выпадают в нижнюю часть и далее поступают в отстойник 5, из которого осветленная вода вновь подается на орошение в скруббер 2. Корпус скруббера покрыт слоем тепловой изоляции, поэтому дымовые газы в нем почти не охлаждаются. Затем дымовые газы поступают в скруббер 3, где отдают свою теплоту орошаемой воде. Нагретая вода насосом подается в промежуточный теплообменник 4, в котором подогревается вода для потребителя (на горячее водоснабжение, подпиточная и др.) [5].

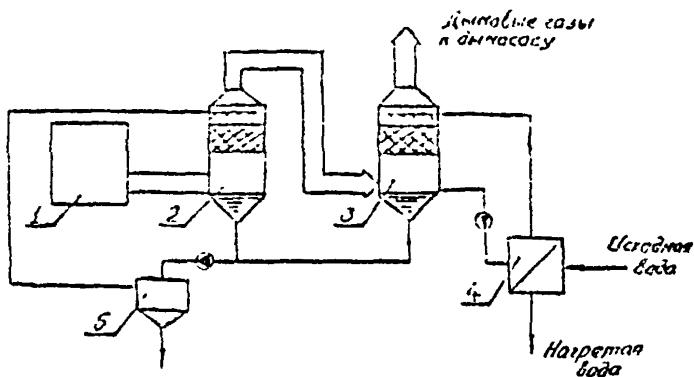


Рис. I6. Схема автоматизации теплоты дымовых газов с механическими примесями:

1 - котел; 2 - скруббер очистки газов; 3 - скруббер-утилизатор; 4 - теплообменник; 5 - отстойник

Эта схема может использоваться при технико-экономическом обосновании для продуктов сгорания с температурой 150–200°C в связи с большой металлоемкостью и повышенными капитальными затратами.

Вследствие отсутствия утилизационного оборудования конкретно для котлов малой мощности делаются попытки приспособить выпускаемые нашей промышленностью теплообменные аппараты для нужд утилизации теплоты дымовых газов в котельных. Горьковским ГПП Сантехпроект запроектированы котельные с котлоагрегатами "Братск-М", работающие на твердом топливе (турбовые проекты №№ 903-1-89, 903-1-273-89, 903-1-274-89) для закрытой системы теплоснабжения. В качестве утилизатора на дымовых газах устанавливается рекуперативный компактный теплоутилизатор малой металлоемкости из нагревательных элементов конвекторов "Комфорт-20" №№ 20-3,5Д с кожухом.

Теплоутилизаторы устанавливаются за каждым блоком котлоагрегатов "Братск-М". Дымовые газы по металлическому газоходу направляются в золоулавливающую установку, затем в теплоутилизатор, после которого дымовые газы шлюзосом подаются в дымовую трубу (рис. 17, а).

Вся масса дымовых газов с температурой 180°C при работе из каменного угля и 133°C на буром охлаждаются в теплоутилизаторе соответственно до 130 и 90°C. Теплоутилизаторы имеют замкнутый контур циркуляционной воды: теплоутилизатор–теплообменник–насос–теплоутилизатор. Циркуляционная вода нагревается с 55 до 64°C, затем охлаждается в промежуточном теплообменнике, нагревая исходную воду с 10 до 16°C.

Теплопроизводительность каждой теплоутилизационной установки составляет 0,08 МДт (0,07 Гкал/ч). Применение ее позволяет дополнительно получить около 3% тепловой энергии и соответственно сэкономить около 50 т у.т. в год.

Очистка поверхности нагрева теплоутилизатора как и для котла предусматривается методом обдувки сжатым воздухом, установка обдувки включает в себя компрессор, расширительную систему трубопроводов.

