ТИПОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

903-01-258.87

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОТЕЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЭЦ С ПРИМЕНЕНИЕМ КТАНов-УТИЛИЗАТОРОВ

Альбом I

Разработаны
проектным институтом
"Латтяжпромпроект"

Материалы утверждены
Госстроем Латвийской ССР.
Приказ от 22.01.88 № II

Главный инженер института В.Овчаров
Главный инженер проекта Н.Кириллова

© ЦИТП Госстроя СССР, 1988

22967-01 2

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Введение	6
2. Описание конструкции и работы КТАНа	8
3. Описание типоряда КТАНов-утилизаторов	I4
3.I. Номенклатура типового ряда КТАНов-утилизаторов и рекомендации по комплектации КТАНами котлов	I5
3.2. Конструктивные решения типового ряда КТАНов-утилизаторов	20
3.2.I. Активная насадка	20
3.2.2. Орошающая камера	23
3.2.3. Сепарационное устройство	24
4. Рекомендации по установке КТАНов в котельных	42
4.I. Общие принципы проектирования	43
4.2. Определение потребителей теплоты КТАНов в котельных	45
4.3. Методика поверочного теплового расчёта КТАНов-утилизаторов	6I
4.3.I. Исходные данные для поверочного теплового расчёта	6I
4.3.2. Расчёт параметров дымовых газов на входе в КТАН	62
4.3.3. Теплобалансовый расчёт	64
4.3.4. Расчёт поверхности теплообмена	69
4.3.5. Поверочный тепловой расчёт КТАНов на ЭВМ	83

Стр.

4.4. Аэродинамический расчёт газового тракта котлоагрегатов при установке КТАНов: 85

4.4.I. Методика аэродинамического расчёта 85

4.4.2. Методика расчёта аэродинамического сопротивления КТАНов 90

4.4.3. Пример расчёта аэродинамического сопротивления КТАна – 4,5УГ 94

4.5. Рекомендации по проектированию контура орошающей воды: 96

4.5.I. Условия циркуляции орошающей воды 96

4.5.2. Выбор бака орошающей воды I02

4.6. Методика гидравлического расчёта блока насадки КТАНов из типоряда I04

4.7. Работа КТАНов-утилизаторов в газо-мазутных котельных I06

4.8. Установка взрывных клапанов, лестниц и площадок для обслуживания II0

5. Работа дымовых труб котельных при установке КТАНов-утилизаторов: III

5.I. Характеристика проблемы II2

5.2. Способы предотвращения конденсации влаги из дымовых газов на внутренних поверхностях газоходов и дымовых труб II2

5.3. Методика определения условий возникновения конденсации в дымовой трубе II4

Стр.

5.4. Типовые условия работы КТАНов в котельных и возможность работы при этом дымовых труб в режимах без конденсации влаги II9

5.5. Режимы работы котлов с КТАНами в разрезе года I20

5.6. Выводы I24

6. Рекомендации по определению экономической эффективности при установке КТАНов: I26

6.I. Общие принципы определения экономической эффективности I27

6.2. Определение капитальных вложений и годовых эксплуатационных расходов по варианту с использованием ВЭР: I29

6.2.I. Определение капитальных вложений I29

6.2.2. Определение годовых эксплуатационных расходов I30

6.3. Определение приведенных затрат по базисному варианту I3I

6.4. Определение хозрасчётного экономического эффекта I33

7. Примеры выполнения поверочного теплового расчёта I34

8. Пример аэродинамического расчёта газового тракта котла с КТАНом I46

		Стр.
9.	Пример расчета экономической эффективности при установке КТАНа	I64
	9.I. Определение годового количества утилизированной теплоты и топлива	I65
	9.2. Определение дополнительного расхода электроэнергии	I66
	9.3. Определение экономической эффективности	I67
	9.3.I. Определение капитальных вложений	I67
	9.3.2. Определение годовых эксплуатационных расходов и приведенных затрат	I68
	9.3.3. Определение экономического эффекта	I69
I0.	Изменение выходных параметров теплоносителей при изменении входных параметров теплоносителей в КТАНе-утилизаторе	I70
II.	Литература	I79
	Приложение I. Каплеулавливание в КТАНах	I82

I. ВВЕДЕНИЕ

Отопительные и производственно-отопительные котельные и промышленные ТЭЦ, работающие на природном газе, теряют с уходящими продуктами сгорания топлива значительное количество теплоты. В атмосферу даже в лучших котельных с дымовыми газами выбрасываются не менее 13-18% теплоты, в том числе за счет скрытой теплоты водяных паров, содержащихся в газах, порядка 10-13%. Снижение этих потерь посредством установки утилизационных рекуперативных теплообменников весьма затруднительно и экономически не оправдано из-за больших габаритов, металлоёмкости и высокой стоимости этого оборудования.

Проблему более эффективного использования теплоты уходящих дымовых газов газифицированных котельных и промышленных ТЭЦ, существенного снижения потери теплоты с уходящими газами и соответствующего снижения расхода природного газа можно решить путём установки в котельных контактных аппаратов.

При охлаждении дымовых газов в контактных аппаратах экономия теплоты образуется как за счёт снижения температуры дымовых газов, так и за счёт теплоты конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах. При сжигании жидкого или твердого топлива, содержащего сернистые соединения, необходимо учитывать, что охлаждение дымовых газов ниже точки росы приводит к конденсации паров серной кислоты. Поэтому при утилизации теплоты отходящих дымовых газов при сжигании этих видов топлива одновременно приходится решать вопросы борьбы с коррозией и проблемы, связанные нейтрализацией и удалением образующихся кислых стоков. Решение этих проблем находится только в стадии исследований, поэтому

широкое внедрение контактных аппаратов для утилизации теплоты дымовых газов котельных рекомендуется в настоящее время только для газифицированных котельных.

Институтом "Латгипропром" совместно с Рижским политехническим институтом (РПИ) разработан новый тип контактных аппаратов - КТАНов (контактный теплообменник с активной насадкой).

КТАНы предназначаются для нагрева воды для различных нужд в температурном диапазоне от 5 до 50°С. КТАНы могут быть установлены в любой котельной, работающей на природном газе.

Применение КТАНов в газифицированных котельных позволяет повысить эффективность использования природного газа до 12% в зависимости от наличия потребителей горячей воды с температурой до 50°С.

С 1987 года Ленинабадским заводом газоаппаратуры ВНПО "Союзпромгаз" начато серийное производство КТАНов-утилизаторов.

Первым серийно выпускаемым КТАНом является КТАН-0,8УГ.

До освоения серийного выпуска КТАНов других типоразмеров они могут быть изготовлены как нестандартизированное оборудование по рабочей документации, выполненной институтом "Латгипропром" Госстроя Латвийской ССР, представленной в серии 5.903-9 "Теплообменники контактные КТАН" выпуски 0,I...I0.

Институтом "Латгипропром" разработаны типовые проектные решения по утилизации теплоты дымовых газов в котельных с котлами КВ-ГМ и ДЕ, серийно выпускаемыми промышленностью, "Установка контактных теплообменников для утилизации теплоты дымовых газов (типа КТАН) в котельных с котлами КВ-ГМ и ДЕ" ТПР 903-I-0255.I.87... ТПР 903-I-0255.9.87; ТПР 903-I-0256.I-87; 903-I-0256.2.87; ТПР 903-I-0257-87.

Копировал Формат А4 22967-01 8 Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

2. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ КТАНа

Копировал 22967-01 9 Формат А4

Контактный теплообменник с активной насадкой является аппаратом рекуперативно-смесительного типа. Он предназначен для утилизации теплоты дымовых газов.

КТАН состоит из корпуса, изготавливаемого из листовой стали, орошающей камеры, активной насадки, выполненной в виде пучка труб, с циркулирующим в них теплоносителем, и сепарационного устройства (рис.2.I).

В КТАНе организуются два независимых друг от друга потока воды: чистой воды, подогреваемой через поверхность активной насадки, и воды, которая нагревается в результате непосредственного контакта с уходящими дымовыми газами. Чистый поток воды протекает внутри трубок и отделен стенками трубок от загрязненной орошающей воды.

Через систему орошения, представляющую собой блок форсунок, распыливается орошающая вода. В результате непосредственного контакта с уходящими дымовыми газами, проходящими через орошающую камеру, вода нагревается. Поток орошающей воды используется для интенсификации передачи теплоты от дымовых газов чистому потоку воды, который протекает внутри трубок активной насадки.

Пучок трубок выполняет функцию насадки, предназначенной для создания развитой поверхности контакта орошающей воды и дымовых газов. Одновременно такая поверхность, внутри которой циркулирует вода, участвует в теплообмене и в этом отношении является активной по сравнению с традиционными насадками (из колец Рашига, например).

Наружная поверхность активной насадки в КТАНе омывается дымовыми газами и орошается водой, что интенсифицирует теплообмен в насадке.

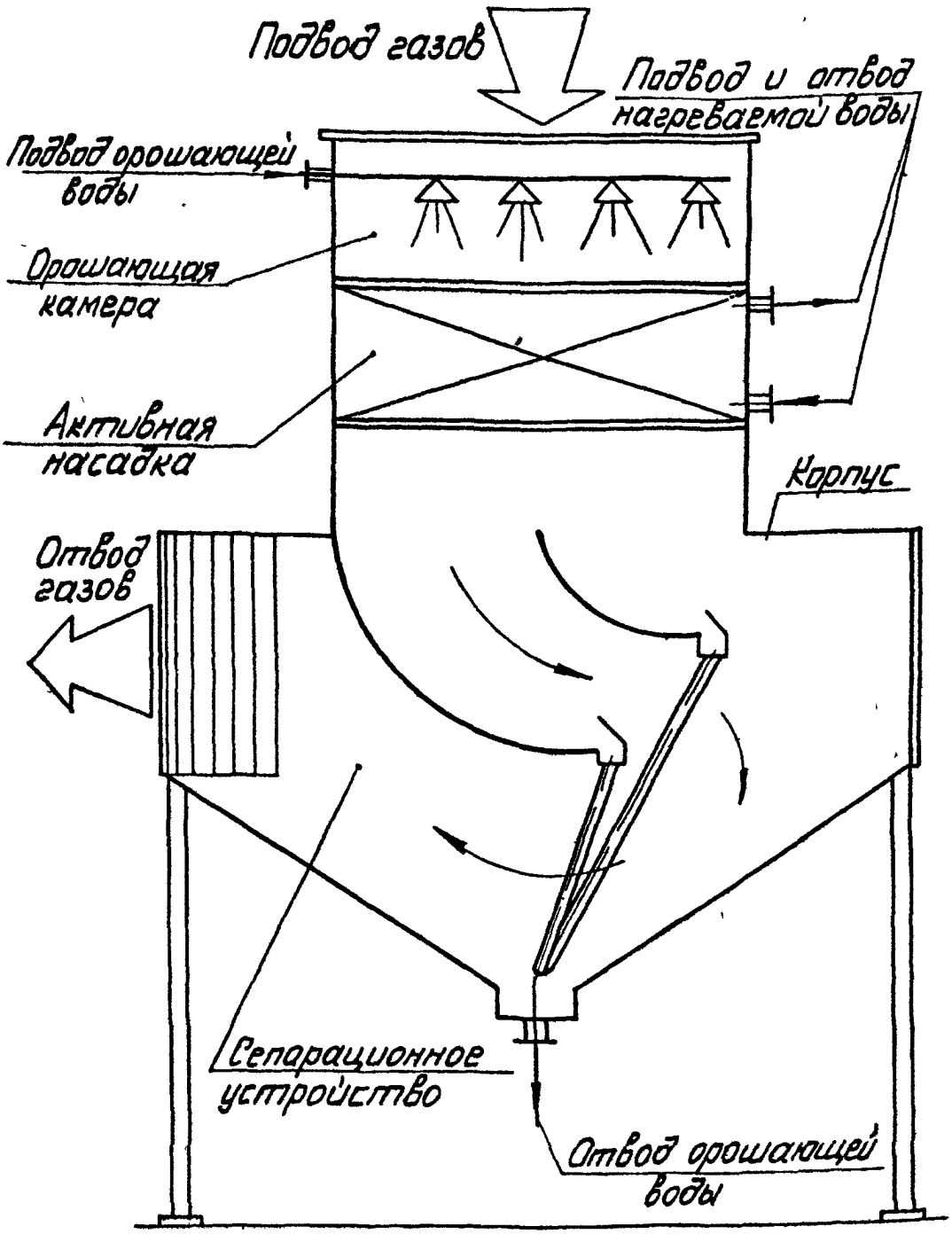


Рис. 2.1 Принципиальная схема КТАНа-утилизатора

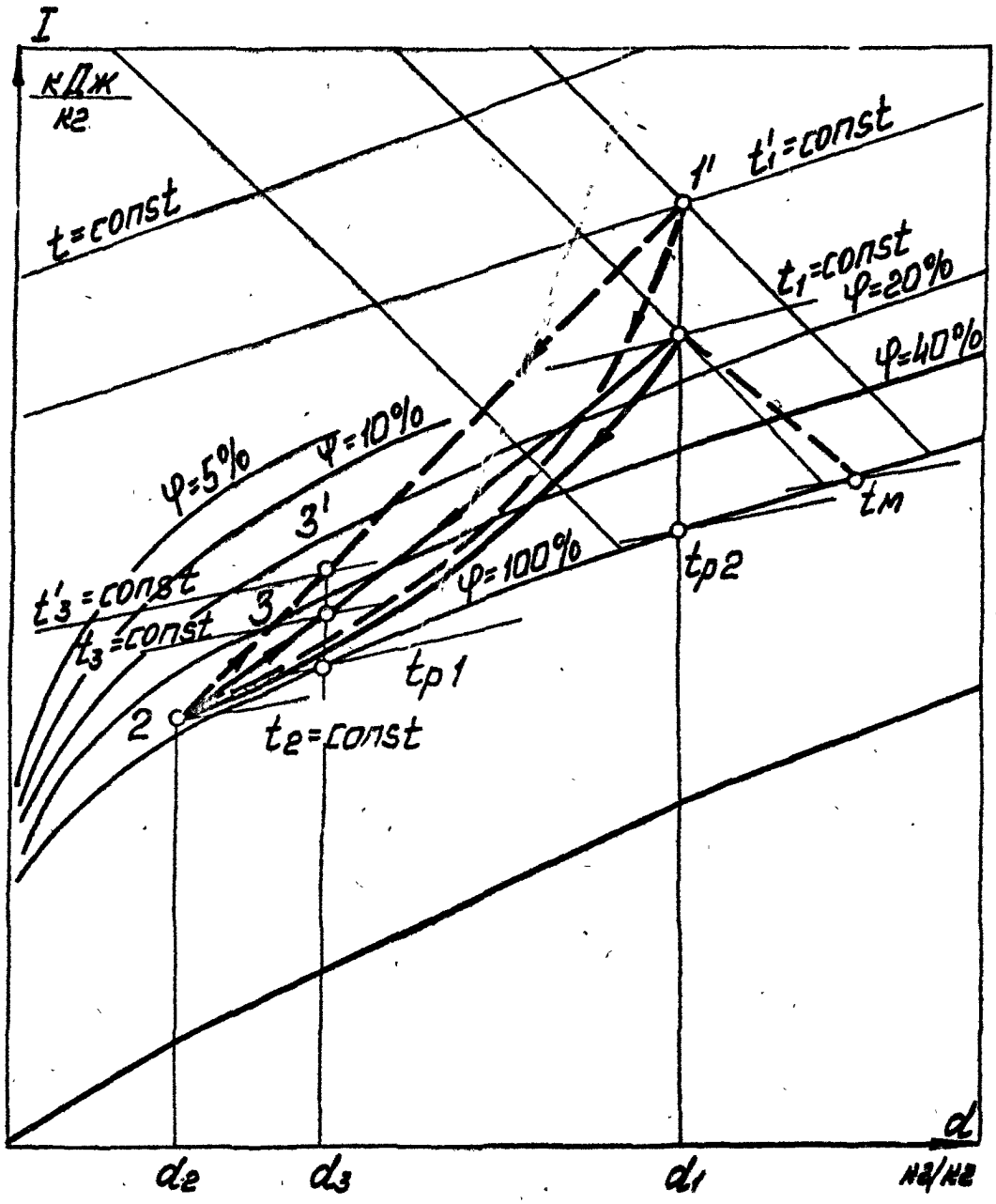
Теплота дымовых газов в КТАНе передается воде, протекающей в активной насадке, двумя путями: за счёт непосредственной передачи теплоты дымовых газов и орошающей воды и за счёт конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах, на поверхности насадки.

При организации такого процесса тепломассообмена в КТАне качество нагреваемой воды не зависит от состава дымовых газов.

Температура воды на выходе из насадки ограничивается температурой мокрого термометра дымовых газов. При сжигании природного газа с коэффициентом избытка воздуха I,0 ÷ I,5 температура мокрого термометра дымовых газов составляет 55 ÷ 65°С. Поэтому температура воды на выходе из активной насадки обычно не превышает 50°С.

Дымовые газы, пройдя насадку, поступают в сепарационное устройство, в котором происходит отделение капель воды от дымовых газов. Из КТАНа дымовые газы выходят с относительной влажностью 95 ÷ I00%, что не исключает возможность конденсации водяных паров из дымовых газов в газоотводящем тракте после КТАНа. Для устранения возможности конденсации влаги необходимо производить подсушку дымовых газов путём перепуска I0 ÷ I5 (или более) процентов дымовых газов помимо КТАНа и дальнейшего смешения их с дымовыми газами, охлажденными в КТАНе. Процесс охлаждения дымовых газов с разными начальными параметрами в КТАНе и процесс их дальнейшей подсушки изображены на рис.2.2.

В результате подсушки происходит уменьшение относительной влажности дымовых газов. Это позволяет допускать некоторое охлаждение дымовых газов в газоходах после КТАНа и в дымовой трубе без опасности конденсации водяных паров на их поверхностях.



1-2; 1'-2 - процессы охлаждения в КТАНе,
2-3; 2-3' - процессы подсушки дымовых газов

Рис. 2.2 Процессы охлаждения газов в КТАНе в I-d диаграмме

Копировал 22967-01 13 Формат А4

Для бесперебойной подачи орошающей воды в контур системы орошения КТАНа включаются бак и насос. Орошающая вода собирается в нижней части КТАНа и самотёком стекает в бак. Из бака орошающая вода насосом подаётся к форсункам системы орошения.

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

3. ОПИСАНИЕ ТИПОРЯДА КТАНов-УТИЛИЗАТОРОВ

3.I. Номенклатура типового ряда КТАНов-утилизаторов и рекомендации по комплектации КТАНами котлов

Типовой ряд КТАНов-утилизаторов теплоты дымовых газов разработан для котлов, работающих на природном газе.

Для котлов, теплопроизводительность которых лежит в интервале 0,23 ÷ II6,3 МВт (0,2 ÷ I00 Гкал/ч), разработано десять типоразмеров КТАНов-утилизаторов. Основные технические характеристики КТАНов-утилизаторов приведены в таблице 3.I.

Расшифровка условного обозначения КТАНа на примере КТАНа-0,8УГ:

- КТАН-контактный теплообменник с активной насадкой;
- 0,8 - номинальная теплопроизводительность КТАНа в МВт;
- УГ - утилизатор газовый (т.е.устанавливаемый за котлами, сжигающими природный газ).

Для каждого КТАНа в таблице приведен диапазон возможных теплопроизводительностей, которые зависят от величины расхода и температуры направляемых в КТАН дымовых газов. Номинальные теплопроизводительности КТАНов-утилизаторов являются оптимальными для соответствующих типов котлоагрегатов. Номинальный расход нагреваемой воды в таблице 3.I приведен для номинальной теплопроизводительности КТАНа при условии нагрева воды с 5°С до 50°С.

В таблице 3.I указаны марки котлоагрегатов, за которыми рекомендуется устанавливать КТАНы-утилизаторы соответствующей теплопроизводительности при условии обеспечения их полной загрузки при работе котла на номинальную производительность. В том случае, если котёл постоянно работает с пониженной теплопроизводительностью,

рекомендуется требуемую теплопроизводительность КТАНа для выбора из типоряда принимать в размере 10% от фактической теплопроизводительности котла.

Точное значение теплопроизводительности КТАНа определяется при выполнении поверочного теплового расчёта.

Ниже в разделе 4.2 будет показано, что требуемая теплопроизводительность КТАНа определяется наличием потребителей воды, нагретой до температуры 50°С. Поэтому, когда нет возможности загрузить КТАН даже с учётом сторонних потребителей, для его выбора следует руководствоваться выводами раздела 4.2. Рекомендации по выбору КТАНов, основанные на этих выводах, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.I

Основные технические характеристики типового ряда КТАНов-утилизаторов и типы котлоагрегатов, соответствующие номинальной теплопроизводительности КТАНов

Типы котлоагрегатов	Е-0,2/9Г; Е-0,4/9Г; "Факел-0,63ГМ"	Е-I-9Г-I; МЗК-7АГ-I; "Браток-IГ; "Факел-I"	Е-2,5-0,9ГМ; РК-I,6; ДКВР-2,5-I3; ДЕ-4-I4ГМ	КВ-ГМ-4; ДКВР-4-I3, ДЕ-6,5-I4ГМ	КВ-ГМ-6,5; ДКВР-6,5-I3; ДЕ-I0-I4ГМ	КВ-ГМ-I0; ДКВР-I0-I3; ДЕ-I6-I4ГМ	Е-35-40ГМ; КВ-ГМ-20, ДКВР-20-I3; ДЕ-25-I4ГМ	КВ-ГМ-30; ТВГМ-30; ДКВР-35-I3; Е-50-I4/40-ГМ	КВ-ГМ-50; ПТВМ-30М; ПТВМ-50; Е-75-I4/40-ГМ; Е-I00-I4/24	КВ-ГМ-I00; ПТВМ-I00; Е-I60-24
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
Марка	КТАН-0,05УГ	КТАН-0,IУГ	КТАН-0,25УГ	КТАН-0,5УГ	КТАН-0,8УГ	КТАН-I,5УГ	КТАН-2,3УГ	КТАН-4,5УГ	КТАН-6УГ	КТАН-I2УГ
Теплопроизводительность, МВт	0,006÷0,6	0,0I÷0,I	0,03÷0,3	0,06÷0,6	0,I÷I,0	0,2÷I,7	0,3÷3,0	0,5÷6,0	0,7÷7,0	I,4÷I4
Расход нагреваемой воды, т/ч (номинальный)	I,0	2,0	4,9	9,6	I5,5	28,8	44,0	85,5	II5	23I
Температура нагреваемой воды:										
на входе	5÷20									
на выходе	45÷50									

Таблица 3.2

Рекомендации по комплектации КТАНами котлов для различных условий работы котельных

Условия работы котельной	Марка котлов							
	Е-2,5–0,9ГМ; РК-1,6; ДКВР-2,5–I3; ДЕ-4-I4ГМ	КВ-ГМ-4; ДКВР-4–I3; ДЕ-6,5–I4ГМ	КВ-ГМ-6,5; ДКВР-6,5–I3; ДЕ-I0-I4ГМ	КВ-ГМ-I0; ДКВР-I0–I3; ДЕ-I6-I4ГМ	Е-25–40ГМ; КВ-ГМ-20; ДКВР-20–I3; ДЕ-25–I4ГМ	КВ-ГМ-30; ТВГМ-30; ДКВР-35–I3; Е-50-I4/40ГМ	КВ-ГМ-50; ПТВМ-30М; ПТВМ-50; Е-65-I4/40ГМ; Е-I00-I4/24	КВ-ГМ-I00; ПТВМ-I00; Е-I50-24
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Водогрейные или пароводогрейные котельные в открытой системе теплоснабжения или с централизованным горячим водоснабжением из котельной при $\frac{Q_{пар}}{Q_{вод}} \leq 2,5$, паровые котельные с возвратом конденсата менее 20 ÷ 25%	КТАН–0,25УГ	КТАН–0,5УГ	КТАН–0,8УГ	КТАН–I,5УГ	КТАН–2,3УЗ	КТАН–4,5УГ	КТАН–6УГ	КТАН–I2УГ

Копировал

22967-01 19 Формат А4

903-01-258.87

Лист I3

Продолжение таблицы 3.2

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Водогрейные или пароводогрейные котельные в закрытой системе теплоснабжения, в открытой системе теплоснабжения или с централизованным горячим водоснабжением из котельной при $\frac{Q\ пар}{Q\ вод} > 2,5$, паровые котельные с возвратом конденсата больше 25%	КТАН-0,10УГ	КТАН-0,25УГ	КТАН-0,5УГ	КТАН-0,8УГ	КТАН-1,5УГ	КТАН-2,3УГ	КТАН-4,5УГ	КТАН-6УГ

3.2. Конструктивные решения типового ряда КТАНов-утилизаторов

Конструкция КТАНов-утилизаторов состоит из трёх основных узлов:

- орошающей камеры;
- активной насадки;
- сепарационного устройства.

Вход дымовых газов в КТАН осуществляется через орошающую камеру, в которой с помощью форсунок производится распыливание орошающей воды в дымовые газы. Затем дымовые газы поступают в активную насадку, представляющую собой один или несколько пакетов трубок, в которой происходит охлаждение газов и нагрев одного или нескольких потоков воды, протекающих внутри трубок. Отделение капельной влаги от дымовых газов и отвод их из КТАНа производится через сепарационное устройство.

Габаритные размеры КТАНов, а также их конструктивные и эксплуатационные характеристики представлены в таблице 3.3 и на рисунках 3.1 ÷ 3.10.

3.2.1. Активная насадка

При конструировании типового ряда КТАНов ставилась задача максимальной унификации отдельных узлов различных аппаратов с целью упрощения изготовления КТАНов в заводских условиях. В соответствии с этим положением принят принцип разбивки конструкции на блоки, при этом отдельные блоки могут использовать для составления конструкций КТАНов различных типоразмеров.

Для активных насадок разработано 5 блоков. Два блока из этого количества являются индивидуальными конструкциями для КТАНа-0,5УГ и КТАНа-0,1УГ. Блоки активной насадки КТАНа-0,25УГ и КТАНа-0,8УГ позволяют образовать необходимую поверхность нагрева для упомянутых КТАНов, а также путём их удвоения составляется поверхность нагрева для КТАНа-0,5УГ и КТАНа-1,5УГ соответственно.

Начиная с теплопроизводительности 2,3 МВт и выше, активные насадки КТАНов составляются из базисного блока, имеющего следующие параметры:

- ширина – 582 мм;
- высота – 576 мм;
- длина – 2380 мм;
- число трубок – 100 шт.;
- диаметр и толщина стенок трубок – 32 х 2 мм;
- поверхность нагрева – 22,6 м2.

Блок активной насадки представляет собой трубный пучок с шахматным расположением труб. Крепление труб к трубной доске выполняется на сварке. Для изменения движения нагреваемой воды при прохождении через насадку с внешней стороны к трубной доске привариваются коллекторы.

Активная насадка является одноходовой со стороны дымовых газов и многоходовой со стороны нагреваемой воды. Количество ходов по нагреваемой воде в одном блоке в зависимости от его величины колеблется от 10 до 22.

Принцип конструирования активной насадки основан на результатах анализа возможных потребителей воды, нагретой в КТАНах.

Как показал анализ, в КТАНе в основном нагреваются потоки воды с двумя качественными характеристиками – исходная вода и химочищенная вода.

По требованиям водоподготовительного цикла подогрев исходной воды перед водоподготовительной установкой производится до 20°С. Поэтому активная насадка КТАНа составляется из двух частей по высоте. В нижней части насадки осуществляется подогрев исходной воды от 5 до 20°С, а в верхней части подогрев химочищенной воды – с 20° до 50°С.

Для КТАНов с теплопроизводительностью с 0,10 МВт до 2,3 МВт активная насадка состоит из одного или двух блоков. Поверхность нагрева этих блоков разбита на две части. Нижняя часть блока рассчитана на подогрев исходной воды, а верхняя часть – для подогрева химочищенной воды.

Поверхность нагрева верхней части блока относится к поверхности нагрева нижней части как 5 к 3

В КТАНе-0,5УГ ввиду его небольшой теплопроизводительности и габаритов активная насадка выполняется одним блоком без разбивки поверхности нагрева на нижнюю и верхнюю часть.

Для КТАНов теплопроизводительностью 2,3 МВт и выше в целях унификации модульные блоки располагаются в два ряда по высоте.

Таким образом, предусматривается возможность подачи в нижние блоки исходной воды, а в верхние – химочищенной воды.

Количество блоков по ширине КТАНа (в горизонтальном ряду) зависит от теплопроизводительности и составляет:

- для КТАНа-2,3УГ – 2 шт.;
- для КТАНа-4,5УГ – 3 шт.;

- для КТАНа-6УГ - 4 шт.;
- для КТАНа-12УГ - 8 шт.

3.2.2. Орошающая камера

Размеры орошающей камеры в плане совпадают с размерами активной насадки. Внутри камеры расположены водяные коллекторы с форсунками.

Для возможности контроля качества распыла и работоспособности форсунок в стенки камеры встроены иллюминаторы.

Принцип конструирования орошающей камеры аналогичен принципу конструирования активной насадки и является блочным. Количество блоков и принцип их соединения такие же, как для блоков активной насадки.

Для блока системы орошения применяются угловые с тангенциальным входом воды форсунки типа У-I.

Данные форсунки при диаметре выходного отверстия d = 6 мм в зависимости от давления воды дают среднее или грубое распыление воды.

На рисунке 3.II показана характеристика форсунки У-I с d = 6 мм.

Расход орошающей воды G ор для КТАНа определен по эмпирической формуле, полученной РПНИ:

$$G_{ор} = 1{,}7 + 2{,}2 \cdot Sбх \quad \text{кг/с},$$

где: $Sбх$ - площадь входного сечения КТАНа, м2.

Количество необходимых для КТАНа форсунок определено по следующей формуле:

$$n = \frac{G_{ор}}{q} \quad \text{шт.},$$

где q – расход воды через одну форсунку, кг/с (определен по рис.3.II в зависимости от давления воды перед форсункой).

3.2.3. Сепарационное устройство

В КТАНах для отделения капельной влаги от дымовых газов использован двухступенчатый сепаратор. Испытания первых образцов КТАНов показали, что одноступенчатый сепаратор не обеспечивает требуемую эффективность работы по двум причинам:

– начальное влагосодержание газового потока превышает допустимое значение, необходимое для эффективной работы сепаратора;

– диаметр капель, поступающих в каплеуловитель, изменяется в большом диапазоне, то есть имеется достаточно большое количество капель, диаметр которых меньше допустимого для данного сепаратора.

Для устранения этих недостатков в окончательном варианте для КТАНа принят двухступенчатый сепаратор.

В качестве I ступени используется коленный сепаратор. В коленном сепараторе капельная влага из газа сепарируется под действием центробежных сил и, двигаясь по вогнутым поверхностям лопаток, стекает в лотки, откуда отводится в сливной патрубок.

В качестве II ступени применен вертикальный жалюзийный сепаратор, в котором применен инерционный способ каплеулавливания.

Сепаратор представляет собой изогнутые жалюзийные каналы с углом раскрытия 120°. При изменении направления движения газового потока с помощью жалюзи капли под воздействием инерционной силы стремятся двигаться в прежнем направлении, что позволяет в дальнейшем выделить их из газового потока.

Расчёты показали, что для капель с $d_к$ больше или равным 50 мкм эффективность каплеулавливания $\approx$ 100%.

Подробнее вопрос каплеулавливания изложен в приложении I.

Технические характеристики КТАНов-утилизаторов

Таблица 3.3

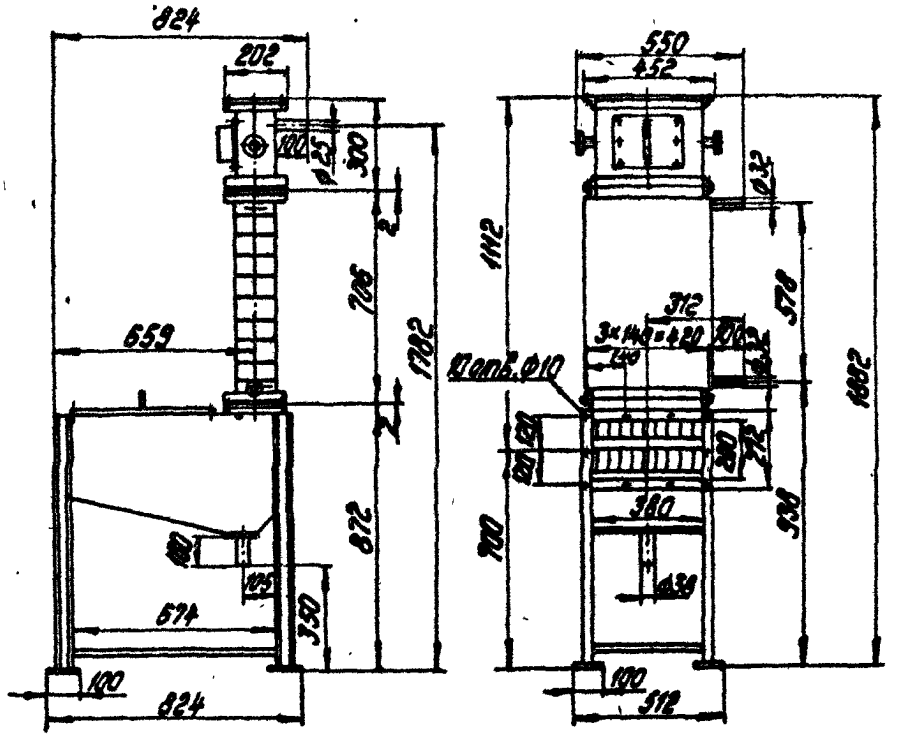
Наименование величин	Теплопроизводительность КТАНа		Расход дымовых газов	Температура нагреваемой воды: На входе в КТАН	Температура нагреваемой воды: На выходе из КТАНа	Температура дымовых газов: На входе в КТАН	Температура дымовых газов: На выходе из КТАНа	Расход прошлющей воды		Расход нагреваемой воды		Габаритные размеры КТАНа: Длина	Ширина	Высота	Проходные сечения теплоносителей: По воде	По газам	Поверхность теплообмена	Аэродинамическое сопротивление КТАНа	Гидравлическое сопротивление КТАНа	Масса КТАНа
Обозначение	$Q_{кт}$		V_r	t'_B	t''_B	t'_r	t''_r	$G_{ор}$		G_B		L	A	H	$S_B^{пр}$*	$S_r^{рр}$*	F	$P_{\Delta дэр}$	$P_{\Delta гид}$	M
Размерность	МВт	Гкал/ч	мм³/с	°С	°С	°С	°С	кг/с	м³/ч	кг/с	м³/ч	м	м	м	м²	м²	м²	Па	МПа	кг
КТАН-12УГ	12,0	10,32	35,9	5	50	140	40	18,8	67,7	64,2	231	3,785	5,792	5,520	$4{,}93\cdot10^{-2}$	4,61	362,0	675	0,026	12636
КТАН-6УГ	6,0	5,16	17,96	5	50	140	40	9,4	33,8	32,1	115	3,785	3,478	5,520	$2{,}46\cdot10^{-2}$	2,30	181,0	667	0,025	6675
КТАН-4,5УГ	4,5	3,87	13,44	5	50	140	40	6,7	24,1	23,9	85,5	3,785	2,404	5,240	$1{,}86\cdot10^{-2}$	1,73	135,8	669	0,024	4980
КТАН-2,3УГ	2,3	1,98	6,88	5	50	140	40	4,5	16,2	12,3	44,0	3,785	1,824	4,740	$1{,}34\cdot10^{-2}$	1,15	90,5	448	0,013	3236
КТАН-1,5УГ	1,5	1,29	4,50	5	50	140	40	3,5	12,6	8,0	28,8	2,662	1,750	4,153	$1{,}11\cdot10^{-2}$	0,78	62,4	493	0,009	2556
КТАН-0,8УГ	0,8	0,68	2,20	5	50	160	40	1,75	6,3	4,3	15,5	2,570	0,994	4,113	$0{,}55\cdot10^{-2}$	0,39	31,2	454	0,010	1458
КТАН-0,5УГ	0,5	0,43	1,38	5	50	160	40	1,2	4,3	2,7	9,6	1,704	1,344	3,300	$0{,}31\cdot10^{-2}$	0,36	25,0	286	0,018	1141
КТАН-0,25УГ	0,25	0,21	0,69	5	50	160	40	0,6	2,16	1,35	4,9	1,305	1,344	2,596	$1{,}54\cdot10^{-3}$	0,18	12,5	270	0,019	682
КТАН-0,1УГ	0,1	0,086	0,23	5	50	250	40	0,17	0,6	0,56	2,0	0,920	0,480	2,194	$0{,}55\cdot10^{-3}$	0,0425	2,57	490	0,022	170
КТАН-0,05УГ	0,05	0,043	0,13	5	50	250	40	0,08	0,3	0,28	1,0	0,790	0,480	1,882	$0{,}39\cdot10^{-3}$	0,0304	1,84	293	0,015	119

Технические характеристики КТАНов-утилизаторов — продолжение табл. 3.3

Марка КТАНа	N	Активная насадка		Число форсунок, пф	Объем изоляции, м³	Поверхность покровного слоя м²	Вес КТАНа с водой и изоляцией, кг
		$d_н \times S$, мм	n				
КТАН-0,05 УГ	1	14×2	72	2	0,25	4,07	173,0
КТАН-0,1 УГ	1	14×2	144	2	0,40	5,93	252,0
КТАН-0,25 УГ	1	18×2	240	6	0,99	13,71	898,0
КТАН-0,5 УГ	2	18×2	480	12	1,26	16,88	1435,0
КТАН-0,8 УГ	1	25×2	256	24	1,55	20,36	2020,0
КТАН-1,5 УГ	2	25×2	512	12	2,17	28,34	3225,0
КТАН-2,3 УГ	2	32×2	400	28	3,31	42,96	4115,0
КТАН-4,5 УГ	3	32×2	600	42	4,25	54,92	6306,0
КТАН-6 УГ	4	32×2	800	56	5,12	70,44	8185,5
КТАН-12 УГ	8	32×2	1600	112	8,21	105,6	15232,5

Для определения проходных сечений одного блока насадки необходимо приведенные в таблице значения разделить на число блоков в горизонтальном ряду (N).

N - число блоков насадки в одном горизонтальном ряду и число блоков системы орошения.
n - число трубок активной насадки;
$d_н$, S - диаметр и толщина трубок насадки



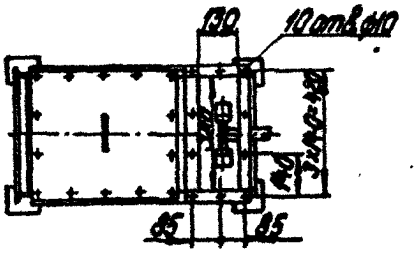
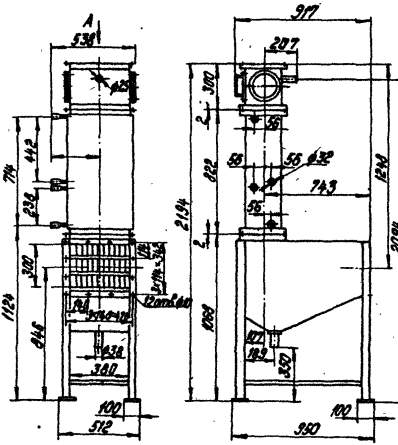


Рис.3.1 КТАН-0,05УГ



Вид А
М1:5

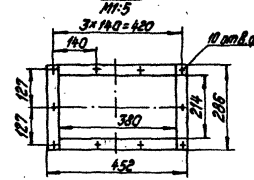


Рис. 3.2 КТАН-0,1Г

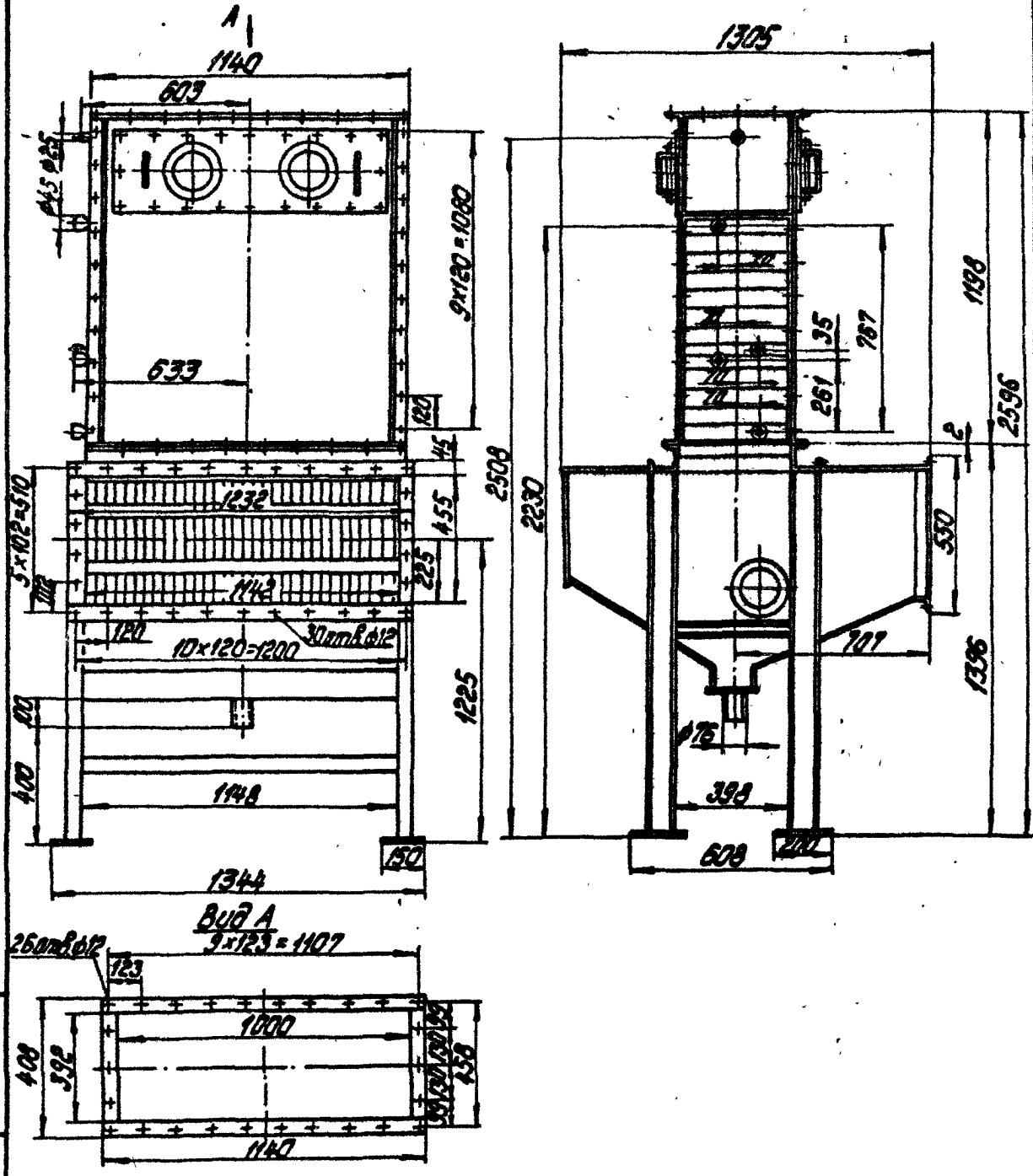


Рис. 3.3 КТАН-0,25Уг

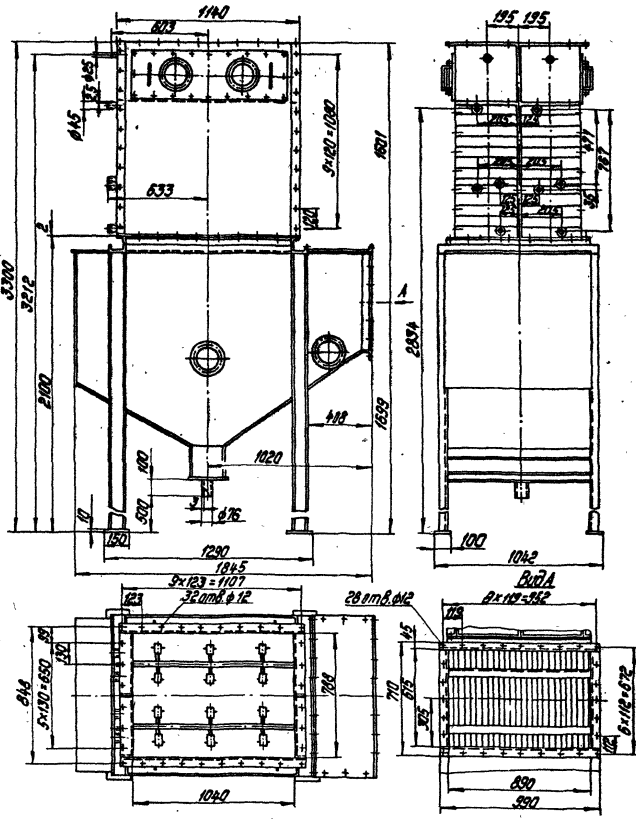
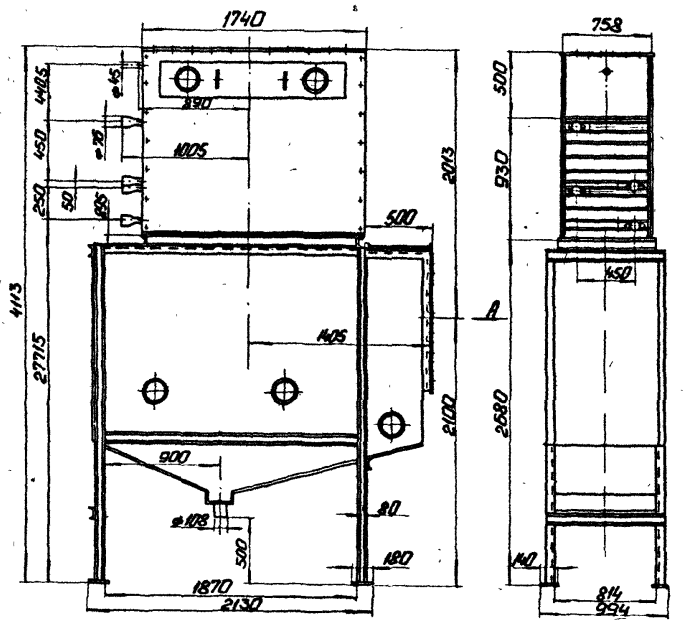