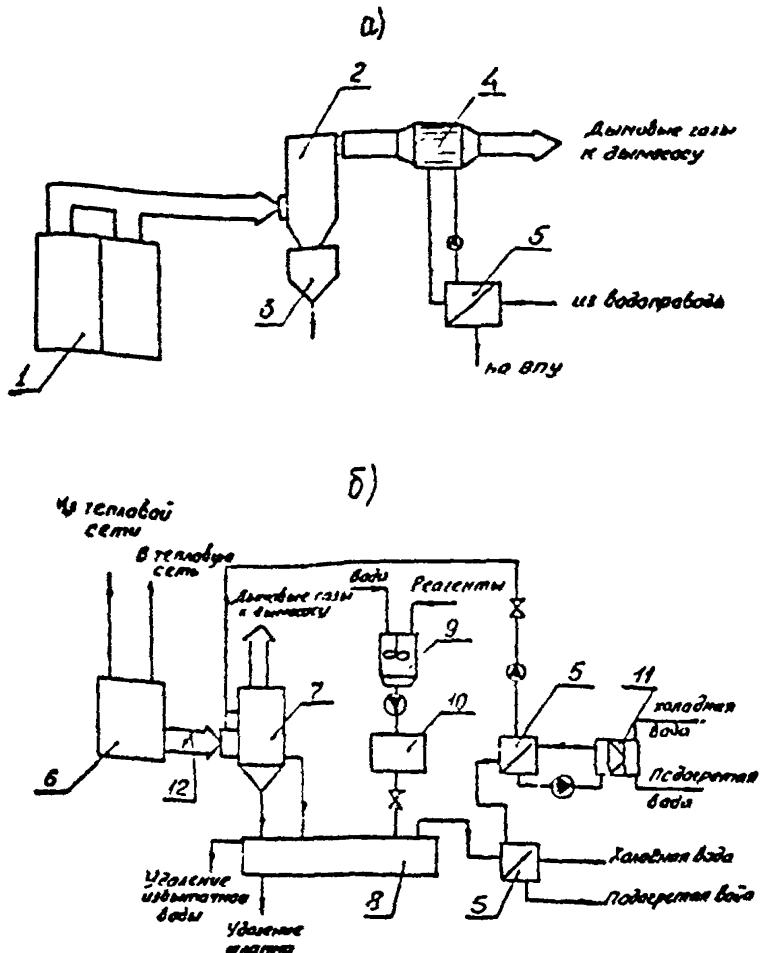


Рис. 17. Схема утилизации теплоты дымовых газов:

1 - котлов "Братск-И"; 6 - котла, работающего на буром угле; 1 - блок из двух котлов; 2 - золоуловитель; 3 - бункер для сбора волны; 4 - утилизатор; 5 - теплообменник; 6 - котел; 7 - вихревой пылесборник; 8 - отстойник; 9 - смесительный пневмозервуар; 10 - бак; 11 - тепловой насос; 12 - заслонка

Для котла, работающего в режиме 90/70°С на буром угле, предложена установка с утилизацией тепла дымовых газов и охлаждением газов от пыли и окислов серы (рис. I7,б) [18].

После котла установлен вихревой пылеуловитель 7. Продукты горения до поступления в пылеуловитель предварительно охлаждаются за счет впрыскивания воды, которая при контакте с дымовыми газами нагревается до 70–90°С. Затем дымовые газы в корпусе вихревого пылеуловителя смешиваются в турбулентном потоке с водой, содержащей нейтрализующие агенты (CaCO_3 , NaOH , NH_3). На выходе из лопаточных завихрителей в результате резкого изменения давления происходит фазовое разделение смеси. Образующаяся суспензия направляется в отстойник 8, из которого вода после охлаждения до 15–20°С снова поступает в пылеуловитель. Охлаждение производится в теплообменниках с холодной водой, затем с помощью теплоэнергетического насоса II.

Тепловая мощность котла, работающего по такой схеме, может быть увеличена на 10–60%, степень выхревывания достигает 96–98%, удаление окислов серы 73–97%. С помощью такой установки возможно утилизировать до 50% сбросной теплоты.

Для подогрева дутьевого воздуха в работе [20] использована система из двух теплообменников, установленных в трактах уходящих газов, и подачи воздуха. Теплообменники связаны трубопроводами, по которым с помощью насоса циркулирует масло. Такая система позволяет на отапливательном котле мощностью 5 МВт снизить температуру уходящих газов с 200–250 до 110–140°С в зависимости от нагрузки.

Схема установки утилизации теплоты дымовых газов и очистки их для парового котла мощностью 3,2 т/ч [17] представлена на рис. I8. Котел работает на рядовом буром угле, поэтому на установке паряду с утилизацией производится десульфуризация (90%) и обесшлакование (~95%). Расход дымовых газов через установку 7500 м³/ч. Температура газов на входе в установку 200°С. В теплообменнике 2 со стеклянными труб-

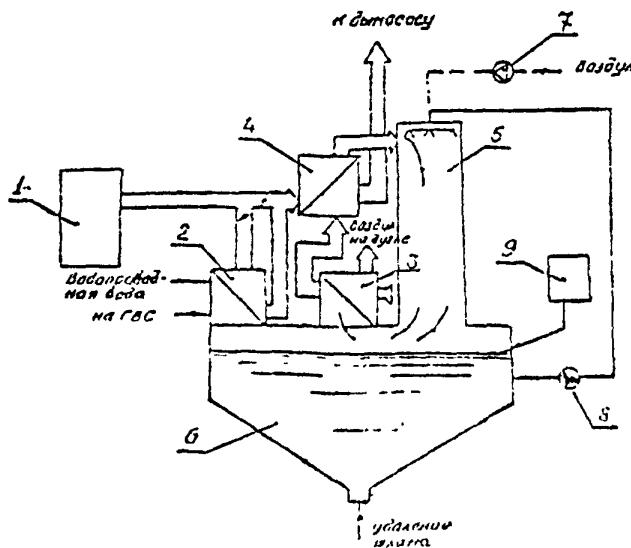


Рис. 18. Схема утилизации теплоты и очистки дымовых газов парового котла:

1 - котел; 2 - теплообменник-оксигенатор газов; 3 - вентилюююодогреватель; 4 - теплообменник-ходогреватель газов; 5 - конденсатный теплообменник; 6 - смеситель для промывочной воды; 7 - компрессор; 8 - насос; 9 - гидролизатор

баки проходит охлаждение газов на 30-60°C и нагрев воды для горячего водоснабжения на 10-30°C при расходе воды 1,2-2,5 м³/ч. Далее газы поступают в скруббер, где происходит их промывка золоизвестковой водой через сопла. Через эти же сопла для удаления сульфита кальция в сульфат компрессором подается воздух. Промывочная жидкость нейтрализуется для повышения рН. Шлам вместе с промывочной водой поступает в отстойники системы золоудаления, в который добавляется Ca(OH)₂. Очищенные дымовые газы проходят через

воздухоогретатель 3, затем поступают в теплообменник из стеклянных труб 4, где подогреваются до 75-95°С и направляются дымососом в дымовую трубу. Мощность утилизационной установки 160 кВт.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

С точки зрения защиты окружающей среды для производства тепловой энергии предпочтительно использование газа. Это позволяет избежать выбросов твердых частиц и серы, в 3-4 раза уменьшить окислы азота и вдвое окиси углерода по сравнению с сжиганием твердого и жидкого топлива. На добычу и транспортирование газа затраты на 20-30% ниже, чем на добычу и транспортирование угля, что имеет большое экономическое значение.

Средние удельные концентрации основных вредных веществ, выбрасываемых при сжигании различных топлив котельными, приведены ниже.

Зависимость удельных вредностей от вида топлива

Вредное вещество	Удельная зредность, мг/м ³ , при сжигании сжиженного топлива		
	Твердое	Газообразное	Жидкое
No:	250	150	200
SO ₂ :	2500	-	1500
CO:	3000	100	140
Твердые ча- стицы	3000	-	50
To же:	-	-	20

Из приведенных данных видно, что наибольший экономический вред может быть от выбросов котельных, работающих на твердом топливе.

Самым из основных зредных элементов топлива является сера и азотоодержащие элементы соединения. Для отходительных котельных топливо должно содержать минимальное количество

этих соединений, на практике же это часто нарушается. Десульфатация угля и жидкого топлива - это дорогостоящий процесс, в результате которого резко возрастает стоимость топлива, полной же очистки достичь невозможно. Очистка дымовых газов также требует больших капитальных вложений.

Применение утилизаторов тепла равносильно повышению КПД котельных, следствием которого является снижение расхода топлива, а пропорционально этому снижается выброс вредных веществ, т.е. практически любые мероприятия, направленные на энергосбережение, способствуют снижению поступления в атмосферу загрязняющих веществ. Задача атмосферы от загрязнения имеет не только технико-экономическое, но и большое социальное значение. Сернистый ангидрид даже в сравнительно малых концентрациях раздражающе действует на слизистые оболочки дыхательных путей человека и животных. В то же время он является ядом для многих растений. Оксид углерода и диоксид азота вступают в соединения с гемоглобином крови, и при больших концентрациях возникает угроза жизни человека. Наличие обычных для промышленных городов аэрозолей диоксида азота в сочетании с повышенной влажностью и запыленностью приводят к снижению видимости, затрудняют проникновение ультрафиолетовых лучей и снижает число солнечных дней. Выброс высокотемпературных газов и углекислого газа увеличивает "парниковый эффект".

Для улавливания золы котельные, работающие на твердом топливе, должны оборудоваться системами газоочистки. Наиболее эффективные способы - электрофильтры с КПД 97,6-99,9% - очень дороги и могут быть использованы только на крупных ТЭЦ и ГЭС.

В котельных малой мощности сухая газоочистка позволяет улавливать частицы размером 3 мкм менее 50%. Частицы из меньшего размера представляют наибольшую угрозу для здоровья, а уловить удается только порядка 10%. В котельной малой мощности с 2-3 котлами на практике часто совсем отсутствуют золоуловители.

Применение утилизации приводит к снижению температуры выброса, что, в свою очередь, вызывает увеличение приведенной концентрации вредных веществ. Для обеспечения разнонаправленной концентрации возникает необходимость снижения количества выбросов или увеличения высоты дымовой трубы, т.е. увеличения капитальных вложений, или увеличения скорости газов в устье дымовой трубы, что потребует дополнительных затрат электроэнергии.

Зависимость количества выбросов вредностей от температуры имеет вид:

$$M_2 = M_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)^{1/3}, \quad (5)$$

где M_1 и M_2 – количество вредных веществ соответственно до и после утилизации, г/с; T_1 и T_2 – температура уходящих газов до и после установки утилизаторов, $^{\circ}\text{C}$; ΔT_1 , ΔT_2 – разности температур между температурами уходящих газов и окружающим воздухом соответственно до и после установки утилизаторов, $^{\circ}\text{C}$.

Когда

$$M_2 < M_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)^{1/3}, \quad (6)$$

дополнительных затрат на обеспечение приведенной концентрации вредных веществ, создаваемой без учета выделения утилизации теплоты, не требуется.

В том случае, когда

$$M_2 > M_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)^{1/3}, \quad (7)$$

必不可免地需增加额外的设备:

увеличения высоты дымовой трубы

$$H_2 = H_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right) 1/6, \quad (8)$$

где H_1 , H_2 - высота дымовой трубы до и после утилизации, м;
изменения скорости выброса

$$W_2 = W_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \frac{T_1 \Delta T_1}{T_2 \Delta T_2}, \quad (9)$$

где W_1 , W_2 - скорость газов в устье дымовой трубы соответственно до и после утилизации, м/с; D_1 , D_2 - диаметр дымовой трубы соответственно до и после утилизации, м;
изменения диаметра трубы

$$D_2 = D_1 \left(\frac{W_1}{W_2} \frac{T_1 \Delta T_1}{T_2 \Delta T_2} \right) 1/2. \quad (10)$$

Расчетные зависимости изменения относительного количества вредных веществ и относительной высоты трубы от изменения температуры выбрасываемых газов со 150 до 40°С и при температурах окружающей среды 20, 0, -20, -40°С приведены на рис. 19.