Рис. 3.4 К-ТАН-0,5УГ

903-01-258.87	Лист 26

копировал Дубкова



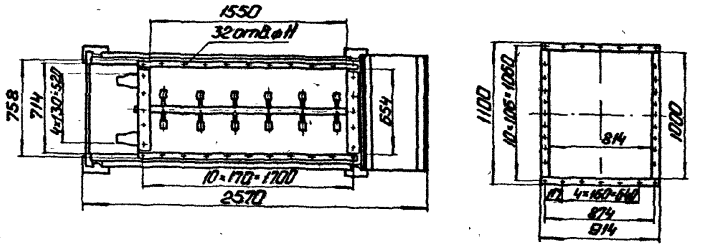


Рис. 3.5 КТАН-0,8УГ

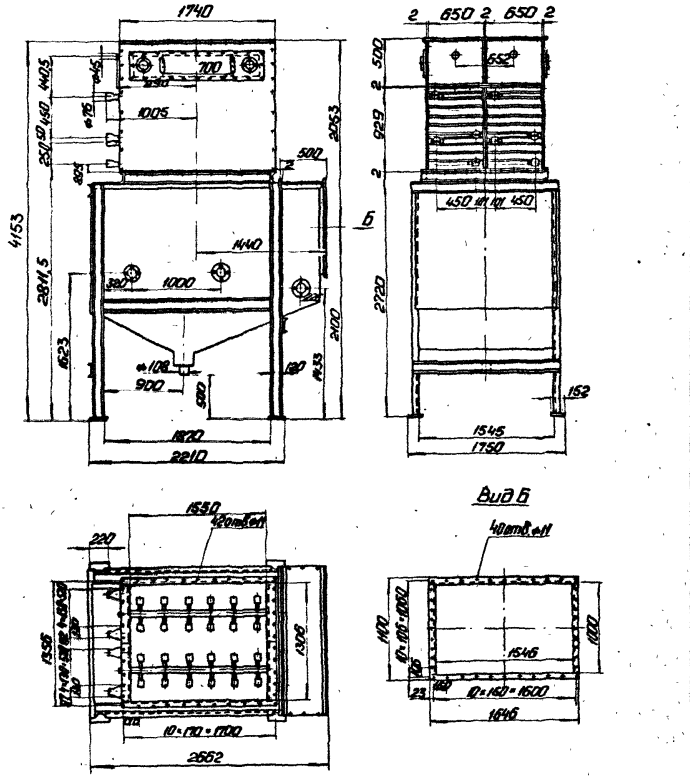


Рис. 3.6 КТАН-1,5 УГ

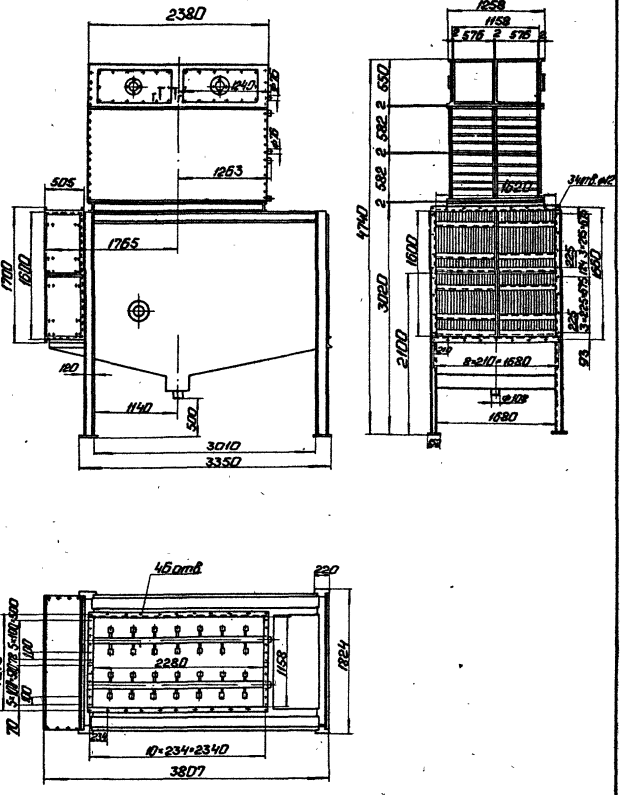


Рис. 3.7 КТАН-2,3 УГ

903-01-258.87

Лист 29

Копировал: Ф.Js 22967-01 35 Формат А4

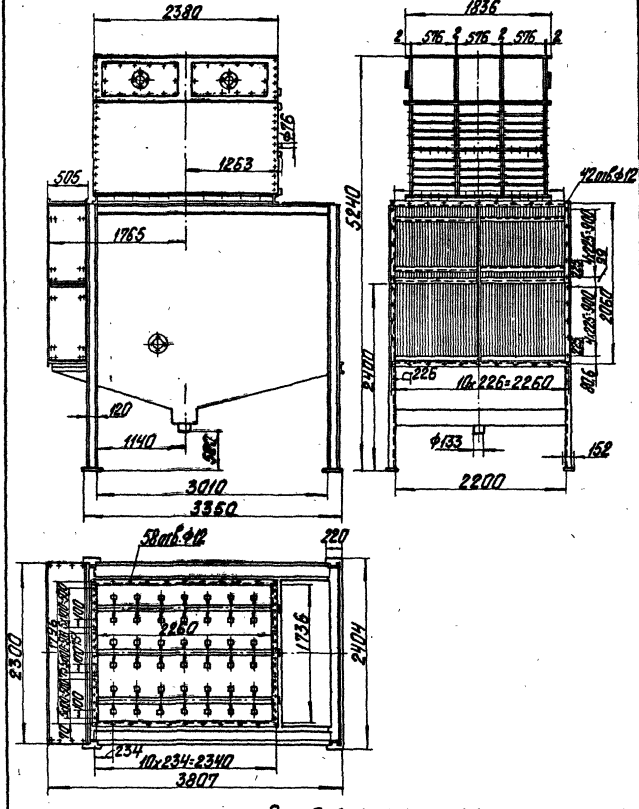


Рис. 3.8 КТАН-4,5 УГ

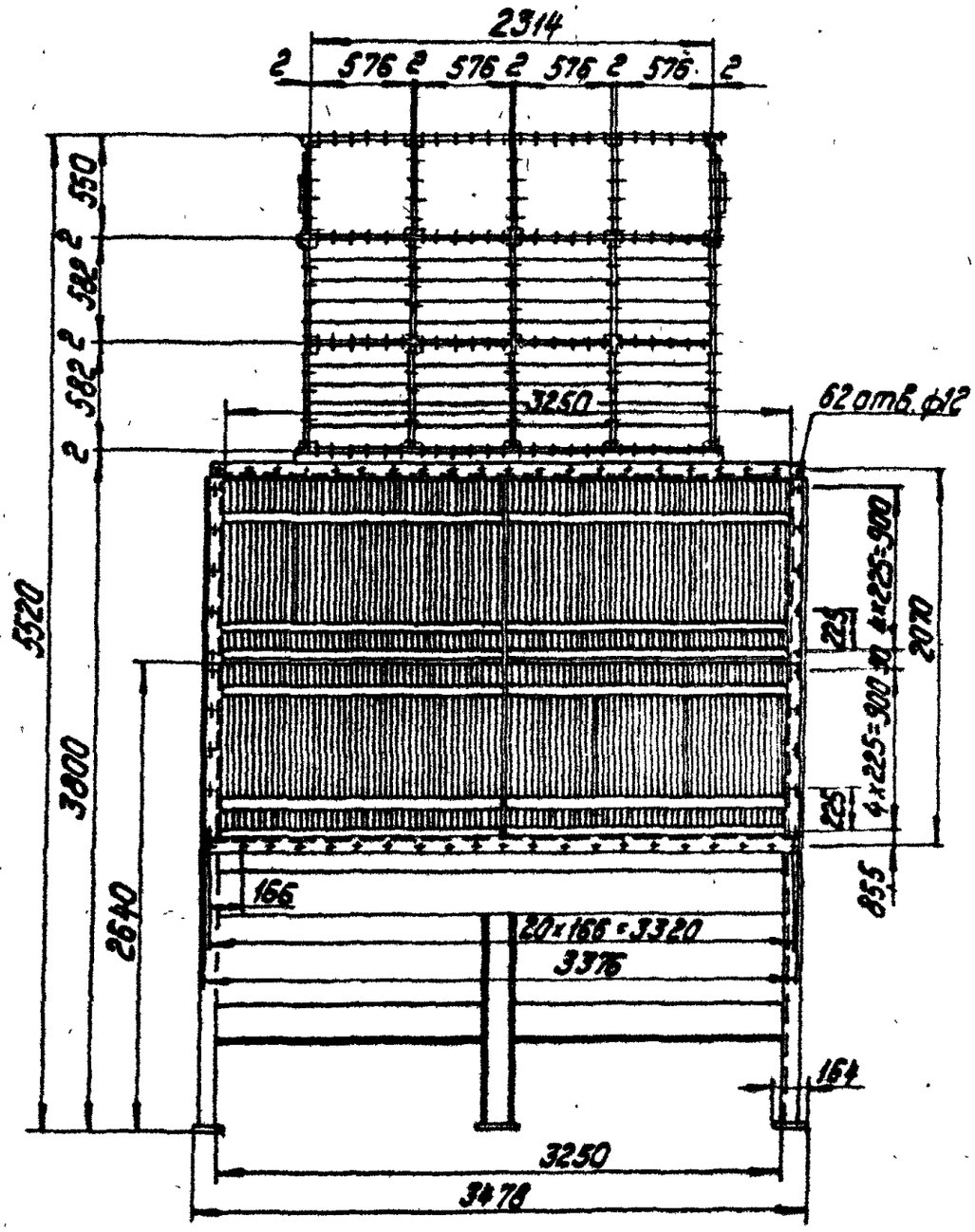


Рис. 39 КТАН-6УГ

Вид А

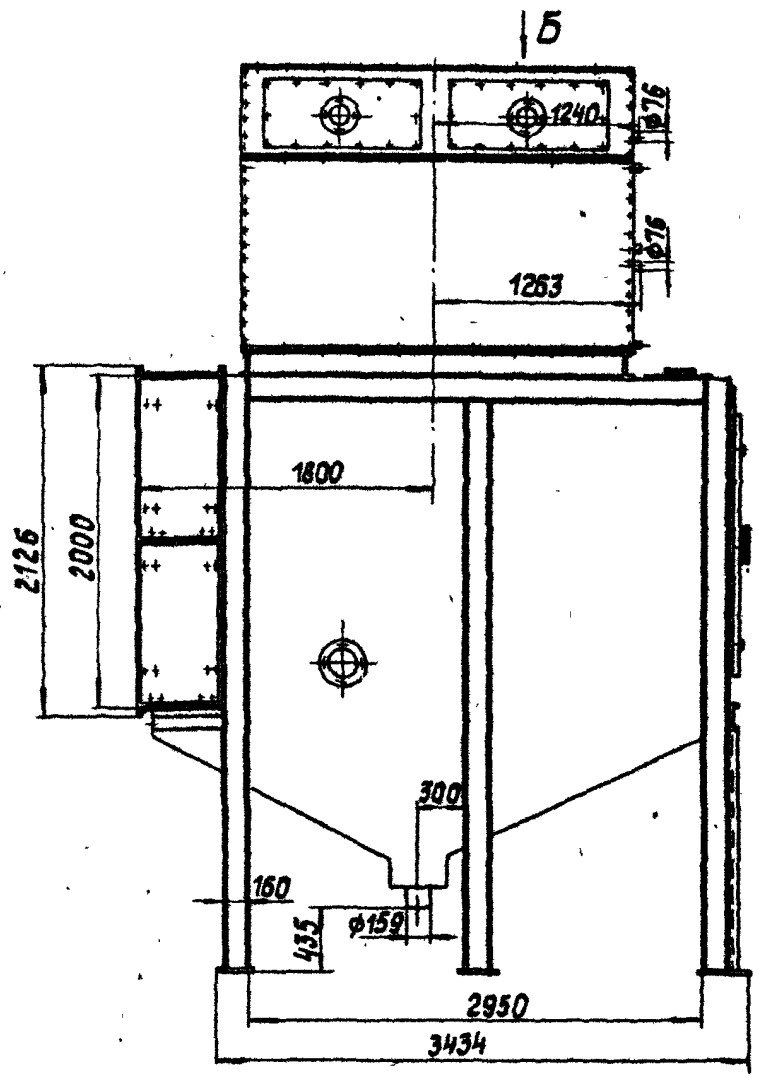


Рис. 3.9 КТАН-6УГ (продолжение)

Инв.№подл. | Подпись и дата | Взам.инв.№

Вид Б

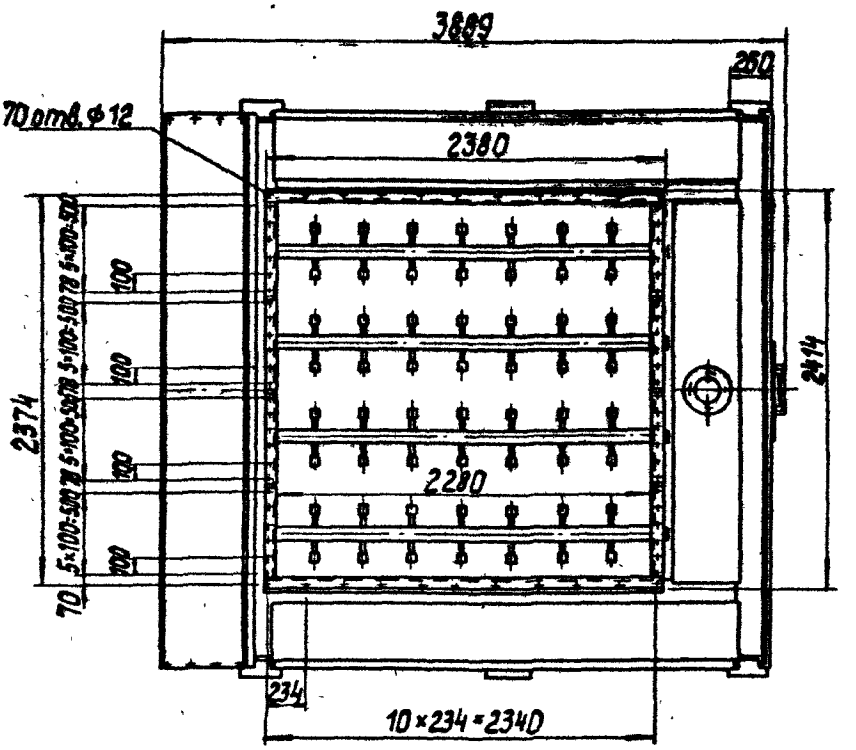


Рис. 3.9 КТАН-6УГ (продолжение)

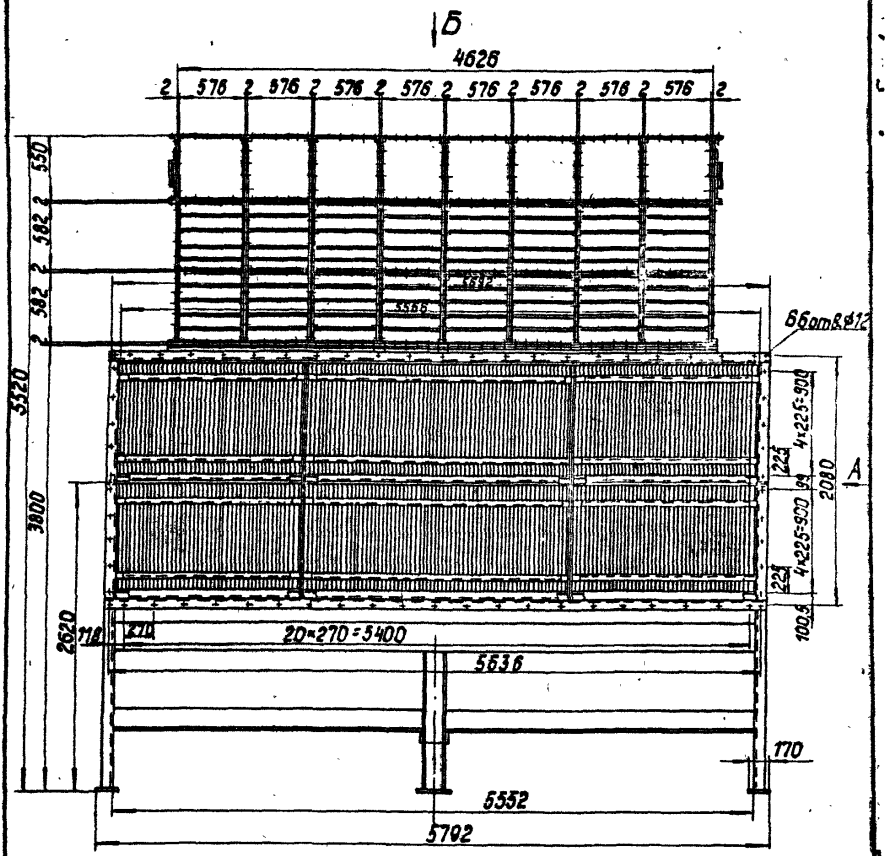


Рис. 3.10 КТАН - 12УГ

Вид А

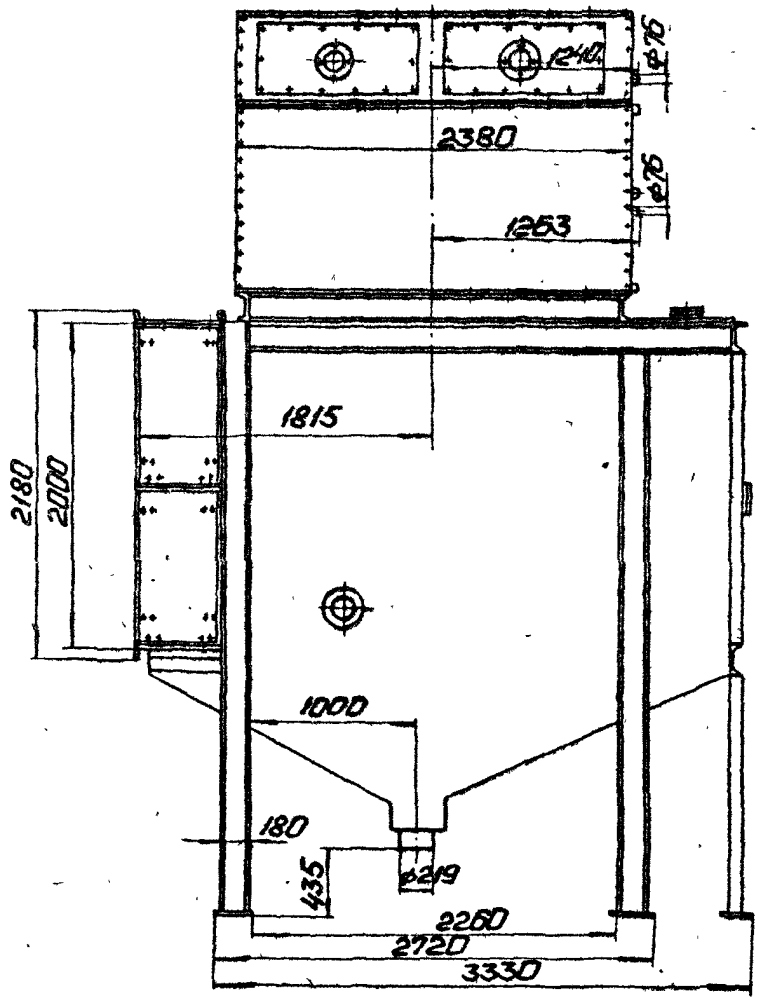


Рис. 3.10 КТАН - 12УГ
(продолжение)

Вид Б

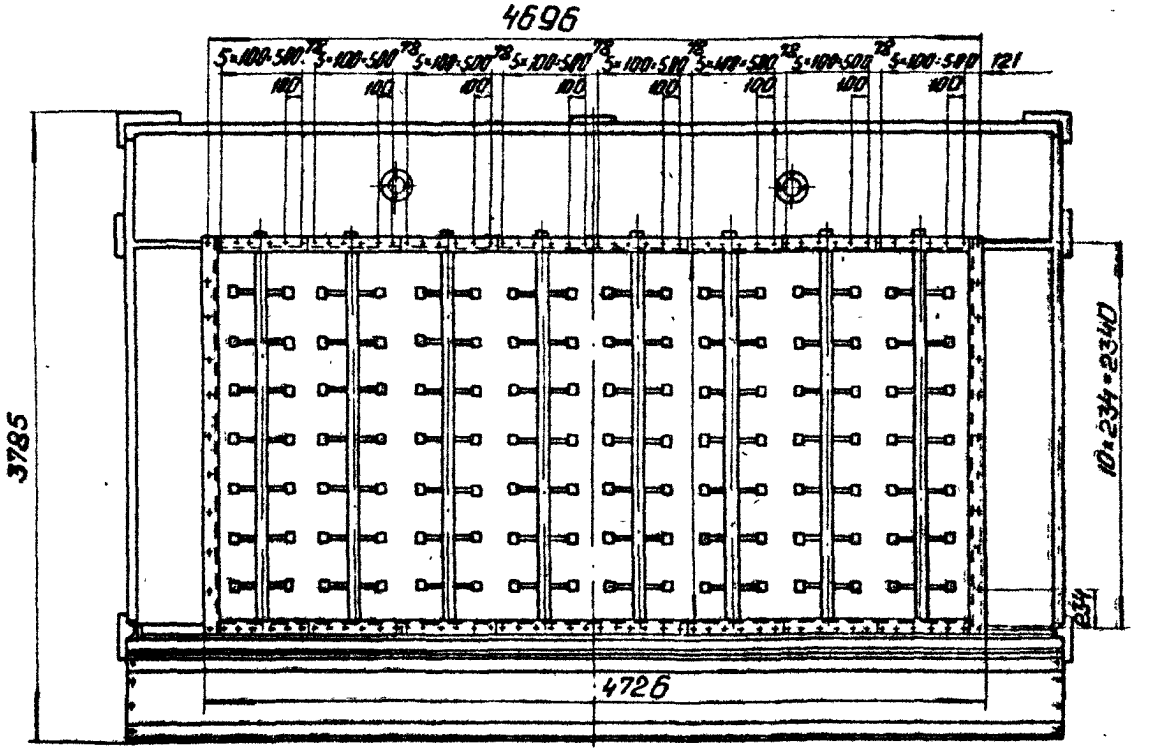


Рис. 3.10 КТАН-12 УГ (продолжение)

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТАНОВКЕ КТАНов В КОТЕЛЬНЫХ

Копировал 22967-01 43 Формат А4

4.I. Общие принципы проектирования

При установке КТАНов в котельной необходимо:

4.I.I. Первоначально определить возможных потребителей низкопотенциальной теплоты КТАНов. Для этого необходимо выполнить теплобалансовый расчёт тепловой схемы котельной и определить конкретные потоки воды (их расходы и температуры), которые могут быть подогреты в КТАНах. Институтом "Латгипропром" проанализированы основные типы котельных с целью определения возможной загрузки КТАНов. Результаты анализа и расчётов приведены в разделе 4.2. Величина тепловой мощности потребителей теплоты КТАНа в такой же мере обусловливает выбор КТАНа из типоряда, как и теплопроизводительность котлоагрегата, за которым КТАН устанавливается.