Из приведенных графиков можно видеть, что снижение вредности на 30% позволяет снизить температуру уходящих газов примерно до 100°С, а снижение вредности на 50% - до 40-50°С без дополнительных капитальных вложений.

Снижение температуры уходящих газов без снижения объемов вредных выбросов требует увеличения высоты дымовой трубы примерно из 12-15% при снижении температуры до 100°С и на 40-50% при снижении до 50°С.

Таким образом, при снижении температуры выбрасываемых газов необходимо предусмотреть мероприятия по снижению привезенной концентрации вредных веществ. Если при проектирова-

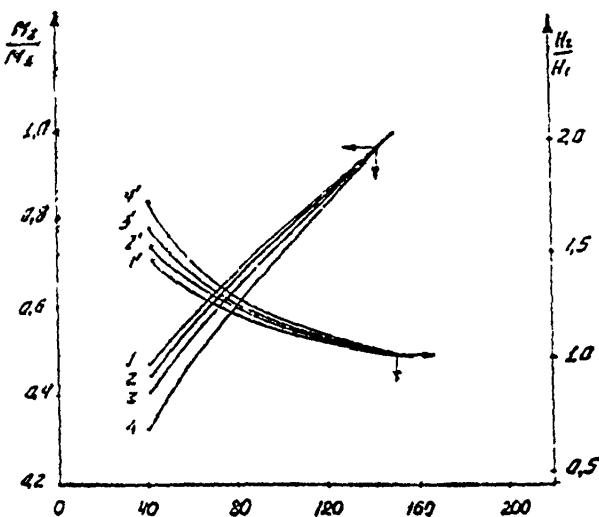


Рис. 19. Зависимость изменения относительного количества вредных веществ $\frac{M_2}{M_4}$ и относительной высоты трубы $\frac{H_2}{H_1}$ от изменения температуры уходящих газов:
1 и 1' - температура окружающей среды 20°C ; 2 и 2' - 0°C ; 3 и 3' - $(-20)^{\circ}\text{C}$; 4 и 4' - $(-40)^{\circ}\text{C}$

или нового объекта это учитывается в расчетах, то при установке теплоутилизаторов на действующих теплоэнергетических предприятиях необходимо провести проверочные расчеты и принять необходимые меры по обеспечению той же величины атмосферной концентрации, что и до установки утилизатора.

Использование контактных теплообменников с орошением дымовых газов водой позволяет снизить концентрацию вредных веществ, растворенных в воде, и твердых включений.

При сжигании газообразного топлива образуется диоксид NO_2 , моноксид азота NO . Диоксид азота, имеющий в 7,6 раза большую токсичность, чемmonoоксид, полностью растворим в воде. Monoоксид имеет растворимость 7,38 мл/100 г при 0°C, снижается с увеличением температуры и при 100°C его растворимость 2,6 мл/100 г [3].

Исследования, проведенные на контактном экономайзере за котлом ДКР-10-13, показали, что вnomинальном режиме пачки контактного экономайзера через него проходило 10 тыс. м³/ч газов, из которых растворялось до 700 г/т monoоксида азота. При содержании оксидов азота в уходящих газах около 160-170 мг/m³ содержалось NO_2 и до 150 мг/m³ NO . После прохождения через контактный экономайзер концентрация NO_2 в газах была близка к нулю, а monoоксида - снизилась до 65-70 мг/m³.

Эффективность использования контактного аппарата для очистки выбросов соединений азота может быть определена:

$$\varphi_{\text{оч}} = \left[\left(\frac{[\text{NO}]}{\text{ПДК}_{\text{NO}}^{\text{возд}}} + \frac{[\text{NO}_2]}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}^{\text{возд}}} \right) \left(\frac{[\text{NO}]}{\text{ПДК}_{\text{NO}}^{\text{возд}}} + \frac{[\text{NO}_2]}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}^{\text{возд}}} \right)^{-1} \right]. \quad (\text{II})$$

Годовой экономический ущерб, предотвращаемый в результате снижения вредных выбросов в окружающую среду источником, можно определить по укрупненным данным [10]:

$$\Delta \Pi = f \cdot \sigma \cdot \text{ам}, \quad (\text{II})$$

где f - константа, численное значение которой для атмосферы равно 2,4 руб/ усл.т; σ - безразмерный показатель относительной опасности загрязнения; f - коэффициент, учитывающий характер рассеивания загрязняющих выбросов; $\Delta \Pi$ - снижение приведенной массы выбросов в окружающую среду, усл.т.

Значения показателя δ относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над территориями различного функционального назначения приведены ниже.