4.I.2. Окончательно уточнить теплопроизводительность КТАНа путём выполнения поверочного теплового расчёта КТАНа и определения минимального расхода дымовых газов, пропускаемых по обводу КТАНа, обеспечивающего работу дымовой трубы без конденсации. Методика поверочного теплового расчёта КТАНа изложена в разделе 4.3, а вопросы работы дымовых труб без конденсации влаги при работе котельных с КТАНами – в разделе 5.

4.I.3. При установке КТАНа-утилизатора необходимо выполнить аэродинамический расчёт газового тракта. Рекомендации по оптимальной установке КТАНов с точки зрения аэродинамики и таблица аэродинамических сопротивлений КТАНов приведены в разделе 4.4.

4.I.4. Установка КТАНов допускается как в помещении котельной, так и на открытом воздухе.

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

При установке КТАНа на открытом воздухе в случае его отключения (или останова котлоагрегата, за которым КТАН установлен) необходимо сдренировать воду из насадки КТАНа и из подключенных к КТАНу трубопроводов.

4.I.5. КТАН-утилизатор обеспечивает расчётную производительность только при нормальной работе контура орошающей воды. Необходимо правильно выбрать диаметр сливной трубы для предотвращения залива нижней части КТАНа и попадания орошающей воды в газоходы. В разделе 4.5 приведены результаты расчётов по выбору диаметра сливной трубы и бака орошающей воды.

4.I.6. Следует помнить, что поверхности активных насадок КТАНов из типоряда рассчитаны на подогрев воды с 5°С до 50°С. В случае подачи в КТАН расчётного расхода воды с температурой выше 5°С для получения номинальной теплопроизводительности поверхность нагрева КТАНа должна быть увеличена за счёт увеличения количества блоков насадки по высоте.

Так, для КТАНов, начиная с теплопроизводительности 2,3 МВт и выше, при подаче воды с температурой 20°С для достижения номинальной теплопроизводительности необходимо увеличить насадку по высоте КТАНа на I ряд блоков (что приведёт к возрастанию числа рядов блоков насадки по высоте с двух до трёх).

Результаты тепловых расчётов КТАНов при изменении входных параметров теплоносителей по сравнению с расчётными приведены в разделе I0.

Копировал 22967-01 45 Формат А4

4.2. Определение потребителей теплоты КТАНов в котельных

Правильный выбор требуемой теплопроизводительности КТАНов определяется не установленной мощностью котлоагрегатов, а наличием реальных потребителей горячей воды с температурой 50°С, получаемой в КТАНах за счёт утилизации теплоты дымовых газов.

Для того, чтобы типовой ряд КТАНов наиболее полно соответствовал имеющимся тепловым потребителям, был произведен анализ типовых и индивидуальных проектов котельных, в результате которого определены возможные потребители нагреваемой в КТАНах воды, их количественные и качественные характеристики и зависимость этих характеристик от установленной мощности котлоагрегатов.

Латгипропром выполнил теплобалансовые расчёты по котельным и произвел сравнение максимально возможной теплопроизводительности КТАНов, определяемой расходом и параметрами дымовых газов с тепловой мощностью возможных потребителей горячей воды.

Анализ тепловых схем котельных показал, что основными возможными потребителями теплоты, получаемой в КТАНах-утилизаторах, являются:

- исходная и химочищенная вода для питания паровых котлов и подпитки водогрейных котлов и систем централизованного горячего водоснабжения;

- циркуляционная вода, используемая для подогрева подаваемого в котлоагрегаты дутьевого воздуха, в случае установки для этой цели в котельной КТАНов-воздухоподогревателей.

Теплобалансовые расчёты выполнены для котельных с котлами типа ДКВР и КВ-ГМ.

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Ввиду отсутствия на момент выполнения расчётов данных балансовых испытаний котлов типа ДЕ расчёты по этим котлам не производились, но их результаты должны быть аналогичны результатам расчётов для котлов типа ДКВР.

Для котельных с чисто паровой нагрузкой расчёты выполнены для различных процентов возврата конденсата в котельную: при 25%, 50% и 80% возврата. В расчётах рассмотрены различные сочетания паровой (производственной) и водогрейной (отопительной) нагрузок:

- чисто паровая нагрузка;
- 25% паровой и 75% водогрейной нагрузки;
- 50 паровой и 50% водогрейной нагрузки.

Возможная теплопроизводительность КТАНа определена по следующей формуле:

$$Q_{КТ} = \frac{Q_н^р \cdot \eta_к}{Q_н^р \cdot \eta_к + \eta_{об}(J_г' - J_г'') \cdot G_г^с} \cdot B \cdot \eta_{об}(J_г'' - J_г') \cdot G_г^с, \text{ кВт} \quad (4.1)$$

где $Q_н^р$ – низшая теплотворная способность топлива, кДж/нм3;

$\eta_к$ – к.п.д. котла;

$\eta_{об}$ – коэффициент, учитывающий долю расхода дымовых газов, перепускаемых помимо КТАНа по обводному газоходу, для подсушки дымовых газов, проходящих через КТАН;

$J_г'$ – энтальпия дымовых газов перед КТАНом-утилизатором, кДж/кг;

G_r^c – массовый расход сухих дымовых газов на I м3 топлива (природного газа), кг/нм3;

B – расход топлива на котёл при работе без КТАНа-утилизатора, нм3/с;

J_r'' – энтальпия дымовых газов после КТАНа-утилизатора, кДж/кг.

Расчёт расходов теплоты, идущей на подогрев подпиточной воды и воды, идущей на горячее водоснабжение, определен по методике, изложенной в /I/. При этом принято, что нагрузка горячего водоснабжения составляет 25% от нагрузки отопления и вентиляции. Расход тепла на нужды горячего водоснабжения определен для средней нагрузки горячего водоснабжения.

Расчёт количества теплоты, идущей для подогрева дутьевого воздуха, определен по следующей формуле:

$$Q_{дв} = V_0 \cdot \rho_0 \cdot \alpha \cdot B \, (J_в'' - J_в'), \quad кВт \qquad (4.2),$$

где V_0 – теоретически необходимый расход воздуха, идущего на горение, нм3/нм3;

ρ_0 – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/нм3;

α – коэффициент избытка воздуха перед горелками;

B – расход топлива для котла, нм3/ч;

$J_в''$ – энтальпия воздуха после КТАНа-воздухоподогревателя, кДж/кг;

$J_в'$ – энтальпия воздуха перед КТАНом-воздухоподогревателем, кДж/кг.

Теплота, получаемая дутьевым воздухом в КТАНе-воздухоподогревателе, включает в себя две составляющие - физическую теплоту и теплоту, вносимую в воздух за счёт паров орошающей воды. Экономия топлива в котельной при нагреве воздуха в КТАНе-воздухоподогревателе получается только за счёт увеличения вносимой в котёл физической теплоты воздуха, поэтому при анализе потребителей теплоты КТАНа-утилизатора учтена только эта составляющая. Теплота, вносимая в нагреваемый воздух парами орошающей воды, является балластной и служит только для интенсификации процесса теплообмена в КТАНе-воздухоподогревателе. Одновременно следует отметить, что внесение в нагреваемый дутьевой воздух паров воды снижает содержание в дымовых газах окислов азота и тем самым уменьшает загрязнение атмосферного воздуха.

В настоящее время отсутствуют экспериментальные данные о снижении выхода окислов азота при установке КТАНов-воздухоподогревателей, но данные /2/ и /3/ позволяют с уверенностью говорить о целесообразности дополнительного увлажнения дутьевого воздуха. Расчёты по определению возможных потребителей теплоты КТАНов-утилизаторов выполнены для двух режимов работы - для расчётного (максимального) режима и среднеотопительного режима, когда котлы работают на пониженных нагрузках.

Для водогрейных котлов этот режим соответствует 60% номинальной нагрузки, эта же величина принята и для паровых котлов. При работе котлов на пониженных параметрах температура газов на выходе из котлов понижается, и соответственно понижается возможная теплопроизводительность КТАНов.

Копировал

22967-01 49 Формат А4

Расход теплоты на подогрев воздуха в среднеотопительном режиме понижается из-за уменьшения расхода топлива (следовательно и воздуха) на котёл, а также из-за увеличения температуры воздуха, подаваемого в КТАН-воздухоподогреватель. Расход теплоты для подогрева подпиточной воды и воды для нужд горячего водоснабжения будет одинаков как для расчётного, так и для среднеотопительного режима, так как он зависит только от объёма тепловой сети и связанных с этим объёмом потерь, а также от расчётной нагрузки горячего водоснабжения, которая не зависит от температуры наружного воздуха. Результаты теплобалансовых расчётов КТАНов представлены в таблицах 4.I ÷ 4.6, из которых видно, что для чисто водогрейных котельных (таблицы 4.I и 4.2) расход теплоты на горячее водоснабжение при соотношении $Q_{ГВ} = 0{,}25 \cdot Q_{ОВ}$ значительно выше, чем возможная теплопроизводительность КТАна, поэтому в открытых системах теплоснабжения и в системах с централизованным горячим водоснабжением из котельной (четырехтрубная система) КТАНы имеют полную загрузку только за счёт одного потребителя – системы горячего водоснабжения.

В водогрейных котельных, работающих в закрытых системах теплоснабжения, расход теплоты на подогрев подпиточной воды составляет около 30 ÷ 35% от возможной теплопроизводительности КТАНа в среднеотопительном режиме и всего I4–I7% в расчётном режиме.

Для этих котельных встаёт вопрос о более эффективном использовании утилизированной теплоты. Установка КТАНов-воздухоподогревателей для нагрева дутьевого воздуха котлов позволяет частично решить этот вопрос.

Так, подогрев в расчётном режиме дутьевого воздуха до 20°С позволяет использовать около 20% теплоты, получаемой в КТАНе -тилизаторе.

В среднеотопительном режиме этот процент несколько ниже и составляет около I5%. Суммарная нагрузка КТАНов, устанавливаемых в водогрейных котельных, работающих в закрытых системах теплоснабжения, составляет 35 ÷ 50% от возможной теплопроизводительности в зависимости от режима работы котельной.

Аналогичная картина наблюдается для котельных с чисто паровыми нагрузками (таблицы 4.2 и 4.3). Суммарная нагрузка КТАНов, устанавливаемых в таких котельных, зависит от процента возврата конденсата, включает к себя нагрузку на подогрев питательной воды и нагрузку на подогрев дутьевого воздуха и составляет:

- при возврате конденсата 80% ~ 30–35% от возможной теплопроизводительности КТАНов;
- при возврате конденсата 50% ~ 50–60% от возможной теплопроизводительности КТАНов;
- при возврате конденсата 20% ~ 70–80% от возможной теплопроизводительности КТАНов.

Для котельных с паровой и водогрейной нагрузкой (таблицы 4.5 и 4.6) степень загрузки КТАНов зависит от соотношения видов нагрузки, процента возврата конденсата, режима работы котельной и колеблется в широких пределах:

- от 30 до 70% для закрытых систем теплоснабжения;
- от 55 до I90% для открытых систем теплоснабжения.

На основании проведенных расчётов можно сделать вывод, что в открытых системах теплоснабжения и в системах с централизованным горячим водоснабжением КТАНы, устанавливаемые в чисто водогрейных котельных и в пароводогрейных котельных, при соотношении нагрузок

Копировал 22967-01 51 Формат А4

$Q_{пар}/Q_{вод} \leq$ 50/50%, имеют полную загрузку во всех режимах работы. В пароводогрейных котельных в среднеотопительном режиме КТАНы имеют полную загрузку и при меньшей чем 50% доле водогрейной нагрузки из общей нагрузки котельной.

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%.

Для таких котельных можно рекомендовать установку за котлами КТАНов меньшего типоразмера, соответствующих имеющейся тепловой нагрузке, или установку КТАНов не за всеми котлами с возможностью переключения КТАНа с одного котла на другой. Однако в этом случае надо обращать особое внимание на режим работы котельной в течение года для того, чтобы получить максимально возможное количество теплоты за счёт утилизации даже при останове отдельных котлоагрегатов.

Возможные схемы подключения КТАНов по нагреваемой воде приведены на рисунках 4.I и 4.2.

В проведенных теплобалансовых расчётах учтены только возможные потребители утилизированной в КТАНах теплоты, имеющиеся в котельной, и не учтены возможные сторонние потребители воды, нагретой до 50°С. Такими потребителями могут быть: технологическое горячее водоснабжение промышленных предприятий; вода, используемая в системах теплоснабжения тепличных и парниковых хозяйств, в том числе приазаводских; вода для нужд промышленного рыбоводства на теплых водах; вода для нужд теплоснабжения открытых и закрытых плавательных бассейнов; вода для мойки улиц и транспортных средств /4/.

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

При привязке КТАНов к местным условиям эти потребители могут дополнять или даже заменять основных потребителей теплоты, учтенных в приведенных выше расчётах, при соответствующем технико-экономическом обосновании, которое в значительной степени зависит от расстояния, на которое сторонний потребитель удален от котельной, в которой установлены КТАНы.

В котельных, работающих в закрытых системах теплоснабжения, остаток теплопроизводительности КТАНа может быть использован для подогрева обратной сетевой воды системы теплоснабжения. Однако подогрев обратной сетевой воды в КТАНах в течение отопительного периода в большинстве случаев не представляется возможным, так как её температура выше или сравнима с максимально-возможной температурой подогрева воды в КТАНе. Поэтому снижение температуры обратной сетевой воды по сравнению с настоящим уровнем является значительным резервом экономии топлива, так как позволяет полностью загрузить теплоутилизационное оборудование. Так, снижение температуры обратной сетевой воды в системе теплоснабжения до 20°С позволит полностью загрузить КТАН только за счёт указанного потребителя.

Таблица 4,1

Теплобалансовый расчет по возможным потребителям теплоты, КТАНа в водогрейной котельной. Нагрузка котла 100%. Расчетный режим.

Наименование		Размерность	Типы котлов						
			КВ-ГМ-4,65-150	КВ-ГМ-7,56-150	КВ-ГМ-10,63-150	КВ-ГМ-23,26-150	КВ-ГМ-35-150	КВ-ГМ-58,2-150	КВ-ГМ-116,3
Теплопроизводительность котла, Qк		МВт	4,65	7,56	11,63	23,26	35,0	58,2	116,3
Возможная теплопроизводительность КТАНа, Qкт		МВт	0,573	0,936	1,64	3,33	4,93	6,7	13,4
Потребители котельной для закрытой системы теплоснабжения	Расход теплоты на подогрев подпиточной воды (в МВт или в % от Qкт)	МВт	0,093	0,15	0,23	0,47	0,7	1,16	2,33
		%	16	16	14	14	14	17	17
	Расход теплоты на подогрев дутьевого воздуха (в МВт или в % от Qкт)	МВт	0,135	0,206	0,32	0,64	0,961	1,56	3,11
		%	23	22	20	19	19	23	23
	Итого (в МВт или в % от Qкт)	МВт	0,23	0,36	0,55	1,1	1,66	2,72	5,43
		%	39	38	34	33	33	40	40
Потребители котельной для открытой системы т/с или котельной с централизованным СВ	Расход теплоты на подогрев подпиточной воды или воды для централизованного горячего водоснабжения (в МВт или в % от Qкт)	МВт	0,649	1,06	1,63	3,26	4,88	8,14	16,28
		%	113	114	100	90	100	121	121

Теплобалансовый расчет по возможным потребителям теплоты КТАНа в водогрейной котельной. Нагрузка котла 60% от номинальной. Среднеотопительный режим.

Таблица 4.2

Наименование		Размерность	Типы котлов						
			КВ-ГМ-4,65-150	КВ-ГМ-7,56-150	КВ-ГМ-11,63-150	КВ-ГМ-23,26-150	КВ-ГМ-35,0-150	КВ-ГМ-58,2-150	КВ-ГМ-11,63-150
Теплопроизводительность котла, Qк		МВт	2,79	4,54	6,98	13,96	20,93	34,89	69,78
Возможная теплопроизводительность КТАНа, Qкт		МВт	0,286	0,466	0,76	1,60	2,43	3,49	6,86
Потребители котельной для закрытой системы теплоснабжения	Расход теплоты на подогрев подпиточной воды (в МВт или в % от Qкт)	МВт	0,093	0,15	0,23	0,47	0,69	1,16	2,33
		%	32,5	32,5	30,8	29	29	33	34
	Расход теплоты на подогрев дутьевого воздуха (в МВт или в % от Qкт)	МВт	0,047	0,073	0,113	0,227	0,338	0,555	1,105
		%	16	16	15	14	14	15,9	16
	Итого (в МВт или в % от Qкт)	МВт	0,14	0,224	0,345	0,692	1,036	1,716	3,43
		%	48,5	48,5	45,8	43	43	48,9	50
Котельная для открытой системы теплоснабжения	Расход теплоты на подогрев подпиточной воды или воды для централизованного горячего водоснабжения (в МВт или в % от Qкт)	МВт	0,649	1,06	1,63	3,26	4,88	8,14	16,28
		%	227	227	216	203	200	233	234

Теплобалансовый расчет по возможным потребителям теплоты КТАНа в котельной с чисто паровой нагрузкой. Расчетный режим.

Таблица 4.3

Наименование		Размерность	Типы котлов					
			ДКВР-2,5-13	ДКВР-4-13	ДКВР-6,5-13	ДКВР-10-13	ДКВР-20-13	ДКВР-35-13
Теплопроизводительность котла, $Q_к$		МВт	2,49	3,99	6,48	9,89	18,61	34,9
Возможная теплопроизводительность КТАНа, $Q_{кт}$		МВт	0,320	0,512	0,814	1,29	2,27	5,11
Расход теплоты на подогрев питательной воды при возврате конденсата: (в МВт или в % от $Q_{кт}$)	80%	МВт	0,04	0,063	0,102	0,15	0,293	0,52
		%	12	12	12,5	12	13	10
	50%	МВт	0,096	0,157	0,256	0,387	0,733	1,308
		%	30	30	30	30	32	25
	25%	МВт	0,147	0,235	0,384	0,593	1,10	1,965
		%	46	46	47	46	48	38
Расход теплоты на подогрев дутьевого воздуха (в МВт или в % от $Q_{кт}$)		МВт	0,07	0,11	0,179	0,274	0,512	0,983
		%	22	22	22	21	22	19
Итого при возврате конденсата (в МВт или в % от $Q_{кт}$)	80%	МВт	0,109	0,173	0,281	0,426	0,805	1,506
		%	34	34	34,5	33	35	29
	50%	МВт	0,167	0,267	0,435	0,662	1,24	2,29
		%	52	52	52	51	54	44
	25%	МВт	0,216	0,345	0,563	0,868	1,611	2,948
		%	68	68	69	67	70	57

Копировал Дубкова Формат А4 22967-01 5

Теплобалансовый расчет по возможным потребителям теплоты КТАНа в котельной с чисто паровой нагрузкой.
Нагрузка котла 60% от номинальной

Таблица 4.4

Наименование		Размерность	Типы котлов					
			ДКВР-2,5-13	ДКВР-4-13	ДКВР-6,5-13	ДКВР-10-13	ДКВР-20-13	ДКВР-35-13
Теплопроизводительность котла, Qк		МВт	1,49	2,4	3,88	5,93	11,16	22,1
Возможная теплопроизводительность КТАНа, Qкт		МВт	0,14	0,23	0,38			
Расход теплоты на подогрев питательной воды при возврате конденсата в МВт или в % от Qкт	80%	МВт	0,023	0,037	0,062	0,106	0,174	0,32
		%	16	16	16	16	16	13
	50%	МВт	0,058	0,098	0,16	0,079	0,44	0,79
		%	42	42	42	42	40	34
	25%	МВт	0,088	0,146	0,24	0,42	0,66	1,17
		%	63	63	63	63	60	50
Расход теплоты на подогрев дутьевого воздуха в МВт или в % от Qкт		МВт	0,026	0,04	0,064	0,098	0,187	0,353
		%	18	18	16,6	15	17	15
Итого при возврате конденсата в МВт или в % от Qкт	80%	МВт	0,049	0,077	0,126	0,204	0,362	0,668
		%	34	34	32,6	31	33	28
	50%	МВт	0,084	0,137	0,227	0,177	0,629	1,14
		%	60	60	58,6	57	57	59
	25%	МВт	0,114	0,186	0,308	0,516	0,85	1,528
		%	81	81	79,6	78	77	65

Таблица 4.5

Теплобалансовый расчет по возможным потребителям теплоты КТАНа в котельной с паровой и водогрейной нагрузкой.