<u>Функциональное назначение</u> <u>загрязнения:</u> <u>территории</u>	<u>Значение δ</u>
Курортов, санаториев, заповедников, заказников, природных зон отдыха, садовых и дачных кооперативов и твориществ, а также населенных пунктов со средней плотностью населения выше 50 чел./Га . . . 8	
Промышленных предприятий, промузлов, высокая загрязненная зона, а также населенные пункты с плотностью населения ниже 50 чел./Га . . . 4	
Лесов и сельскохозяйственных угодий . . . 0,4	

Значения коэффициента f в зависимости от высоты источника загрязнения H и среднегодового значения разности температур в узле источника и в окружающей атмосфере ΔT приведены ниже.

<u>$\Delta T, ^\circ C$</u>	<u>Значение коэффициента f</u> <u>при высоте $H, м$</u>			
	<u>до 20</u>	<u>20-100</u>	<u>101-300</u>	<u>свыше 300</u>
25-50	0,9	0,6	0,3	0,2
50-150	3,7	3,3	1,8	0,3
Свыше 150	3,5	2,4	1,4	0,7
	0,7	0,2	0,1	0,1
	3,3	2,2	1,2	0,3

П р и м е ч а н и е. При выбросе пыли после очистки: с коэффициентом улавливания выше 90% принимаются значения f , стоящие в числителе; с коэффициентом улавливания 70-90% - значения f , стоящие в знаменателе; с коэффициентом улавливания до 70% - значения f , равные 10.

Величину снижения приведенной массы выброса загрязняющего вещества в окружающую среду определяют по формуле

$$\Delta m = m_1 - m_2. \quad (13)$$

где m_1 и m_2 — приведенные массы выброса вещества источником загрязнения до и после ввода в действие сооружения, усл.т.

Величины приведенных масс выброса загрязняющих веществ определяют по формулам:

$$m_1 = \sum_{i=1}^n A_i M_i; \quad (14)$$

$$m_2 = \sum_{i=1}^n A_i \bar{M}_i,$$

где A_i — показатель относительной агрессивности сбрасываемого вещества, усл.т.; M_i , \bar{M}_i — массы сброса загрязненного вещества до и после ввода в действие сооружения, т/год; i — количество видов загрязняющих веществ.

Значения величины A для некоторых веществ, выбрасываемых в атмосферу, приведены ниже.

<u>Вещество</u>	<u>Δ усл.т/т</u>
Окись углерода	1
Сернистый ангидрид SO_2	.22
Серная кислота, ангидрид SO_3	.49
Окислы азота в пересчёте (по массе) на NO_2	.41,1
3-4-бенз(а)пирен	.12,6x10 ⁵
Сахар без примесей	.41,5
Птицокись вапния	.1225

Приимеч. Указанные значения A соответствуют случаю выброса примесей в зонах с количеством осадков свыше 400 мм в год. В более засушливых районах эти значения следует увеличить в 1,2 раза для всех твердых аэрозолей.

На основе экспериментальных данных [3] и приведенных на стр. 70 и формул (12-14) определены величины снижения

выбросов вредных веществ для газовых котлов типа КНГМ, оснащенных теплоутилизаторами типа КТАП (табл. 12). Учитывая, что при конденсации влаги из дымовых газов образуется около 1 кг/м³ воды, а предельная растворимость около 0,11 г/л, можно полагать, что при тех же условиях для конденсационных теплоутилизаторов на базе биметаллических калориферов типа КСК результаты будут близки к данным, полученным для контактных теплоутилизаторов. Более точные данные могут быть получены экспериментальным путем.

Таблица 12
Экологические показатели контактных
утилизаторов

Марка котло- агрегата	Масса выброса вещества, усл. т/год		Сниже- ние мас- си вы- броса ΔM, усл. т/год	Предотвра- щенный го- довой эко- номический ущерб, руб.
	до установки утилизатора M ₁	после установки утилизатора M ₂		
КГМ-4-150	18,15	8,2	9,95	76,4
КГМ-6,5-150	28,4	13	15,4	118,3
КГМ-10-150	44,8	20,6	24,2	185,9
КГМ-20-150	89,1	41,2	47,9	367,9
КГМ-30-150	137,4	63,1	74,3	570,6
КГМ-50-150	236,6	108,2	128,4	986,1
КГМ-100-150	449	181,5	267,5	2054,4

Отношение M₂/M₁ составляет в среднем 0,7, что согласно рис. 19 позволяет снизить температуру уходящих газов до 90°C без увеличения приземной концентрации.

Средняя величина относительного снижения головой массы выбросов составила 0,056 т/МВт мощности котлоагрегата, величина предотвращенного годового экономического ущерба 16,4 руб/МВт.

Анализ взаимозависимости процессов утилизации тепловой энергии и выбросов вредных веществ показывает необходимость в каждом конкретном случае обоснования применения утилизаторов как с экономической, так и экологической точки зрения.

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УТИЛИЗАТОРОВ ТЕПЛОТЫ

Максимальное количество теплоты, которое может быть утилизировано при работе теплоутилизационных установок на уходящих газах, примерно равно энталпии уходящих газов.

Действительное количество использованной теплоты всегда меньше энталпии газов, что объясняется преимущественно невозможностью охлаждения газов ниже температуры поступающего в теплоутилизатор нагреваемого теплоносителя и ограничением по соображениям надежности утилизационного оборудования из-за коррозионных процессов.