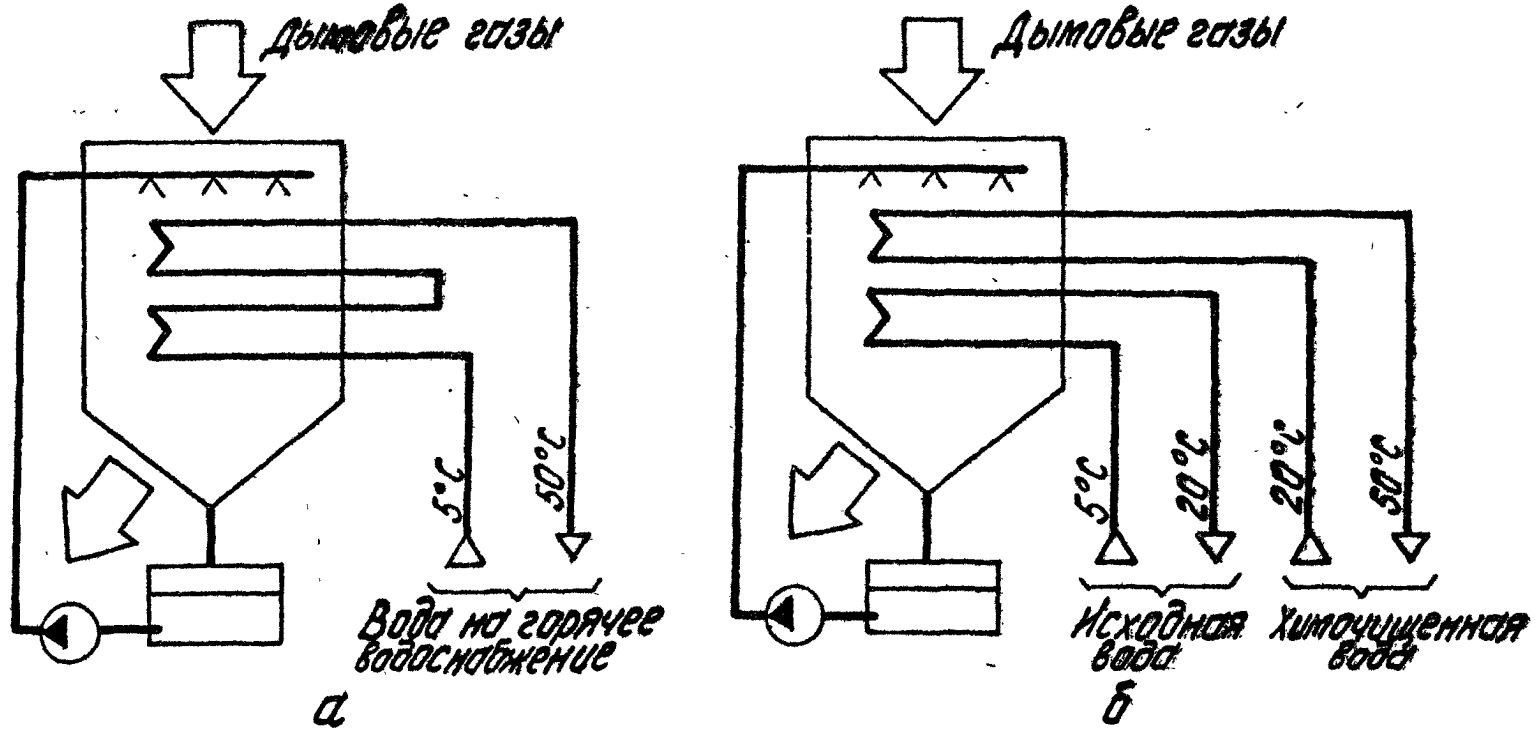
Нагрузка котлов 100%

Наименование			Размерность	Соотношение нагрузок котельной Qпар/Qвод, %		
				75/25	50/50	25/75
Потребители котельной в закрытой системе теплоснабжения (в процентах от возможной загрузки КТАНа)	Расход теплоты на подпитку т.с. и питание котлов при возврате конденсата	80	%	11	13	14
		50	%	25	22	19
		25	%	35	30	22
	Расход теплоты на подогрев дутьевого воздуха		%	20	20	20
	Итого при возврате конденсата	80	%	31	33	34
		50	%	45	42	39
		25	%	55	50	36
Потребители котельной в открытой системе теплоснабжения (в процентах от возможной загрузки КТАНа)	Расход теплоты на подпитку тепл. сети		%	27	54	81
	Расход теплоты на подогрев дутьевого воздуха		%	20	20	—
	Расход теплоты на питание паровых котлов при возврате конденсата	80	%	9	6	3
		50	%	22,5	15	7,5
		25	%	34	23	11,5
	Итого при возврате конденсата	80	%	56	80	84
		50	%	69,5	89	88,5
		25	%	81	97	92,5

Таблица 4.6

Тепловалансовый расчет по возможным потребителям теплоты КТАНа в котельной с паровой и водогрейной нагрузкой. Среднеотопительный режим. Нагрузка котла 60% от номинальной

Наименование			Соотношение нагрузок котельной Q пар / Q вод., %		
			75/25	50/50	25/75
Потребители котельной в закрытой системе теплоснабжения (в процентах от возможной загрузки КТАНа)	Расход теплоты на подпитку Т.С. и питание котлов при возврате конденсата	80	23	26	29
		50	41	38	36
		25	56	48	40
	Расход теплоты на подогрев дутьевого воздуха		15	15	15
	Итого при возврате конденсата	80	38	41	44
		50	56	53	51
		25	71	63	55
Потребители котельной в открытой системе теплоснабжения (в процентах от возможной загрузки КТАНа)	Расход теплоты на подпитку тепл. сети		68	125	187
	Расход теплоты на подогрев дутьевого воздуха		15	—	—
	Расход теплоты на питание паровых котлов при возврате конденсата	80	12	8	—
		50	30,5	21	—
		25	46	31	—
	Итого при возврате конденсата	80	95	133	187
		50	114,5	146	187
		25	129	156	187



* При необходимости химической обработки воды для централизованного горячего водоснабжения подключение КТАНа следует производить по схеме б.

Рис. 4.1 Схемы подключения КТАНа-утилизатора.

а*- в котельной с централизованной системой горячего водоснабжения;

б- в котельной с открытой или закрытой системами теплоснабжения.

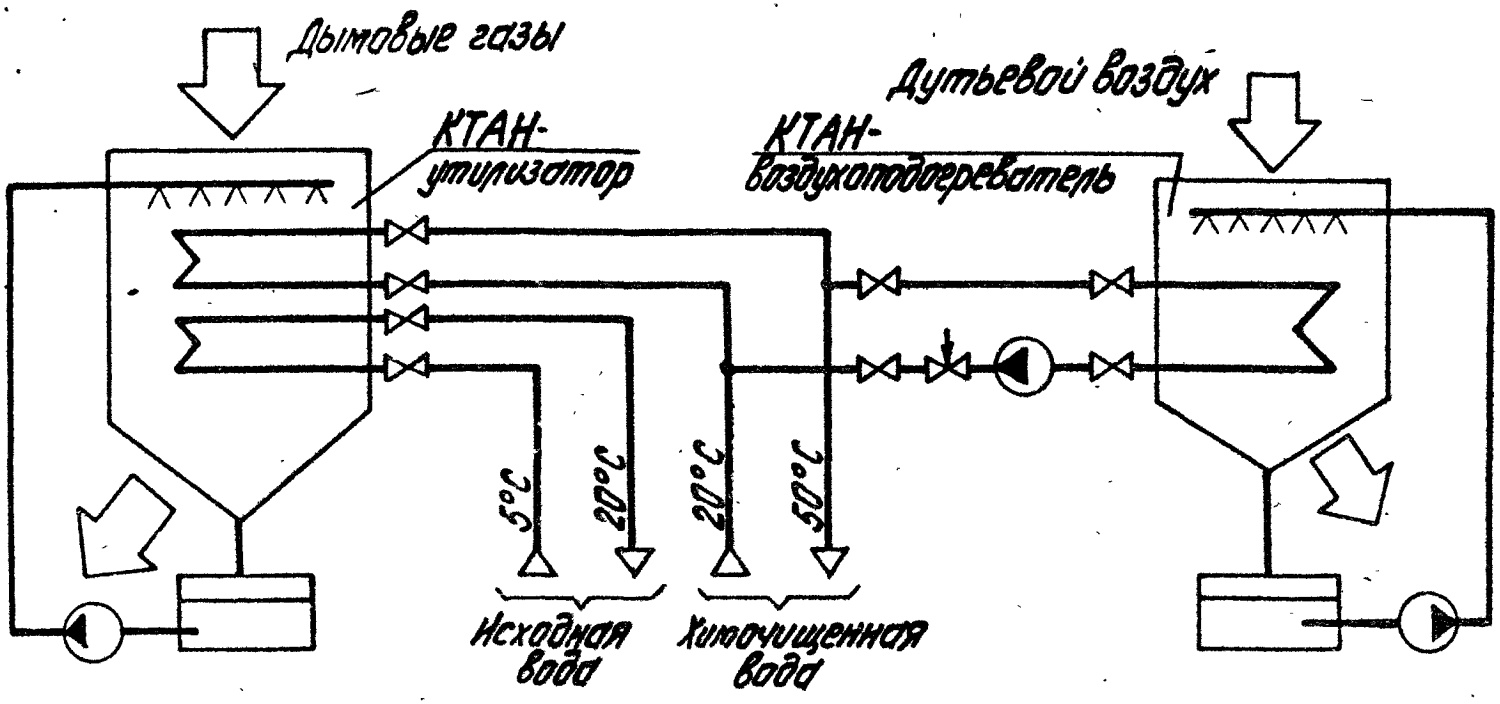


Рис. 4.2. Схема подключения КТАНа - воздухоподогревателя

4.3. Методика поверочного теплового расчёта КТАНов-утилизаторов

Перед проведением поверочного теплового расчёта следует в соответствии с изложенными выше рекомендациями выбрать из типоряда требуемый типоразмер КТАНа.

Поверочный тепловой расчёт выбранного из типового ряда КТАНа-утилизатора можно условно разбить на три части:

1) расчёт параметров дымовых газов на входе в КТАН,

2) теплобалансовый расчёт,

3) расчёт поверхности теплообмена.

В процессе поверочного расчёта добиваются совпадения значения расчётной поверхности нагрева с поверхностью нагрева, выбранного из типового ряда КТАНа-утилизатора, путём изменения параметров дымовых газов и воды на выходе из КТАНа при заданных начальных температурах.

Расчёт ведется методом последовательных приближений на максимальную тепловую нагрузку.

Расчёт состава и параметров газов на входе в КТАН в процессе проверочного теплового расчёта выполняется один раз и при последующих уточнениях не повторяется.

4.3.1. Исходные данные для поверочного теплового расчёта

Необходимые для расчёта исходные данные:

- по котлоагрегату, за которым устанавливается КТАН;

$t_г'$ - температура дымовых газов за котлом, ^{o}C;

α - коэффициент избытка воздуха за котлом (данные берутся на основании теплового расчёта котлоагрегата);

Инв № подл | Подпись и дата | Взам. инв №

B – расход топлива на котёл, м3/с;

– по параметрам дымовых газов и сжигаемого топлива:

Q_H^p – низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг;

ρ_T^c – плотность сухого топлива, кг/м3;

– теоретические объёмы продуктов сгорания на I м3 топлива при нормальных условиях:

V_{RO_2} – объём трехатомных газов, м3/м3;

V_{N_2} – объём азота, м3/м3;

$V_{H_2O}^o$ – объём водяных паров, м3/м3;

V_o – объём воздуха, теоретически необходимый для сгорания I м3 топлива, м3/м3;

d_B – влагосодержание воздуха, идущего на горение, кг/кг с.в. (при отсутствии данных $d_B = 0{,}01$ кг/кг с.в).

Теоретические объёмы продуктов сгорания определяются по методике, изложенной в /9/ по конкретному составу природного газа, выдаваемому эксплуатирующей организацией газового хозяйства для проектирования.

Данные по параметрам нагреваемой в КТАНе воды включают в себя:

i – количество нагреваемых потоков воды;

G_i – расход каждого "i" -го потока воды, кг/с;

$t_i^{вх}$, $t_i^{вых}$ – температуры каждого "i" -го потока воды на входе в КТАН и на выходе из КТАНа.

4.3.2. Расчёт параметров дымовых газов на входе в КТАН

Объём водяных паров в дымовых газах на I м3 топлива определяется по формуле:

$$V_{H_2O} = V^o_{H_2O} + [1,6\alpha(d_в - 0,01) + 0,0161\cdot(\alpha - 1)\cdot V_o \quad , \text{м3/м3 (4.3.I)},$$

где $d_в$ – влагосодержание воздуха, кг/кг с.в.;

$V^o_{H_2O}$ – теоретический объём водяных паров в дымовых газах при α = I, м3/м3.

Объём дымовых газов на I м3 топлива:

$$V_г = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1)\cdot V_o \quad , \text{м3/м3 (4.3.2)},$$

где

V_{RO_2} – объём трехатомных газов, м3/м3;

V_{N_2} – объём азота, м3/м3;

V_o – объём воздуха, м3/м3;

α – коэффициент избытка воздуха.

Массовый расход сухих дымовых газов на I м3 топлива:

$$G^c_г = V_{RO_2}\cdot\rho_{RO_2} + V_{N_2}\cdot\rho_{N_2} + V_o\cdot\rho_o\cdot(\alpha - 1) \quad , \text{кг/м3 (4.3.3)},$$

где $\rho_{RO_2}, \rho_{N_2}, \rho_o$ – плотности трехатомных газов, азота и воздуха, кг/м3:

ρ_{RO_2} = I,96; ρ_{N_2} = I,25; ρ_o = I,29.

Массовый расход влажных дымовых газов на I м3 топлива:

$$G_г = \rho^c_т + V_o\cdot 1,306\cdot\alpha(1 + d_в - 0,01) \quad , \text{кг/м3 (4.3.4)},$$

где

$\rho^c_т$ – плотность сухого топлива, кг/м3;

$d_в$ – влагосодержание воздуха при подаче его в котёл, кг/кг с.в., при отсутствии данных $d_в$ = 0,0I $\frac{\text{кг}}{\text{кг с.в.}}$.

Влагосодержание дымовых газов на входе в КТАН:

$$d' = \frac{G_r - G_r^c}{G_r^c} \quad , \text{кг/кг с.г.} \quad (4.3.5).$$

Энтальпия дымовых газов на входе в КТАН:

$$J' = c_{cr} \cdot t_r' + d' \cdot (c_n \cdot t_r' + r) \quad , \text{кДж/кг с.г.} \quad (4.3.6),$$

где

c_{cr} – теплоёмкость сухих газов, которую в расчётах можно принять $c_{cr} = 1$ кДж/кг · °С ;

c_n – теплоёмкость пара принимается $c_n = 1{,}97$ кДж/кг · °С;

r – внутренняя теплота парообразования принимается $r = 2491$ кДж/кг.

4.3.3. Теплобалансовый расчёт

Порядок теплобалансового расчёта КТАНа-утилизатора зависит от соотношения возможной теплопроизводительности КТАНа и имеющейся тепловой нагрузки потребителей воды, нагреваемой в КТАНе. Рекомендации по загрузке КТАНов возможными потребителями приведены в разделе 4.2. В том случае, когда возможная теплопроизводительность КТАНа ниже имеющейся тепловой нагрузки, расчёт ведётся следующим образом.

1. Задаются температурой дымовых газов за КТАНом – t_r'' и коэффициентом, учитывающим обвод дымовых газов помимо КТАНа – η об. (рекомендуется для первоначального расчёта принимать температуру $t_r'' = 40$°С).

По таблице 4.7 определяют энтальпию J_r'' и влагосодержание d'' дымовых газов на выходе из КТАНа в зависимости от t_r''.

Копировал 22967-01 65 Формат А4

Коэффициент, учитывающий обвод дымовых газов – η об., должен обеспечить после смешения дымовых газов, выходящих из КТАНА и дымовых газов, проходящих помимо КТАНа, такую температуру, при которой исключается конденсация водяных паров из дымовых газов в газоходах и в дымовой трубе. Рекомендуемые значения коэффициента обвода и методика его определения приведены в разделе 5 настоящих рекомендаций.

В тех случаях, когда КТАН устанавливается за одним из нескольких работающих в котельной котлов, коэффициент η об. принимается равным – 0,9 и, следовательно, 10% дымовых газов пойдут помимо КТАНа. Такой величины отвода дымовых газов достаточно для предотвращения конденсации водяных паров из дымовых газов на участке от КТАНа до общего для нескольких или всех котлов котельной борова.

2. Определяется теплопроизводительность КТАНа со стороны дымовых газов. Если теплопроизводительность котла при установке КТАНа не меняется:

$$Q_{КТ} = G_г^c \cdot \Delta J \cdot B \cdot \eta_{об} \quad , \text{кДж/ч} \quad (4.3.7).$$

В том случае, когда теплопроизводительность котла уменьшается за счёт покрытия части нагрузки котла КТАНом:

$$Q_{КТ} = \frac{Q_н^р \cdot \eta_К}{Q_н^р \cdot \eta_К + \eta_{об} \cdot \Delta J \cdot G_г^c} \cdot B \cdot G_г^c \cdot \Delta J \quad , \text{кДж/ч} \quad (4.3.8),$$

где $\Delta J = (J_г' - J_г'')$ – разность энтальпии дымовых газов на входе в КТАН и выходе из КТАНа, кДж/кг;

B – расход топлива на котёл без установки КТАНа;

$\eta_К$ – к.п.д. котла;

$Q_н^р$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/м3.

Таблица 4.7.

Параметры дымовых газов на выходе из КТАНа

Температура дымовых газов $t_г''$, °С	Влагосодержание дымовых газов d'', кг/кг	Энтальпия дымовых газов I'', кДж/кг
25	0,018	70,95
30	0,024	91,46
35	0,032	117,25
40	0,044	153,46
45	0,056	189,92
50	0,078	252,5
55	0,102	320,73

Величину ΔJ также можно определить по номограммам 4.I, зная величину $t''_г$, $t'_г$ и d'.

3. Определяется расход нагреваемой воды:

$$G_в = \frac{Q_{кт} \cdot 0{,}98}{c_в \cdot (t_в'' - t_в') \cdot 10^3}, \text{ кг/с} \quad (4.3.9),$$

где

$t_в', t_в''$ – температуры нагреваемой воды на входе в КТАН и выходе из КТАНа, °С;

$c_в$ = 4,I86 кДж/кг ·°С – теплоёмкость воды.

4. Если тепловая нагрузка имеющихся в котельной потребителей нагретой в КТАНе воды ниже возможной теплопроизводительности КТАНа, то первоначально определяется теплопроизводительность КТАНа по нагреваемой воде:

$$Q_{кт} = c_в \cdot G_в \cdot (t_в'' - t_в') \cdot \frac{10^3}{0{,}98}, \text{ кДж/ч} \quad (4.3.I0).$$

5. Затем, задаваясь температурой дымовых газов за КТАНом $t''_г$, определяют величину η об. по следующим формулам:

– если теплопроизводительность котла при установке КТАНа не меняется:

$$\eta_{об} = \frac{Q_{кт}}{G_г^e \cdot \Delta J \cdot B} \quad (4.3.II);$$

– если теплопроизводительность котла при установке КТАНа снижается на долю теплопроизводительности КТАНа:

$$\eta_{об} = \frac{Q_н^p \cdot \eta_к \cdot Q_{кт}}{\Delta J \cdot G_г^e \cdot (B \cdot Q_н^p \cdot \eta_к - Q_{кт})} \quad (4.3.I2).$$

6. Формулы 4.3.9 и 4.3.10 приведены для случая, когда в КТАНе производится нагрев только одного потока воды, однако конструкция любого КТАНа из типового ряда, кроме КТАНа-0,5УГ, позволяет нагреть в нем не менее двух потоков воды различного качества. Возможное количество потоков, которое можно нагреть в КТАНе, определяется числом блоков активной насадки (см.рис.3.1 ÷ 3.10). При нагреве в КТАНе нескольких потоков воды с различными температурами необходимо соблюдать правило, согласно которому потоки воды с меньшей температурой направляются в нижние слои насадки КТАНа, а потоки с большей температурой – в верхние слои.

Теплопроизводительность КТАНа в этом случае определяется по формуле:

$$Q_{кт}=\left(\sum_{i=1}^{i=j} c_в \cdot G_i^н \cdot (t_i^{н''}-t_i^{н'})+\sum_{i=1}^{i=K} c_в \cdot G_K^в (t_i^{в''}-t_i^{в'})\right)\cdot\frac{10^3}{0{,}98}, \text{ кДж/ч} \quad (4.3.13),$$

где

j – число потоков воды, нагреваемых в верхних блоках насадки;

K – число потоков воды, нагреваемое в нижних блоках насадки;

– индекс "н" относится к потокам воды, подаваемым в нижние блоки насадки;

– индекс "в" относится к потокам воды, подаваемым к верхние блоки насадки;

G_i – расход i-го потока нагреваемой в КТАНе воды, кг/с;

t_i' и t_i'' – температуры i-го потока нагреваемой воды на входе в КТАН и выходе из КТАНа.

7. Для возможности определения требуемой поверхности нагрева для КТАНа, в котором нагревается несколько потоков воды, требуется определить средневзвешенные температуры воды и её эквивалентный расход.

Средневзвешенная температура воды на входе в КТАН:

$$t_в' = \frac{\sum_{i=1}^{i=K} G_i'' \cdot t_i''}{\sum_{i=1}^{i=K} G_i''} \quad ,^{\circ}C \qquad (4.3.14).$$

Средневзвешенная температура воды на выходе из КТАНа:

$$t_в'' = \frac{\sum_{i=1}^{i=K} G_i^в \cdot t_i^{в''}}{\sum_{i=1}^{i=K} G_i^в} \quad ,^{\circ}C \qquad (4.3.15).$$

Эквивалентный расход воды, нагреваемой в КТАНе:

$$G_в = \frac{Q_{кт} \cdot 0{,}98}{c_в (t_в'' - t_в') \cdot 10^3} \quad , кг/с \qquad (4.3.16).$$

4.3.4. Расчёт поверхности теплообмена

I. Определяется объёмный расход дымовых газов в активной насадке КТАНа:

$$V = V_г \cdot B \cdot \eta_{об} \cdot \frac{273 + t_г^{ср}}{273} \quad , м3/с \qquad (4.3.17),$$

где

$t_г^{ср}$ – средняя температура дымовых газов в насадке, $^{\circ}C$.

Среднюю температуру дымовых газов в насадке рекомендуется принимать равной $t_г^{ср} = 70^{\circ}C$, близкой к температуре мокрого термометра.

Инв № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

2. Скорость дымовых газов в активной насадке рассчитывается по формуле:

$$w_г = \frac{V}{S_г^{пр} \cdot 3600}, \text{ м/с} \quad (4.3.18),$$

где

$S_г^{пр}$ – проходное сечение активной насадки по дымовым газам, м2, выбирается по таблице 3.1.

3. Аналогично определяется скорость нагреваемой в КТАНе воды:

$$w_в = \frac{G_в}{S_в^{пр} \cdot 3600}, \text{ м/с} \quad (4.3.19),$$

где

$S_в^{пр}$ – проходное сечение КТАНа по нагреваемой воде, м2, выбирается по таблице 3.1.

4. Коэффициент теплоотдачи со стороны дымовых газов к насадке $\alpha_г$ зависит от скоростей дымовых газов и нагреваемой воды, определяется по номограмме 4.2 или по формуле:

$$\alpha_г = 110 \cdot w_г^{0,8} \cdot w_в^{0,2}, \frac{\text{Вт}}{\text{м2} \cdot {}^\circ\text{С}} \quad (4.3.20).$$

5. Коэффициент теплоотдачи от трубок насадки к нагреваемой воде $\alpha_в$ определяется по номограмме 4.3 в зависимости от скорости $w_в$ и средней температуры $t_в^{ср}$ нагреваемой воды и внутреннего диаметра трубок насадки $d_в$ или по формулам:

$$\alpha_в = (1400 + 18 \cdot t_в^{ср} - 0{,}035 \cdot t_в^{ср^2}) \frac{w_в^{0,8}}{d_в^{0,2}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м2} \cdot {}^\circ\text{С}} \quad (4.3.21),$$

где $t_в^{ср} = \frac{t_в' + t_в''}{2}$.

6. Коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$K = \frac{C}{\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_в}}, \frac{Вт}{м2 \cdot °C} \quad (4.3.22),$$

где

C – коэффициент, учитывающий наружные и внутренние загрязнения трубок;

– для химочищенной воды $C = 0,9 + 1,0$;

– для исходной воды $C = 0,8 + 0,9$;

– δ – толщина стенки трубки, м;

– λ – теплопроводность трубки, $\lambda = 45 \frac{Вт}{м \cdot °C}$.

7. Рассчитывается логарифмическая разность температур теплоносителей:

$$\Delta t_L = \frac{(t_г' - t_в'') - (t_г'' - t_в')}{\ln \frac{(t_г' - t_в'')}{(t_г'' - t_в')}}, °C \quad (4.3.23).$$

8. Требуемая поверхность нагрева активной насадки КТАНа определяется по формуле:

$$F = \frac{Q_{КТ}}{K \cdot \Delta t_L}, м2 \quad (4.3.24).$$

Полученную поверхность сравнивают с поверхностью КТАНа, если при этом

$$\left| \frac{F - F_{КТ}}{F_{КТ}} \right| \leqslant 0,05 \quad (4.3.25),$$

где

$F_{КТ}$ – поверхность нагрева КТАНа, м2 (см.табл.3.I), то считается, что расчётная и фактическая поверхности практически совпадают и расчёт окончен.

В противном случае необходимо, изменяя входные параметры теплоносителей, добиваться выполнения неравенства 4.3.25.

В том варианте, когда тепловая нагрузка потребителей превышает возможную теплопроизводительность КТАНа, необходимо задаваться новыми значениями температуры дымовых газов.

При изменении температуры дымовых газов необходимо действовать следующим образом:

- если расчётное значение поверхности нагрева превышает фактическое (F больше $F_{кт}$), то необходимо повысить температуру дымовых газов на выходе из КТАНа, тогда теплопроизводительность КТАНа понизится и соответственно уменьшится расход нагреваемой воды.

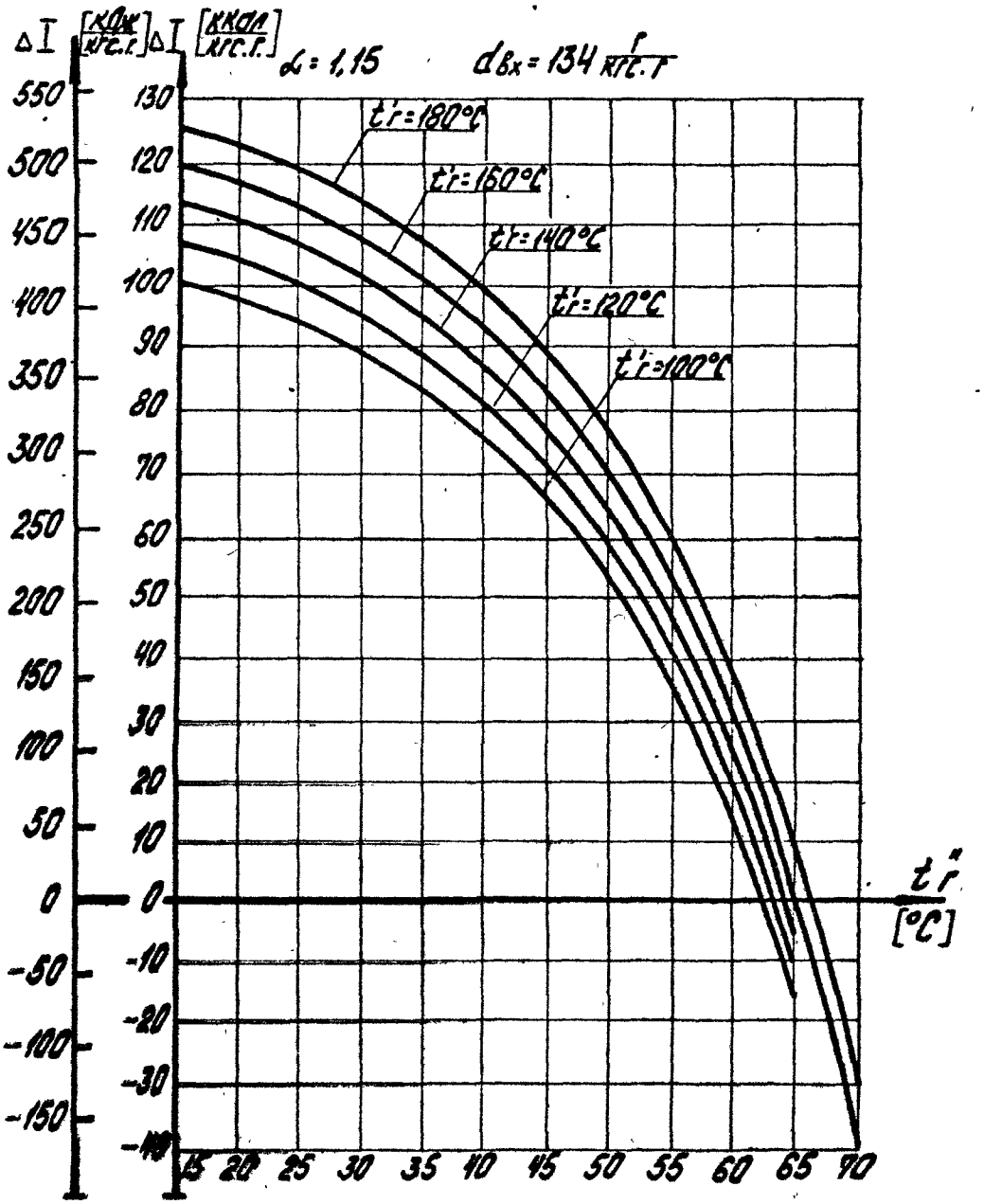
При этом необходимо помнить, что охлаждение дымовых газов в КТАНе должно происходить с конденсацией водяных паров, поэтому температура дымовых газов на выходе из КТАНа не должна превышать 50 + 55°С:

- если расчётное значение поверхности нагрева меньше фактического (F меньше $F_{кт}$), необходимо понизить температуру дымовых газов на выходе из КТАНа, при этом теплопроизводительность КТАНа повысится и соответственно увеличится расход нагреваемой воды.

Примеры тепловых расчётов КТАНов приведены в разделе 7.

В случае, когда тепловая нагрузка потребителей ниже возможной теплопроизводительности КТАНа, необходимо для выполнения неравенства изменять коэффициент, учитывающий обвод дымовых газов, при этом изменяется температура дымовых газов за КТАНом, а теплопроизводительность КТАНа остаётся неизменной.

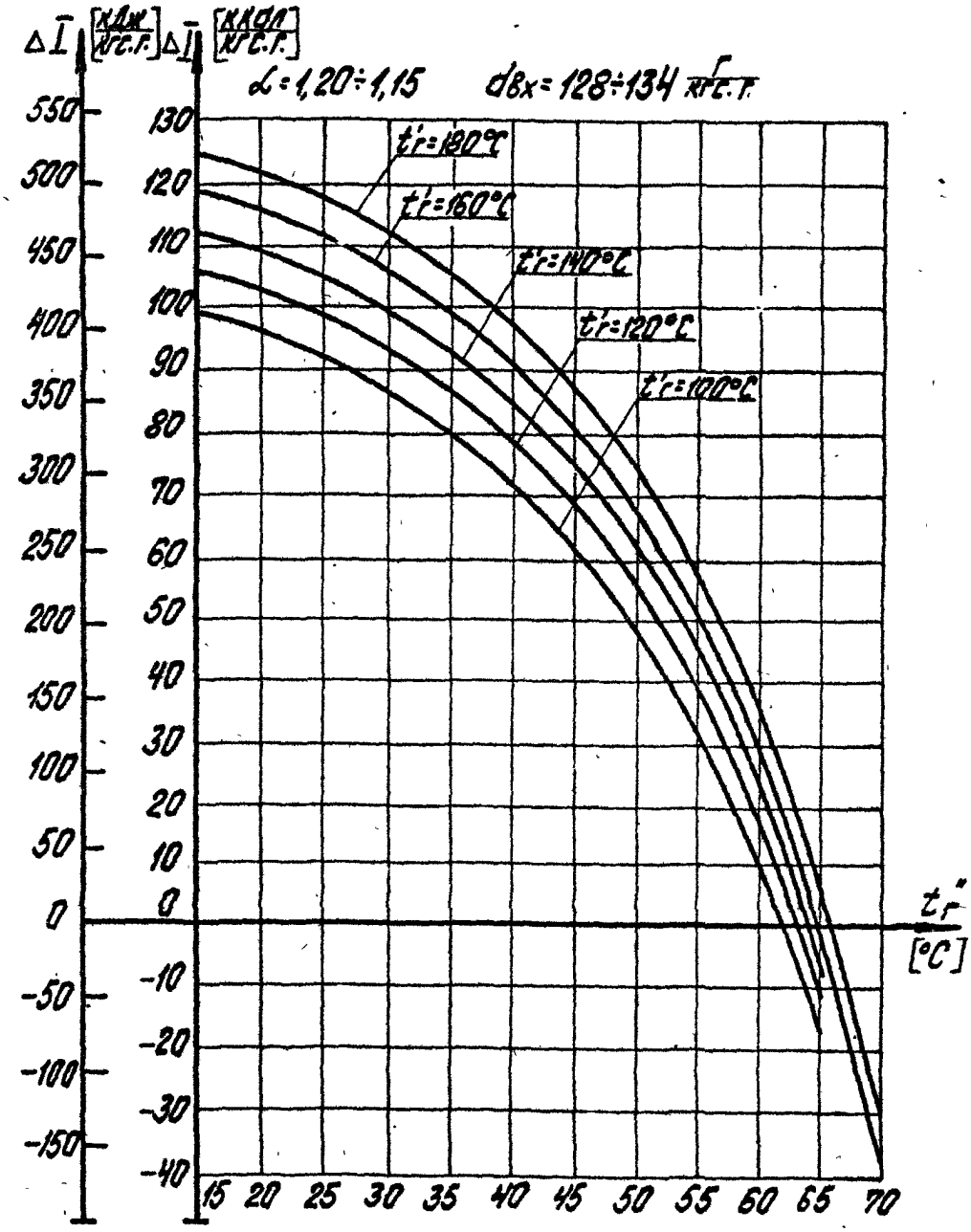
Изменение значения коэффициента обвода дымовых газов производится следующим образом:



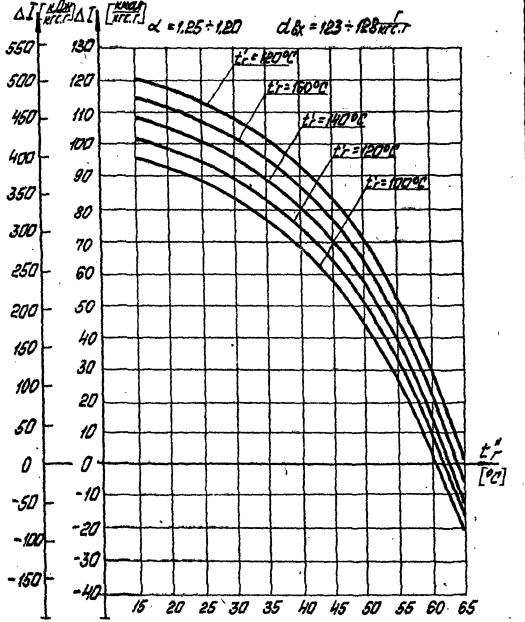
Номограмма 4.1. Определение разности энтальпии бытовых газов на входе в КТАН и на выходе из КТАНа.

Альбом 1

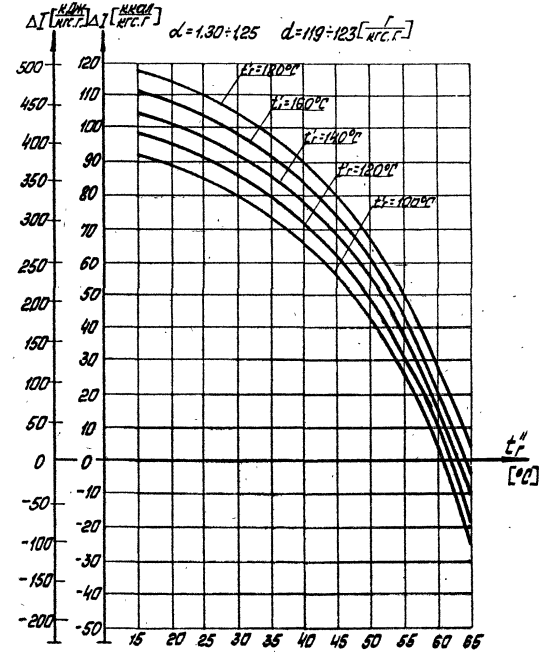
Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №



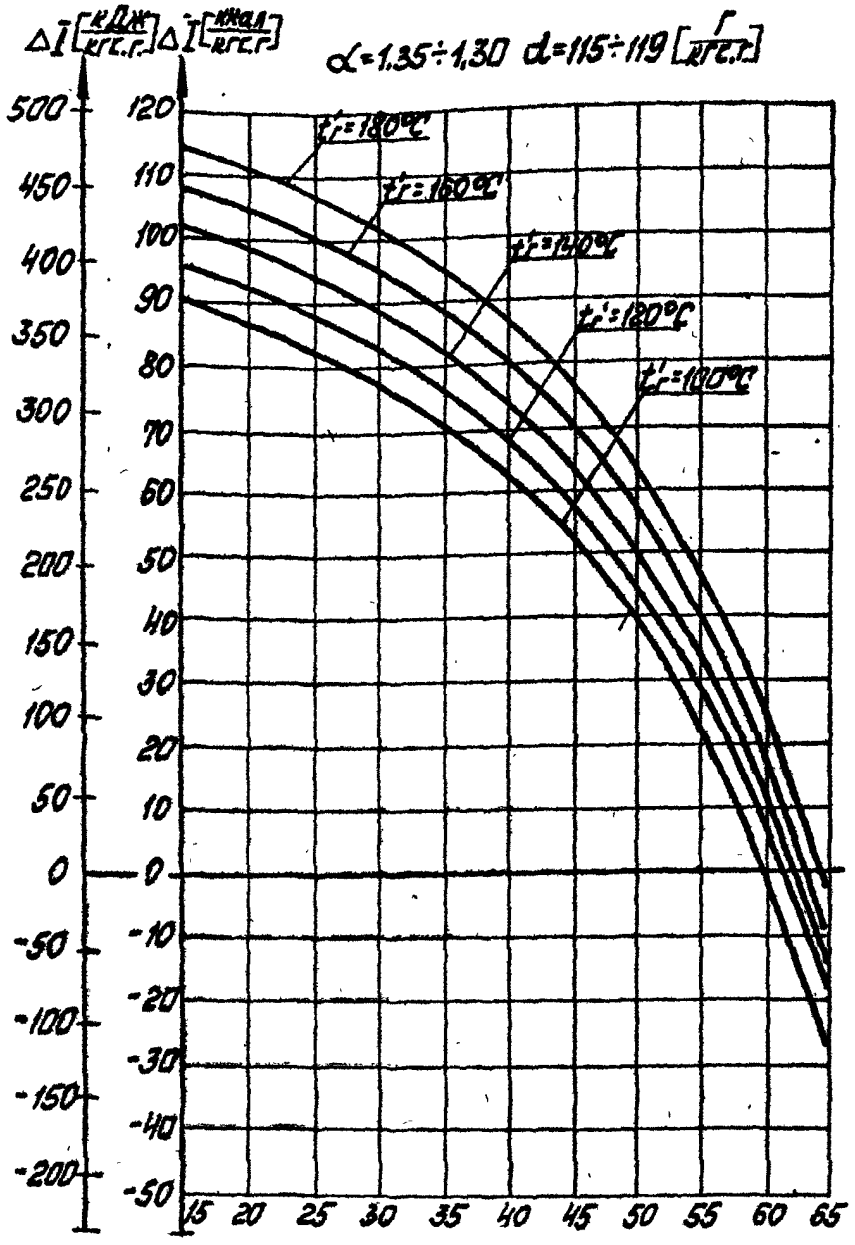
Номограмма 4.1. (продолжение) Определение разности энтальпии дымовых газов на входе в КТАН и на выходе из КТАНа.



Номограмма 4.1 Определение разности энтальпии дымовых газов на входе в КТАН и на выходе из КТАНа.
(продолжение)



Номограмма 4.1. (продолжение) Определение разности энтальпии дымовых газов на входе в КТАН и на выходе из КТАНа.



Номограмма 4.1. (продолжение) Определение разности энтальпии дымовых газов на входе в КТАН и на выходе из КТАНа