Коэффициент полезного действия утилизаторов может быть оценен:

$$\eta_{yr} = \frac{I' - I'' - q_n}{I'}, \quad (I5)$$

где I' и I'' – соответственно значения энталпии дымовых газов на входе и выходе из утилизатора, ккал/кг; q_n – удельные потери теплоты на 1 кг сухих газов, могут быть приняты не более 1% от энталпии отходящих газов.

Если принять, что массовая теплоемкость меняется незначительно в пределах утилизируемых температур газа, тогда

$$\eta_{yr} = \frac{0.99(t' - t'')}{t'} = 0.99\left(1 - \frac{t''}{t'}\right), \quad (I6)$$

где t' , t'' – температуры газов соответственно на входе и выходе из утилизатора.

Выбор утилизационного оборудования производится по технико-экономическим расчетам с учетом целесообразности и возможности использования утилизированной теплоты.

Однако могут быть случаи, когда оптимальный по экономике теплоты вариант энергосберегающего решения осуществить невозможно по ряду причин:

оптимальная по расчетам величина утилизированной теплоты невозможна в связи с отсутствием необходимого по параметрам утилизационного оборудования в унифицированном ряду;

конструктивно невозможна установка утилизатора при оптимальном варианте;

экономически наиболее целесообразный вариант недопустим по гигиеническим или экологическим соображениям;

при эксплуатации выбранного оптимального варианта утилизатора срок службы может быть значительно сокращен за счет агрессивного воздействия сред.

Кроме того, приведенные затраты на стадии проектирования могут отличаться от фактических при осуществлении или эксплуатации установки (например, могут изменяться цены на оборудование и материалы, топливо, условия выполнения монтажных работ и др.). Поэтому при проведении технико-экономических расчетов целесообразно выявить не только оптимальные решения, но и определить интервал экономически допустимых вариантов, что позволяет принять правильное с экономической точки зрения решение при несовпадении практических условий с оптимальными.

Технико-экономические расчеты для выбора теплоутилизационного оборудования проводят по минимуму приведенных затрат:

$$\mathcal{E} = \Delta \Pi - E_H K, \quad (17)$$

где \mathcal{E} - годовой экономический эффект, руб.; $\Delta \Pi$ - годовая экономия затрат, руб.; E_H - нормативный коэффициент экономической эффективности ($E_H = 0,15$); K - дополнительные капитальные вложения, руб.;

$$\Pi = \Pi_B - \Pi_{\text{год}}, \quad (18)$$

где Π_B - экономия топлива, руб.; $\Pi_{\text{год}}$ - сумма дополнительных затрат на электроэнергию, amortизацию, текущий ремонт

$$\Pi_B = \Delta B U_T . \quad (19)$$

где ΔB - годовая экономия топлива, $\text{м}^3/\text{т}$; U_T - стоимость топлива, руб./ м^3 (т).

Амортизационные отчисления определяются в соответствии с нормами Госплана СССР, %: здания и сооружения - 2,6, оборудование с монтажом для котельных, работающих на мало-аргильном твердом топливе, - 8,5, при сжигании высокосернистого мазута-II,9, при работе на газе - 6,8.

Затраты на текущий ремонт принимают в размере 20% суммы амортизационных отчислений.

Окупаемость дополнительных капитальных вложений определяют по соотношению

$$T_{OK} = K / \Delta \Pi . \quad (20)$$

Экономию топлива определяют по формуле

$$B = 0,00194 Q_u / \dot{Q}_{ut} = 0,00194 Q_{ut}, \quad (21)$$

где Q_u - возможное использование теплоты уходящих газов, ГДж; Q_{ut} - количество утилизированной теплоты, ГДж; \dot{Q}_{ut} - КПД утилизационной установки; 0,00194 - коэффициент эквивалентного перевода (т.е. 1 ГДж эквивалентен 0,00194 т усл.т.).

Количество нагреваемой воды в утилизационной установке

$$G_B = \frac{V_r (t_b' - t_b'')} {(t_b'' - t_b') C_B} \ell_{oc} , \quad (22)$$

где V_r - расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; t_b' и t_b'' - соответственно начальная и конечная температуры воды, $^{\circ}\text{C}$; C_B - теплоемкость воды, кДж/кг. $^{\circ}\text{C}$; ℓ_{oc} - коэффициент истерь теплоты в окружающую среду утилизационной установкой.

Количество воздуха, нагреваемого в утилизационной установке

$$G_{b3} = \frac{v_p (J' - J'')} {(t''_{b3} - t'_b) C_{b3}} Q_{ac}, \quad (23)$$

где t'_b , t''_{b3} – соответственно начальная и конечная температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$; C_{b3} – теплоемкость воздуха, кДж/кг. $^{\circ}\text{C}$.

Основные затраты на установку утилизатора в год:

$$Z = K (E_H + m_a + m_{t.p.}), \quad (24)$$

где К – капитальные вложения, включающие стоимость утилизатора, стоимость монтажных работ, дополнительных строительных работ и заработка платы (при необходимости дополнительного обслуживающего персонала).

Расход электроэнергии на эксплуатацию установленного теплоутилизатора

$$Z_3 = \Delta N_3 \cdot T \cdot \Pi_3, \quad (25)$$

где ΔN_3 – дополнительная мощность на перекачку теплоносителя и преодоление аэродинамического сопротивления теплоутилизатора, кВт; T .. число часов работы утилизатора в году, ч; Π_3 – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч.