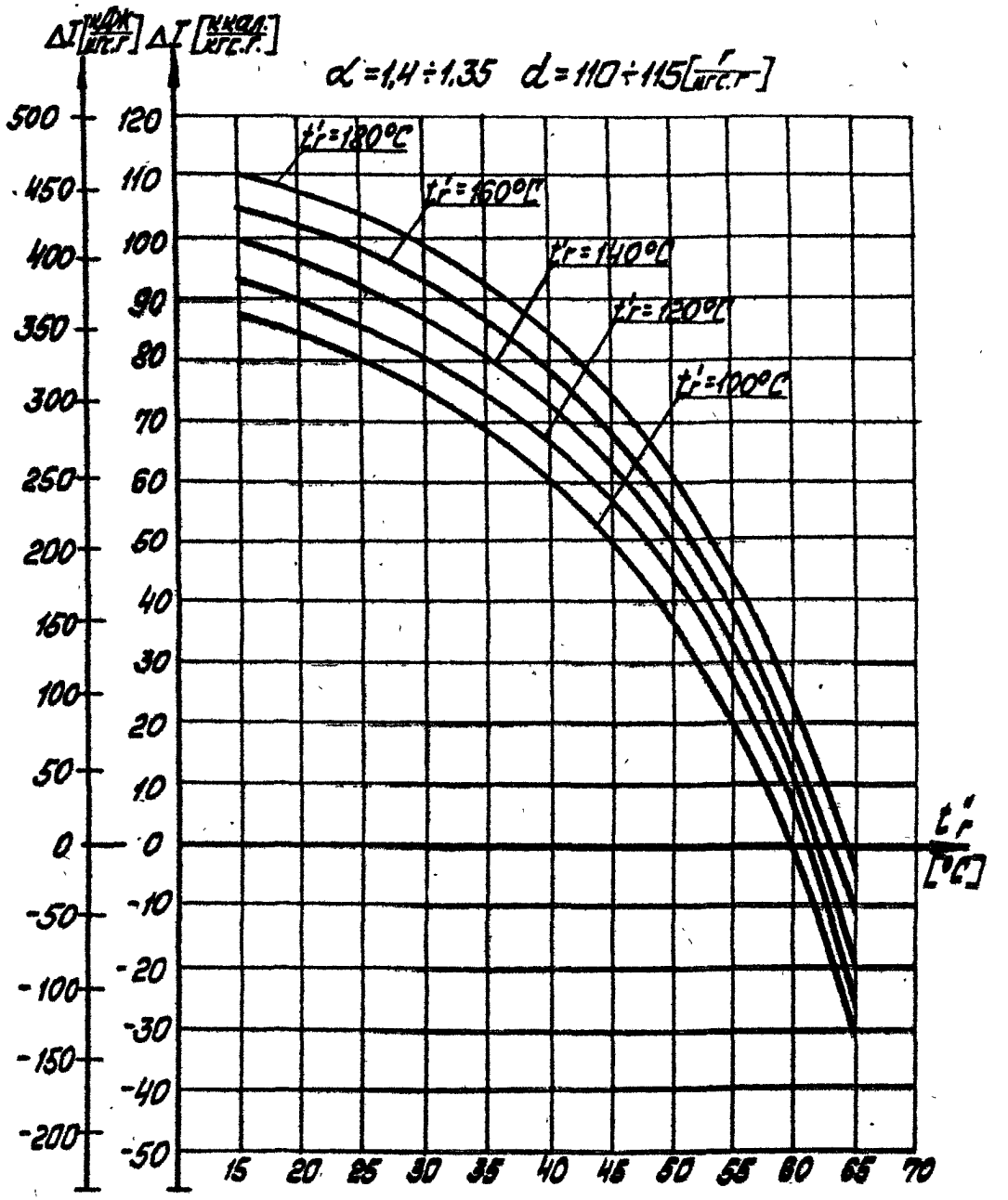
903-01-258.87

Лист 72

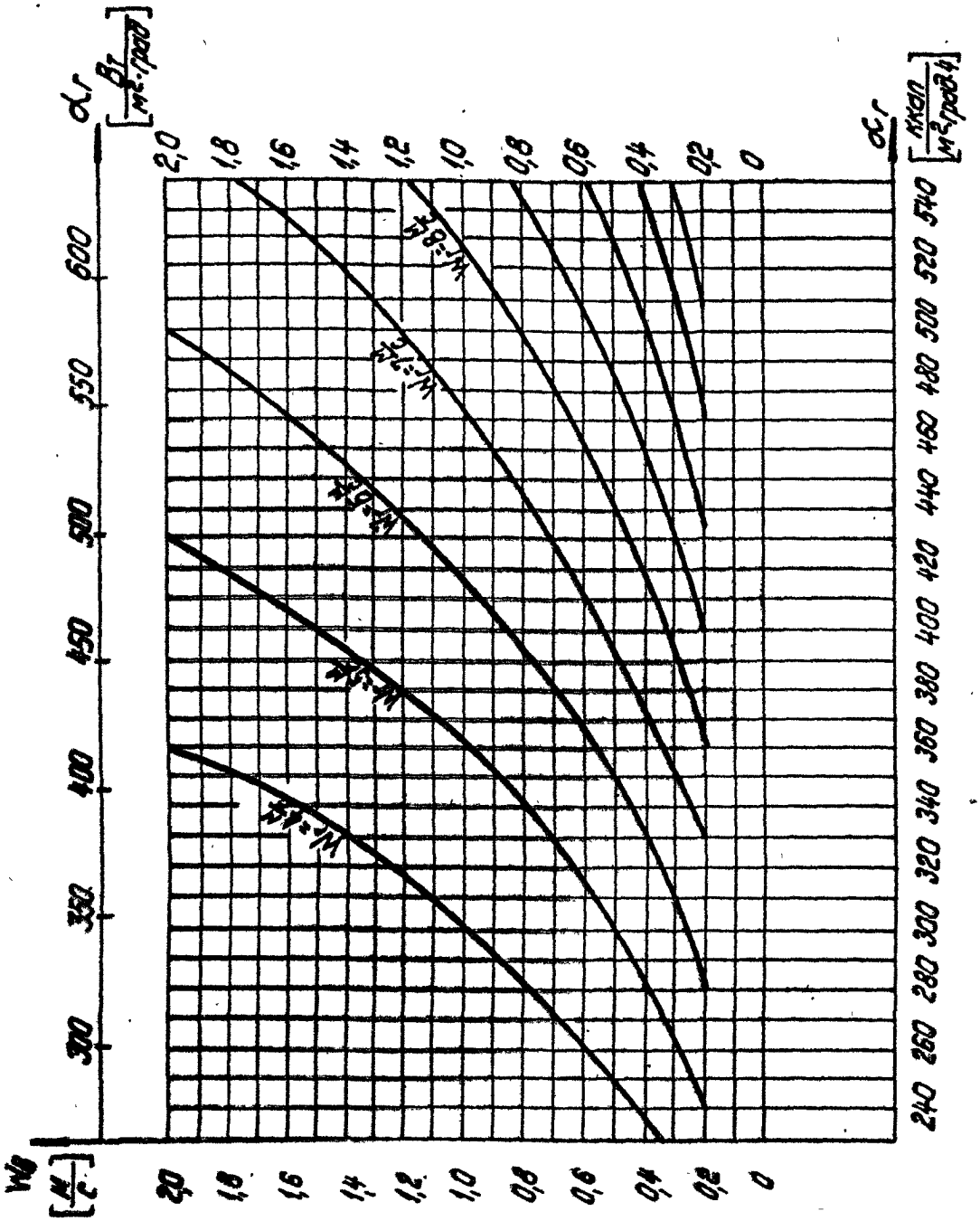
Копировал Мак

Формат А4 22967-01

Инв № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. №

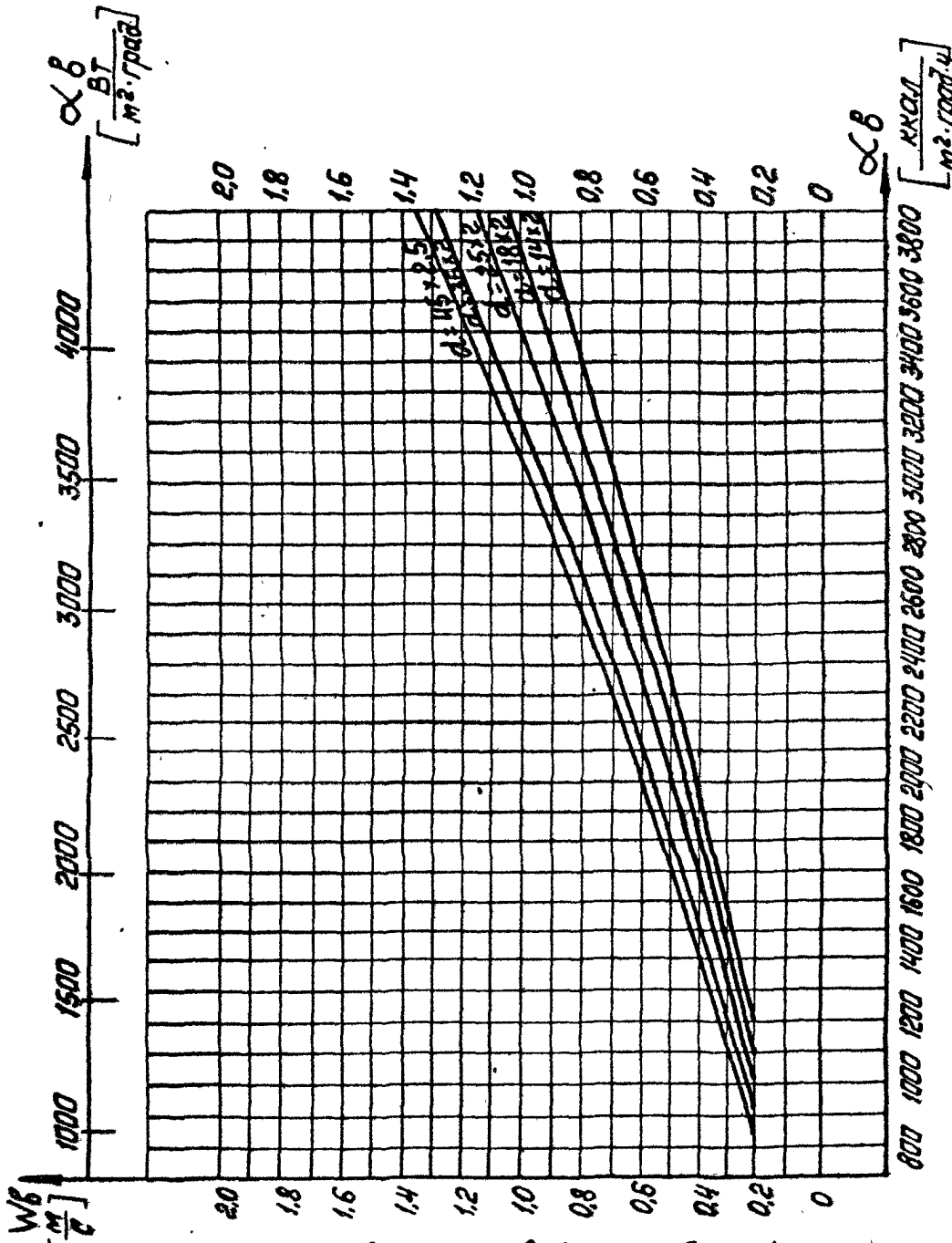


Номограмма 4.1. Определение разности энтальпий (продолжение) дымовых газов на входе в КТАН и на выходе из КТАНа.



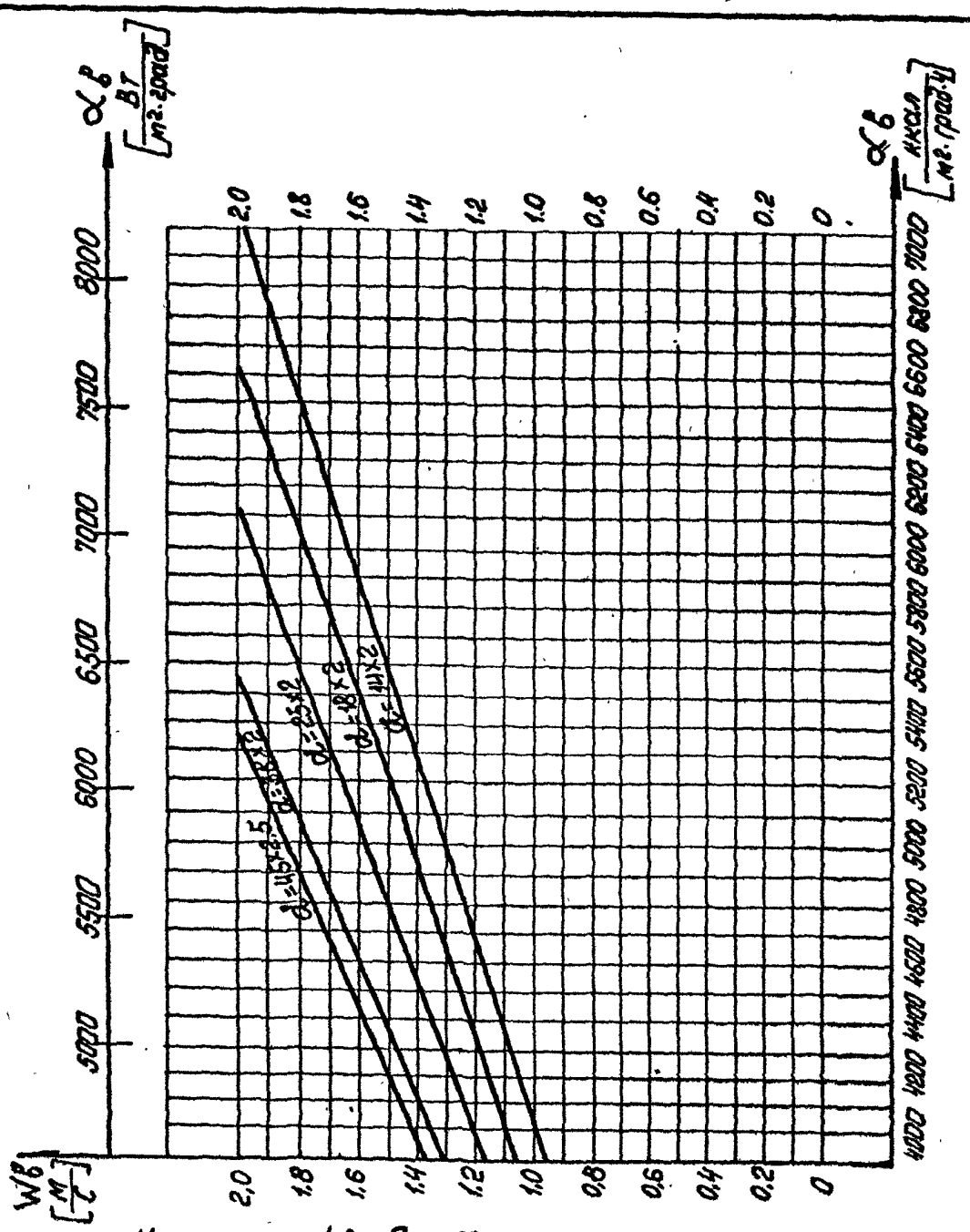
Номограмма 4.2. Определение коэффициента теплоотдачи от дымовых газов к трубкам насадки.

Номограмма 4.2. Определение коэффициента теплоотдачи (продолжение) от дымовых газов к трубкам насадки.



Номограмма приведена для воды, нагреваемой от 5°С до 20°С, в случае нагрева воды от 20°С до 50°С $\alpha_в = \alpha_в^н \times 1{,}227$.

Номограмма 4.3. Определение коэффициента теплоотдачи от воды к трубкам насадки.



Номограмма 4.3. Определение коэффициента (продолжение) теплоотдачи от воды к трубкам насадки.

– если F больше $F_{кт}$, увеличиваем коэффициент обвода, тем самым увеличивая расход дымовых газов через КТАН и уменьшая расчётную поверхность нагрева;

– если F меньше $F_{кт}$, уменьшаем коэффициент обвода, что в свою очередь ведёт к уменьшению расхода дымовых газов через КТАН и увеличению расчётной поверхности нагрева.

4.3.5. Поверочный тепловой расчёт КТАНов на ЭВМ

Для облегчения проведения поверочного теплового расчёта КТАНов Латгипропромом разработана программа расчёта на ЭВМ. Программа расчёта КТАНов имеет название "КТАН", написана на языке программирования FORTRAN-4, реализована на базе МИНИ-ЭВМ СМ-4.

Программа теплового расчёта КТАНов предназначена для:

– полуавтоматического выбора КТАНа из типоряда путём выбора и дальнейшего поверочного расчёта двух типоразмеров КТАНов. При этом номинальная теплопроизводительность одного из выбранных КТАНов больше, а второго КТАНа – меньше расчётной;

– проверки КТАНа из типоряда по конкретным исходным данным.

Входные данные программы:

– марка котла;

– расход топлива на котёл, м3/с;

– температура дымовых газов на входе в КТАН, °С;

– температура дымовых газов на выходе из КТАНа, °С;

– массовый удельный расход сухих дымовых газов, кг/м3;

– массовый удельный расход влажных дымовых газов, м3/м3;

– влагосодержание дымовых газов на выходе из КТАНа, кг/кг;

– доля дымовых газов, проходящих через КТАН;

- температура воды на входе в КТАН, °С;
- температура воды на выходе из КТАНа, °С.

В программе предусмотрены 3 режима работы:

1 - выбор КТАНа;

2 - проверка КТАНа;

3 - конец.

Программа содержит по 10 значений следующих характеристик КТАНов из типоряда: теплопроизводительность, МВт; проходное сечение по воде, м2; проходное сечение по дымовым газам, м2; внутренний диаметр трубок насадки, м; поверхность теплообмена, м2; марка КТАНа.

Режим выбора служит для полуавтоматического выбора КТАНа из типоряда путём поверочного расчёта двух типоразмеров теплообменников, значение теплопроизводительности которых одного - больше, а другого - меньше.

Режим проверки служит для расчёта КТАНа из типоряда по конкретным исходным данным.

Режим "конец" служит для окончания работы.

Выходные данные программы:

- тип котла;
- доля дымовых газов, проходящих через КТАН;
- температура дымовых газов, °С;
- расход топлива, м3/с;
- объём дымовых газов, м3/с;
- марка КТАНа;
- проходное сечение по воде, м2;
- проходное сечение по дымовым газам, м2;
- поверхность нагрева, м2;

- температура дымовых газов на выходе из КТАНа, ^{o}C;
- теплопроизводительность КТАНа (I прибл.), МВт;
- теплопроизводительность КТАНа, МВт;
- коэффициент теплопередачи, Вт/м2 $\cdot^{o}C$;
- поверхность теплообмена (I прибл.), м2;
- поверхность теплообмена, м2;
- уточненная температура дымовых газов на выходе из КТАНа, ^{o}C;
- уточненный коэффициент теплопередачи, Вт/м2 $\cdot^{o}C$;
- скорость воды в насадке, м/с;
- скорость дымовых газов, м/с.

4.4. Аэродинамический расчёт газового тракта котлоагрегатов при установке КТАНов

4.4.I. Методика аэродинамического расчёта

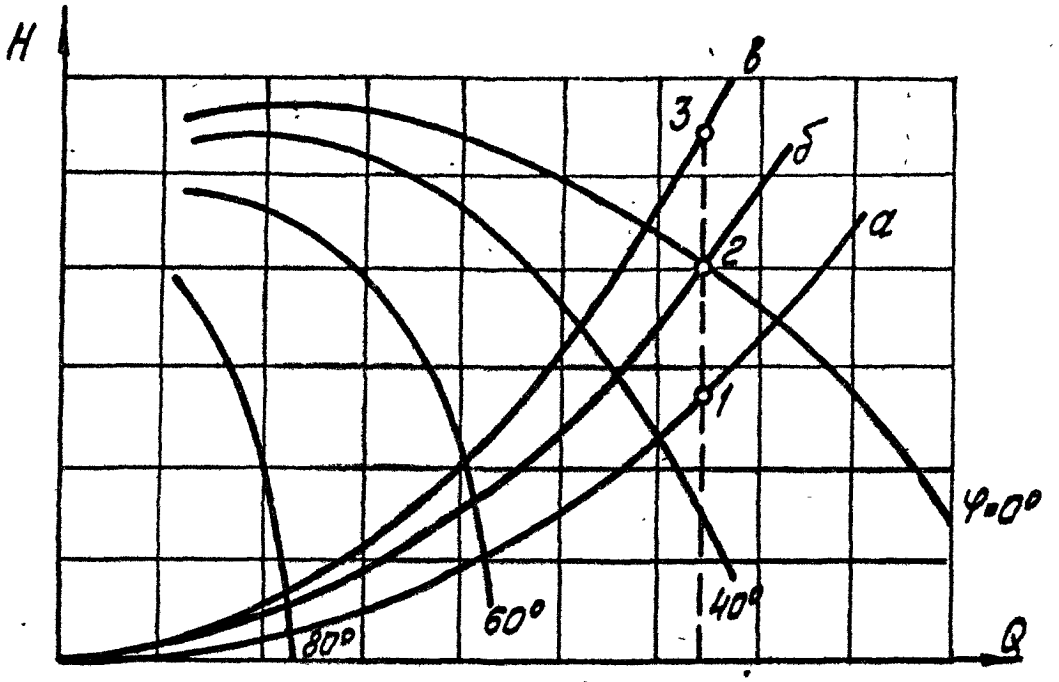
При проектировании котельных с КТАНами или при установке КТАНов в существующих котельных необходимо выполнить аэродинамические расчёты газовых трактов котлоагрегатов для правильного выбора дымососов.

Аэродинамические расчёты выполняются по общепринятой методике, изложенной в /I0/.

Возможны два случая включения КТАНов в газовый тракт котлоагрегатов с точки зрения аэродинамики:

- установка КТАНа по ходу дымовых газов после дымососа;
- установка КТАНа по ходу дымовых газов перед дымососом.

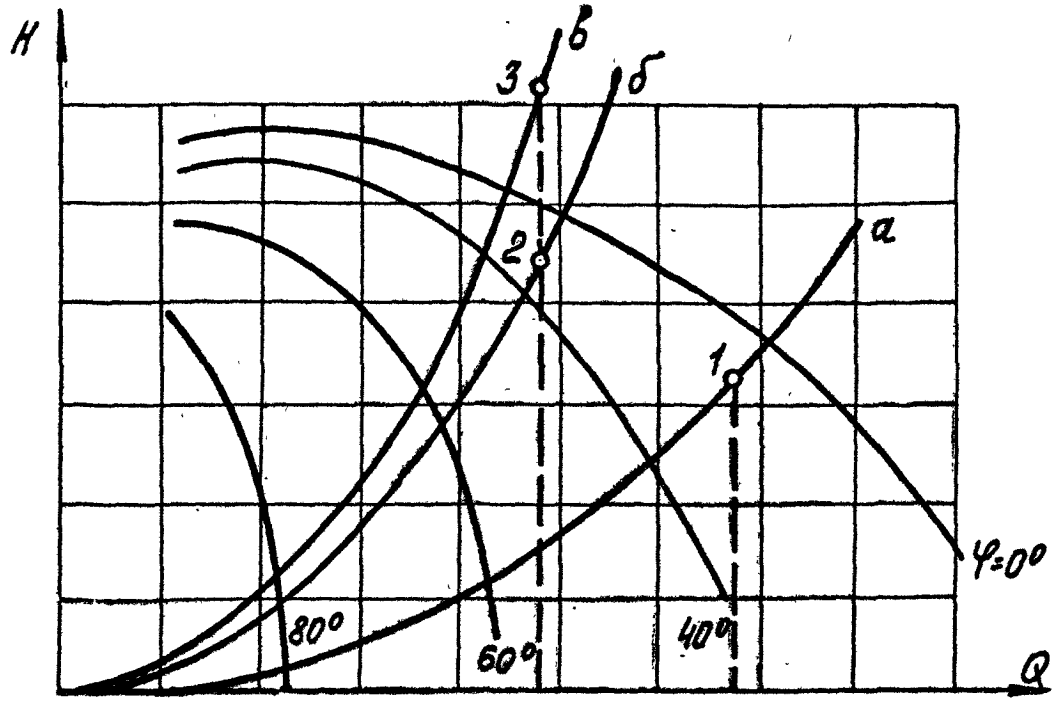
В обоих случаях, в варианте установки котла с КТАНом по сравнению с вариантом установки котла без КТАНа, аэродинамическое



а - характеристика газового тракта при установке котла без КТАНа;

б,в - характеристика газового тракта при установке КТАНа за дымососом

Рис. 4.3 Характеристика дымососа



а - характеристика газового тракта при установке котла без КТАНа;

б, в - характеристика газового тракта при установке КТАНа перед дымососом

Рис. 4.4 Характеристика дымососа

сопротивление газового тракта возрастает, так как некоторое снижение аэродинамического сопротивления участка тракта от КТАНа до дымовой трубы, вызванное уменьшением объёмного расхода дымовых газов при их охлаждении в КТАНе, меньше, чем аэродинамическое сопротивление КТАНа с подключающими его газоходами и снижение самотяги дымовой трубы.

Примеры характеристик газового тракта и дымососа для перечисленных случаев включения КТАНов в газовый тракт показаны на рисунках 4.3 и 4.4.

На рисунке 4.3 показаны характеристики при установке КТАНа за дымососом. Возможны два варианта работы дымососа при внесении в тракт дополнительного аэродинамического сопротивления за счёт КТАНа. В первом варианте (характеристика газового тракта "б") дымосос имеет достаточный запас по напору для преодоления возросшего сопротивления (расчётная точка "2" не выходит за пределы характеристики). Во втором варианте (характеристика газового тракта "в") возросшее сопротивление превышает имеющийся у дымососа запас по напору (расчётная точка "3" выходит за пределы характеристики). В этом случае имеющийся дымосос не может развить необходимый напор, поэтому рекомендуется или заменить двигатель дымососа на двигатель с большим числом оборотов, или перейти к другому типу дымососа.

На рисунке 4.4 показаны характеристики дымососа и газового тракта при установке КТАНа перед дымососом.

В этом случае, кроме увеличения сопротивления газового тракта, происходит также уменьшение объёмного расхода дымовых газов, проходящих через дымосос за счёт их охлаждения в КТАНе.

Паровые и водогрейные котлы, для которых разработан типовой ряд КТАНов-утилизаторов, обычно комплектуются дымососами типа ДН. Характеристика Q–H этих дымососов показывает, что с ростом производительности дымососа Q создаваемый дымососом напор H сильно уменьшается. Снижение объёмной производительности дымососа за счёт охлаждения дымовых газов в КТАНе создаёт дополнительный запас по напору по сравнению с расчётной точкой, характеризующей работу дымососа без КТАНа (точка "I" на рис.4.4). Опыт Латгипропрома по разработке большого количества установок КТАНов на различных объектах показывает, что в подавляющем большинстве случаев при установке КТАНов перед дымососом существующие или комплектуемые с котлами дымососы обеспечивают требуемый напор (точка "2" на рис.4.4). В случае, если аэродинамическое сопротивление газового тракта при установке КТАНа сильно возрастет (например, из-за большой сложности и протяженности подключающих газоходов) и дымосос не может развить требуемый напор (точка "3" на рис.4.4), необходимо или заменить двигатель дымососа или сам дымосос. Так как подобные случаи крайне редки, то вариант установки КТАНа перед дымососом является предпочтительным как с точки зрения использования существующего оборудования, так и с точки зрения экономии электроэнергии.

Подробная методика полного аэродинамического расчёта газового тракта в данной работе не приводится, так как является общепринятой.

Приведены только методика расчёта аэродинамического сопротивления КТАНа и пример расчёта газового тракта при установке КТАНа-4,5УГ за котлом ГМ-50-I4 (раздел 8).

4.4.2. Методика расчёта аэродинамического сопротивления КТАНов

Аэродинамическое сопротивление КТАНа складывается из сопротивлений участков прохода дымовых газов через орошающую камеру, активную насадку и сепарационное устройство.

В данном разделе даётся методика расчёта аэродинамического сопротивления КТАНа с примером расчёта аэродинамического сопротивления КТАНа-4,5УГ при пропуске через него номинального расхода дымовых газов. Результаты расчётов аэродинамических сопротивлений КТАНов приведены в таблице 4.8.

I. Сопротивление орошающей камеры $\Delta h_к$ состоит из сопротивления гребенок разводки трубопроводов $\Delta h_{тр}$ и сопротивления орошаемого пространства камеры $\Delta h_{ор}$.

Сопротивление гребенок трубопроводов, подводящих воду к форсункам камеры, выражается формулой, /II/:

$$\Delta h_{тр} = 0{,}1 \cdot z \cdot \frac{v_г^2 \cdot \rho}{2g} = 0{,}1 \cdot z \cdot h_g \quad , \text{Па} \qquad (4.4.I),$$

где

z – число рядов форсунок, для КТАНов $z = I$;

$v_г$ – скорость газов в орошающей камере, м/с;

ρ – плотность дымовых газов, кг/м3;

g – ускорение свободного падения, $g = 9{,}83$ м/с^2.