При проектировании утилизационное оборудование обычно выбирается исходя из экономического эффекта как разности затрат для базового и предполагаемого вариантов. За базовый вариант целесообразно принять систему без утилизации теплоты либо один из рассматриваемых вариантов утилизации.

Существенным фактором, определяющим экономичность теплоутилизаторов, является их материалоемкость.

В процессе проектирования котлоагрегатов с теплоутилизаторами определение экономической эффективности капитальных вложений и срока окупаемости может производиться исходя из замыкаемых затрат на топливо. В этом случае срок окупаемости может быть значительно ниже нормативной величины.

При проведении мероприятий по энергосбережению на действующем предприятии с помощью установки утилизаторов технико-экономические расчеты основывают на стоимости по действующему прейскуранту, в котором стоимость теплоты значительно ниже замыкающих затрат. Поэтому результаты расчетов при новом строительстве и реконструкции действующих предприятий могут быть различными.

В условиях хозрасчета предприятия выгодно внедрять только те энергосберегающие мероприятия, которые обеспечивают повышение рентабельности на ближайшую перспективу.

В связи с нестабильностью цен на топливо и оборудование, связанный с изменениями в экономике, целесообразно в качестве критерия эффективности применения утилизаторов использовать удельные годовые расходы электроэнергии, удельные капитальные вложения и удельную экономическую эффективность. Проведено технико-экономическое сравнение вариантов применения КТАлов и конденсационных теплообменников с билатеральными трубками типа КСК.

Графики изменения удельных величин затрат на топку скомпенсированного условного топлива в зависимости от мощности теплоисточника представлены на рис. 20. Как видно из графиков, все расчетные кривые удельных расходов электроэнергии, эксплуатационных расходов, капитальныхложений для мощностей котловых 4,65-116,3 МВт лежат ниже для конденсационных теплообменников, чем для КТАлов, только кривая удельной экономической эффективности идет выше. Из этого следует, что применение конденсационных теплообменников более эффективно для котлов малой мощности, чем установок с КТАами. Причем надежность при эксплуатации утилизационного оборудования также будет выше вследствие отсутствия дополнительных контуров циркуляции с насосами и арматурой.

Следует иметь в виду, что все расчеты по конденсационным теплообменникам были сделаны ориентировочно, в каждом конкретном случае должны быть учтены местные условия, температура нагреваемой воды, теплотворная способность газа, КПД котла, возможности размещения оборудования за котлами и другие особенности.

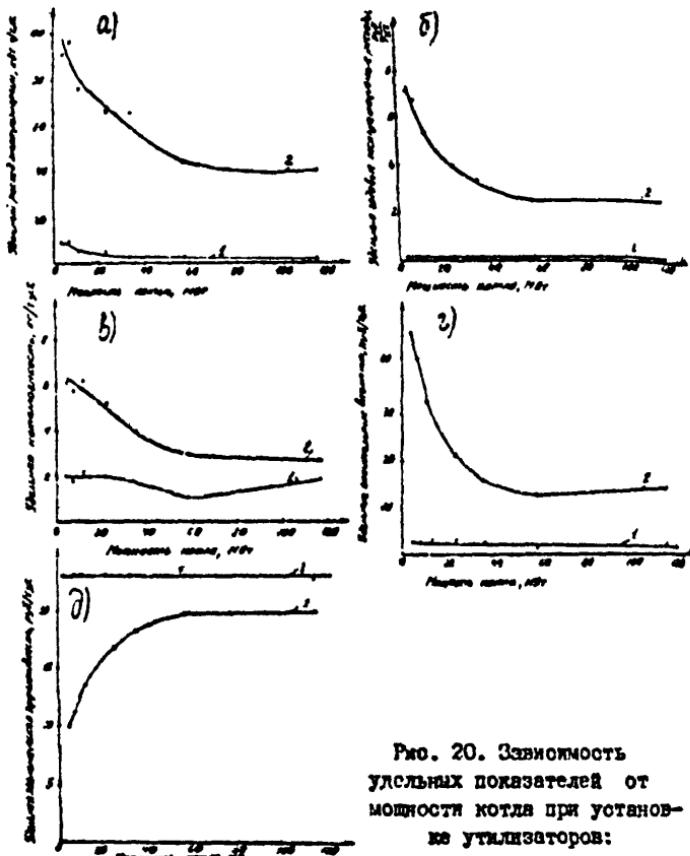


Рис. 20. Зависимость
удельных показателей от
мощности котла при установ-
ке утилизаторов:

а - электроэнергии; б - го-
ловых эксплуатационных расходов;
в - металлоемкости ути-
лизаторов; г - капитальных вложений в установку утилизаторов;
д - экономической эффективности утилизаторов; 1 -
тип АСК; 2 - тип КТАИ

Сопоставление различных вариантов может быть проведено по удельным показателям энерго- и материалоемкости. С учетом того, что для выработки электроэнергии и производства металла также расходуется топливо, любое снижение показателей прежде всего приведет к снижению затрат на добычу топлива и производства электроэнергии.

Опыт свидетельствует, что в условиях нормальной экономической деятельности мероприятия, проводимые на существующем оборудовании в целях рационального использования топливно-энергетических ресурсов, окупаются примерно в течение двух лет, тогда как капиталовложения в добывающую промышленность и в энергетику - за 15-17 лет. Хотя мероприятия по энергосбережению со временем становятся все дороже, тем не менее они являются более рентабельными, чем дополнительное производство теплоносителей.

Достаточно сказать, что в нашей стране единовременные затраты предпринятий топливодобывающей и его транспорта находятся на уровне 170-200 руб., тогда как капиталовложения в утилизацию - около 30 руб./т у.т. Приведение в соответствие цен на топливо и тепловую энергию резко повышает экономичность применения теплоутилизаторов в котельных.

Несобходимым условием широкого внедрения мероприятий по утилизации тепла ламовых газов на котельных является разработка типовых схем использования утилизационной теплоты, особенно на котельных, работающих на закрытых системах теплоснабжения, разработка компактных теплоутилизаторов для всех мощностей котлов, создание предприятий по выпуску энергосберегающего оборудования, рынка этого оборудования и специализированных организаций по оказанию услуг в энергосбережении.

Во всех случаях большое значение должно придаваться экологическим факторам как при разработке нового, так и при установке существующего утилизационного оборудования. Наряду с критериями экономическими и материальными при выборе утилизационного оборудования следует руководствоваться экологическим критерием, в качестве которого может выступать

относительная величина снижения годовой массы вредных выбросов

$$\Delta \bar{M} = \Delta M / Q_K \quad (26)$$

и относительная величина годового экономического ущерба, предотвращаемого в результате снижения выброса вредных веществ в окружающую среду

$$\bar{\Pi} = \Pi / Q_K , \quad (27)$$

где Q_K - мощность теплоизлучения, МВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1208409, МКИ Г 22В 37/54 Г 28с 3/08. Котельная установка / Дружин А.В., Головач К.Г., Родин В.Г., Мягтонин А.И. (СССР). Заявл. 16.08.84 № 3781437/24-06. Бол. № 4 // Открытия. Изобретения.- 1986.
2. Аронов И. З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа.- Л.: Наука, 1978.
3. Аронов И. З., Сигал А. И. Установки контактных экономайзеров с целью снижения выбросов оксидов азота с дымовыми газами // Химическая технология.- 1988.- № 1.- С. 68-70.
4. Баранов Е. П., Бухаркин Е. Н., Куттирюк В. В. Опыт использования вторичных энергоресурсов в производственной котельной // Промышленная энергетика.- 1988.- № 1.- С. 21-22.
5. Богуславский Л. Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции.- М.: Стройиздат, 1985.
6. Имен И., Царс А. и др. Использование теплоты конденсации водяных паров в мазутных отопительных котлах // Энергетика.- 1987, 38.- № 4.- С. 14-16.
7. Корняков А. Б., Цермяков А. Б. Применение воздухонагревателей из стеклянных труб с целью экономии топлива в котельных / В сб. "Повышение эффективности теплоэнергетических установок".- Калинин, 1987.
8. Методические рекомендации по проектированию контактно-экономайзерных установок в газифицированных котельных.- Киев: ГНІІСТ, 1985.
9. Чечев П., Бруков И., Милачков І. Утилизация на отпадка топлива от хлебопекарни пшени через теплообменник с топливни трубки // Енергетика.-1987, 38.-№4.- С. 24-25.
10. Пособие по составлению раздела проекта (рабочего проекта "Охрана окружающей природной среды" к СНиП I.02.01-85). М.: ЦНИИпроект, 1988.

11. Строительный каталог СК-8. Инженерное оборудование зданий и сооружений.- М., 1990.

12. Строительство и архитектура: Экспресс-информация, Вып. 6.- Сер. 3. Инженерное обеспечение объектов строительства. Зарубежный опыт.- М., 1982.

13. Теллообогонники контактные с активной пастойкой (КТАП) для котлов теплопроизводительностью 0,2-116 МВт, работающих на природном газе: Каталог.- Рига, 1987.

14. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие. Под ред. Л.Д. Богуславского и В.И. Ливчака.- М.: Стройиздат, 1990.- 624 с.

15. Erfahrungen bei der Abwärmenutzung mit CRC-Stahlzügen H.R. Brügelmann, Butzbach, Breuerleff - Karlsruhe - Heft 1983, 40. - N 9 - P 334-335

16. CALCOND reduziert die Flurkosten und cutt-Castit die Umwelt. Parische R. Int.-Abwärme-Blatt 1980-N 6, 62.

17. Rundgasreinigung und Wärmetauscheranwendung an 3,2 t/h-Längströhren. Baker C.H. Energiesparanwendung - 1983, 38. - N 1 - P 28-29.

18. Raumheizungsanfertigung und Abwärmenutzung in kaufmännischen Betriebsstätten // Energiesparanwendung. - 1987, 36. - N 2. - P 51-53.

19. Verio-Brennwerkeinsatz für die Zentrale zum Umweltschutz. Langmeyer H. // Energy und Umwelt Teheranstechnik. - 1983, 26. - N 2. - P 54-55

20. Oververwarmde verbrandingsstukken kan worden. afdel Zijl en Lekkers. J. verbranding en verhitte. - 1986. - N 9. - P 631-643