Для КТАНов при номинальном расходе дымовых газов $v_г \cong 5$ м/с и температуре $t_г \cong I00^{\circ}C$ по рис.УП-2 из /I0/ $h_g \cong I2{,}3$ Па,

$$\Delta h_{тр} = 0{,}I \cdot I \cdot I2{,}3 = I{,}23 \text{ кг/м2}.$$

Сопротивление орошающего пространства камеры связано с работой факелов разбрызгиваемой воды. Из /II/:

$$\Delta h_{ор} = 120 \cdot \eta_н \cdot \mu \cdot P \quad ,Па \qquad (4.4.2),$$

где

P – давление перед форсунками, МПа, для форсунок КТАНа P = 0,2 МПа;

$\eta_н$ – коэффициент, учитывающий направление орошения форсунок.

В худшем случае, когда все форсунки направлены против движения дымовых газов $\eta_н$ = 0,I3;

μ – коэффициент орошения, характеризующий отношение расхода орошающей воды к расходу дымовых газов, кг/кг.

Для КТАНов $\mu \cong 2$ кг/кг

$$\Delta h_{ор} = I20x0,I3x2x0,2 \approx 6I,2 \text{ Па}.$$

Итого $\Delta h_К = \Delta h_{гр} + \Delta h_{ор} = I,23 + 6I,2 \cong 62$ Па.

2. Сопротивление участка прохода дымовых газов через активную насадку $\Delta h_{ан}$ является определяющим.

Активная насадка представляет собой пакет трубок, расположенных в шахматном порядке.

Сопротивление шахматного пучка $\Delta h_{шп}$ определяется по формуле /I0/:

$$\Delta h_{шп} = \Delta h_{гр} \cdot c_s \cdot c_d \cdot (z + 1) \quad ,Па \qquad (4.4.3).$$

Так как при орошении шахматного пучка происходит увеличение сопротивления пакета за счёт уменьшения проходного сечения и трения жидкости принято по рекомендациям /I5/:

$$\Delta h_{ан} = 1{,}5 \cdot \Delta h_{шп} \quad \text{,Па} \quad (4.4.4).$$

3. Сопротивление сепарационного устройства Δh_c складывается из сопротивления центробежного сепаратора $\Delta h_{цс}$ и сопротивления жалюзийного сепаратора $\Delta h_{жс}$.

$$\Delta h_c = \Delta h_{жс} + \Delta h_{цс} \quad , \quad (4.4.5).$$

Сопротивление жалюзийного сепаратора выражается формулой /II/:

$$\Delta h_{жс} = \xi_c \cdot \frac{v_c^2 \cdot \rho}{2g} = \xi_c \cdot h_g \quad \text{,Па} \quad (4.4.6),$$

где

ξ_c =I2,5 – величина коэффициента местного сопротивления определяется по данным /II/;

v_c – скорость дымовых газов в сепараторе, м/с;

h_g – динамическое давление, Па, определяется по рис.УП–2 /I0/ в зависимости от температуры и скорости дымовых газов в сепараторе.

Сопротивление центробежного сепаратора $\Delta h_{цс}$ рассматривается как поворот на I80° и на основании /I0/ определяется по формуле:

$$\Delta h_{цс} = B \cdot C \cdot K \Delta \xi \cdot h_g \quad \text{,Па} \quad (4.4.7),$$

Таблица результатов аэродинамического расчета КТАНов-утилизаторов

Таблица 4.8

Тип КТАНа	Расход дымовых газов, Vг	Сопротивление орошающей камеры Δhк		Сопротивление активной насадки Δhан		Сопротивление сепарационного устройства Δhс		Суммарное сопротивление КТАНа ΔH	
	нм³/сек.	кгс/м²	МПа	кгс/м²	МПа	кгс/м²	МПа	кгс/м²	Па
КТАН-12УГ	35,9	6,3	62,0	45,7	440,0	17,0	165,0	69	675
КТАН-6УГ	17,95	6,3	62,0	47,7	466,0	14,0	139,0	68	667
КТАН-4,5УГ	13,44	6,3	62,0	46,5	452,0	15,7	155,0	69	669
КТАН-2,3УГ	6,88	6,3	62,0	29,6	285,0	10,1	99,0	46	448
КТАН-1,5УГ	4,50	6,3	62,0	20,3	199,0	23,4	232,0	50	493
КТАН-0,8УГ	2,20	6,2	61,5	20,2	199,0	19,6	193,5	46	454
КТАН-0,5УГ	1,38	6,2	61,0	17,8	176,0	5,0	49,0	29	286
КТАН-0,25УГ	0,69	6,2	61,0	18,8	185,0	2,6	24,0	28	270
КТАН-0,1УГ	0,23	6,2	61,0	39,5	387,0	4,3	42,0	50	490
КТАН-0,05УГ	0,13	6,2	62,0	20,5	200,0	3,3	31,0	30	293

где

B – коэффициент, учитывающий угол поворота, по рис.УП-I6 /I0/ для $\alpha = 180^0$, $B = 3,0$;

C – коэффициент, учитывающий форму поворота, по рисунку УП-I7 /I0/;

$K_{\Delta\xi}$ – произведение, учитывающее плавность поворота, по рисунку УП-I5 /I0/, для $r/b = 0$ $K_{\Delta\xi} = 1,4$;

h_g – динамическое давление, Па.

4. Суммарное сопротивление КТАНа, как уже указывалось выше, равно:

$$\Delta h_{КТ} = \Delta h_К + \Delta h_{АН} + \Delta h_С \quad , \text{Па} \qquad (4.4.8).$$

4.4.3. Пример расчёта аэродинамического сопротивления КТАНа-4,5УГ

I. Исходные данные:

- температура дымовых газов перед КТАНом, $t_1 = 140^0$С;
- температура дымовых газов в насадке, $t_2 = 90^0$С;
- температура дымовых газов в сепараторе, $t_3 = 40^0$С.

Геометрические размеры активной насадки:

- поперечный шаг трубок, $S_1 = 50$ мм;

- продольный шаг трубок, S_2 = 52 мм;
- наружный диаметр трубок, $d_н$ = 32 мм;
- число трубок по глубине пакета, z = 20 шт.

Проходное сечение по газам:

- активная насадка, $S_г$ = I,73 м2;
- жалюзийный сепаратор, $S_г$ = 4,4 м2;
- центробежный сепаратор, $S_г$ = I,32 м2.

2. Сопротивление орошающей камеры:

на основании вышеизложенной методики

$$\Delta h_к = 6I,8 \text{ Па}$$

3. Сопротивление активной насадки:

расход газов через активную насадку

$$V_г = I3,44 \times \frac{90+273}{273} = I7,9 \text{ м3/с};$$

скорость газов через активную насадку

$$w = \frac{I7,9}{I,73} = I0,3 \text{ м/с}.$$

По полученным значениям σ_1 =I,56, σ_2 = I,63 и номограммам рисунка УП-7 /I0/ определяем:

C_d = I,0; C_3 =I,2; $\Delta h_{гр}$ = I2,0 Па

Сопротивление шахматных пучков:

$$\Delta h_{шп} = I2,0 \times I,0 \times I,2 \times (20 + I) = 30,I \text{ Па}.$$

Сопротивление активной насадки:

$$\Delta h_{ан} = I,5 \times 30,I = 452 \text{ Па}.$$

4. Сопротивление сепарационного устройства.

Расход газов через жалюзийный сепаратор:

$$V_г = I3,44 \times \frac{40+273}{273} = I5,4 \text{ м3/с}.$$

Скорость газов в сепараторе:

$$w_r = \frac{15,4}{4,4} = 3,5 \text{ м/с}.$$

Динамическое давление:

$$h_g = 6,96 \text{ Па}.$$

Сопротивление жалюзийного сепаратора:

$$\Delta h_{жс} = 12,5 \times 6,96 = 87 \text{ Па}.$$

Расход газов в центробежном сепараторе:

$$V_r = \frac{15,4}{2} = 7,7 \text{ м3/с}.$$

Скорость газов в центробежном сепараторе:

$$w_r = \frac{7,7}{1,32} = 5,8 \text{ м/с}.$$

Динамическое давление по рис.УП-2: $h_g = 19,1$ Па.

По графикам рис.УП-15, УП-16, УП-17 /10/ определяются коэффициенты : $B = 3,0$; $C = 0,83$; $K_{\Delta\xi} = 1,4$.

Сопротивление центробежного сепаратора:

$$\Delta h_{цс} = 3 \times 1,4 \times 0,83 \times 19,1 = 68 \text{ Па}.$$

Сопротивление сепарационного устройства:

$$\Delta h_c = 87 + 68 = 155 \text{ Па}.$$

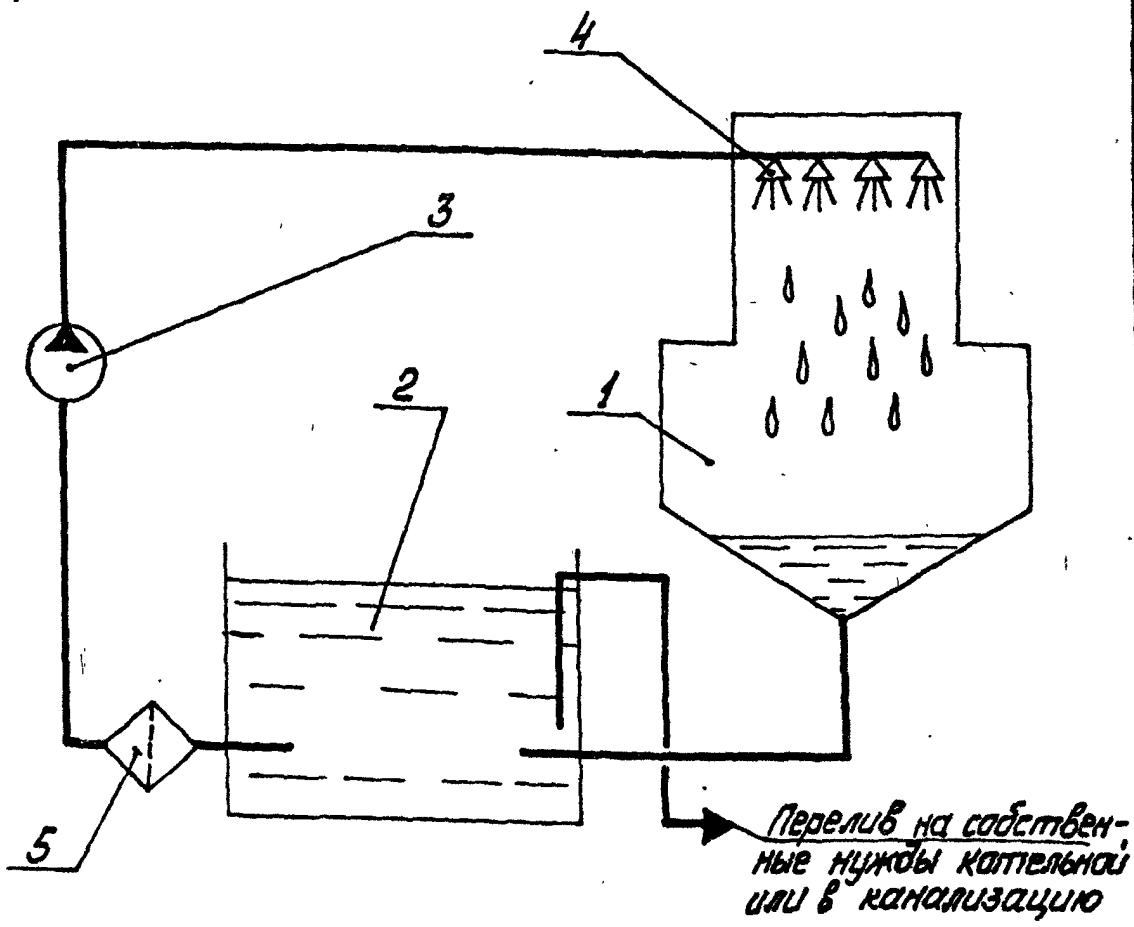
5. Общее сопротивление КТАНа:

$$62 + 452 + 155 = 669 \text{ Па}.$$

4.5. Рекомендации по проектированию контура орошающей воды

4.5.1. Условия циркуляции орошающей воды

На рисунке 4.5 показана схема работы контура орошающей воды КТАНа. Насосом (поз.3) орошающая вода из бака (поз.2) подается на КТАН в орошающую камеру, где разбрызгивается центробежными форсунками. Орошающее устройство сконструировано таким образом,



1 - КТАН;

2 - бак системы орошения;

3 - насос системы орошения;

4 - форсунки;

5 - фильтр

Рис. 4.5. Система циркуляции орошающей воды в КТАНе-утилизаторе.

чтобы принятое количество форсунок и их производительность обеспечивали равномерную оптимальную плотность орошения, равную 6÷8 м3/ч воды на I м2 сечения насадки.

После проходе через активную насадку и сепарационное устройство орошающая вода собирается в нижней части сепарационного узла КТАНа, откуда через сливную трубу самотеком направляется в бак орошающей воды. Излишки орошающей воды, образующиеся за счет конденсации водяных паров из дымовых газов в КТАНе, сливаются из бака орошающей воды в канализацию или используются в цикле котельной. Количество сконденсировавшейся из дымовых газов воды можно определить по формуле:

$$G_к = G_г^c \cdot B \cdot (d' - d'') \quad , \text{кг/с} \quad (4.5.I),$$

где $G_г^c$ – расход сухих дымовых газов, кг/м3;

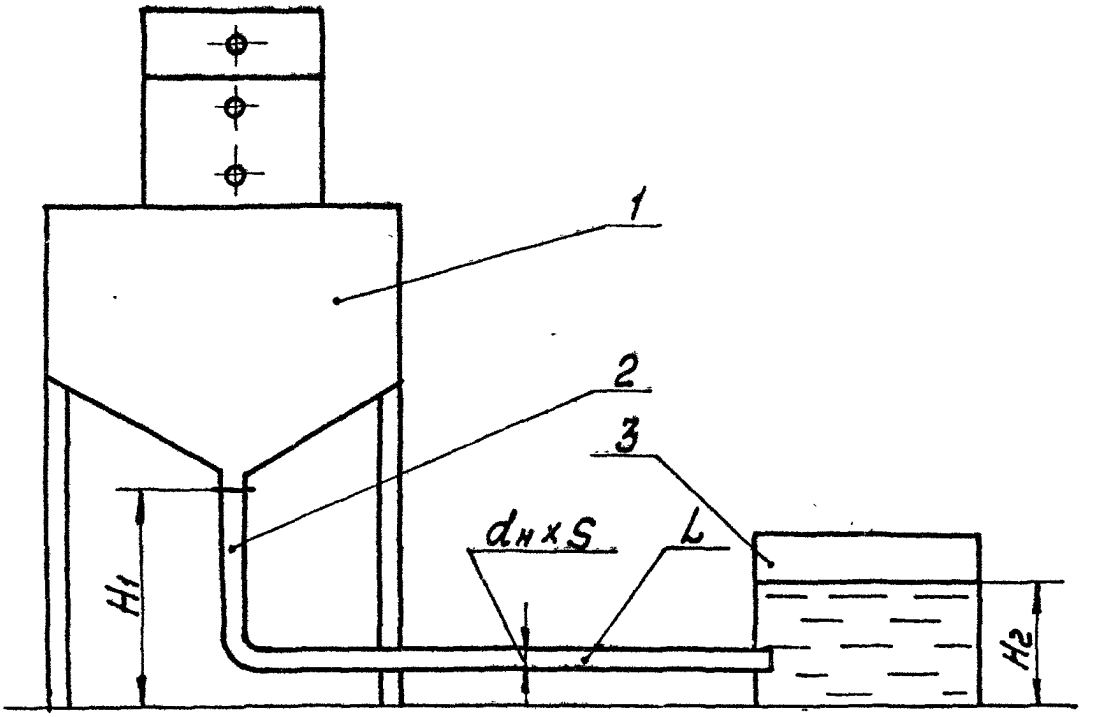
B – расход топлива на котел, м3/с;

d', d'' – влагосодержание дымовых газов на входе в КТАН и выходе из КТАНа, кг/кг с.г.

В случае, когда разность уровней воды в нижней части сепарационного узла КТАНа и бака орошающей воды значительна ($\geqslant$ 0,5 м), то выбор диаметра сливной трубы не представляет большой сложности, так как имеется достаточный запас по напору. На практике же нередко КТАН устанавливается на одном уровне с баком орошающей воды.

Поэтому обеспечить достаточный запас воды в баке и достаточно большую разность уровней воды в КТАНе и в баке не представляется возможным. При этом минимальный диаметр сливной трубы должен обеспечить нормальную циркуляцию орошающей воды при минимальной разности уровней воды в КТАНе и в баке.

В противном случае возможно заполнение сепарационного устройства водой и возникновение аварийной ситуации. На рис.4.6 показана



1 - КТАН - утилизатор;

2 - сливная труба;

3 - бак системы орошения

Рис. 4.6 Расчётная схема для определения диаметра сливной трубы

расчетная схема для определения скорости в сливном трубопроводе и его диаметра. Уравнение для расчета составлено из условия, что потери давления в сливной трубе не превышают разности уровней воды на выходе из КТАНа и в баке:

$$\Delta H = H_1 - H_2 = \left(\frac{\lambda \cdot \ell}{d} + \sum \xi\right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad \text{м (4.5.2)},$$

где ΔH – разность уровней, м;

ℓ, d – длина и внутренний диаметр сливной трубы, м;

$\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений;

v – скорость воды в сливной трубе, м/с;

λ – коэффициент гидравлического трения.

Коэффициент гидравлического трения определяется в общем случае по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{K_э}{d} + \frac{68}{Re}\right)^{0{,}25} \quad (4.5.3),$$

где $K_э$ – коэффициент шероховатости для стальных сварных труб, умеренно заржавевших $K_э = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м (табл.3.I /I4/).

Скорость воды в сливной трубе рассчитана при фиксированных значениях ΔH и d, а также при длине сливной трубы ℓ=I0 м и 20 м. При этом в расчете принимаются следующие значения коэффициентов местных сопротивлений (на основании /I4/):

- выход из КТАНа в трубу – $\xi_1 = 0{,}5$;
- поворот на 90° – $\xi_2 = 0{,}4$;
- вход в бак орошения – $\xi_3 = I{,}0$.

При длине трубопроводов I0 м принимаются три поворота на 90°, при длине 20 м – 6 поворотов на 90°. В таблице 4.9 даны сводные результаты расчета критической скорости воды в сливном трубопроводе для различных разностей уровней и диаметров трубопроводов. Полученные скорости являются минимальными для проектирования участ-

Таблица 4.9

Значения критической скорости воды в сливной трубе

Диаметр сливной трубы d_y (мм)	$\Delta H_1 = 0{,}100$ м	$\Delta H_2 = 0{,}200$ м	$\Delta H_3 = 0{,}300$ м
	V (м/с)	V (м/с)	V (м/с)
200	0,70 / 0,65	0,99 / 0,78	1,22 / 0,96
150	0,66 / 0,55	0,93 / 0,72	1,08 / 0,88
125	0,62 / 0,48	0,83 / 0,68	1,01 / 0,77
100	0,58 / 0,47	0,77 / 0,63	0,94 / 0,76
80	0,54 / 0,40	0,76 / 0,57	0,86 / 0,69
65	0,49 / 0,48	0,70 / 0,52	0,77 / 0,64
50	0,44 / 0,36	0,62 / 0,46	0,69 / 0,56
32	0,35 / 0,28	0,49 / 0,36	0,54 / 0,44
20	0,27 / 0,21	0,38 / 0,27	0,47 / 0,34

В числителе даны значения скоростей для сливной трубы $\ell = 10$ м, в знаменателе - для сливной трубы $\ell = 20$ м.

ка контура орошения от КТАНа до бака орошающей воды. В таблице 4.10 приведены диаметры сливной трубы для КТАНов из типоряда. Рекомендуется придерживаться разности уровней $\Delta H = 0{,}2$ м.

4.5.2. Выбор бака орошающей воды.

Основное назначение бака – создать необходимый запас воды для нормальной эксплуатации насоса системы орошения. При пуске насоса необходимо, чтобы емкости бака было бы достаточно для момента возврата воды от КТАНа. Для расчета объема бака необходимо знать длину трубопроводов и их диаметр. При этом принимается, что участок от форсунок КТАНа до сливной трубы орошающая вода проходит не более чем за 30 секунд.

Время цикла, за которое орошающая вода возвращается в бак, складывается из времени прохождения нагнетательной трубы системы орошения, времени прохождения сливной трубы системы орошения и времени прохождения участка от форсунок до сливной трубы. Расчеты показывают, что достаточно иметь 1-2-минутный (в зависимости от длины трубопроводов) запас орошающей воды в баке. Ниже в таблице 4.11 даются рекомендации по применению стандартных баков в зависимости от расхода орошающей воды. При этом принимается, что бак и КТАН установлены на одном уровне и отметка низа поддона в КТАНе для сбора орошающей воды – 0,4÷0,6 м. Необходимо также отметить следующий момент: в КТАНах-утилизаторах постоянно происходит конденсация водяных паров, содержащихся в дымовых газах, что приводит к росту уровня воды в баке. Для того, чтобы сепарационный узел КТАНа не оказался бы залит водой, необходимо установить в баке перелив на отметке, соответствующей разности уровней воды на выходе из КТАНа и в баке орошающей воды, обеспечивающей нормальную циркуляцию орошающей воды.

Копировал 22987-01 103 Формат А4

Таблица 4.10

Значения рекомендуемых диаметров сливной трубы

Наименование	$\Delta H_1 = 0{,}100$ м	$\Delta H_2 = 0{,}200$ м	$\Delta H_3 = 0{,}300$ м
	d_y (мм)	d_y (мм)	d_y (мм)
КТАН-12УГ	200/200	200/200	150/200
КТАН-6УГ	150/150	125/150	125/125
КТАН-4,5УГ	125/150	125/125	100/125
КТАН-2,3УГ	125/125	100/100	100/100
КТАН-1,5УГ	100/100	100/100	80/80
КТАН-0,8УГ	80/80	65/80	65/65
КТАН-0,5УГ	65/65	50/65	50/65
КТАН-0,25УГ	50/50	40/50	40/40
КТАН-0,14УГ	32/32	25/25	25/25
КТАН-0,05УГ	25/25	20/25	20/20

В числителе даны значения рекомендуемых диаметров для сливной трубы $\ell = 10$м, в знаменателе - для сливной трубы $\ell = 20$м.

Таблица 4.II

Выбор бака орошающей воды в зависимости от расхода воды

Расход орошающей воды, м3/ч	Объем бака, м3 ОСТ 34-42-395-77
10÷20	1,0
20÷40	2,5
40÷60	6,3

4.6. Методика гидравлического расчета блока насадки КТАНов из типоряда

Общее сопротивление блока насадки состоит из:

- сопротивления участка входа подводящей трубы в коллектор;
- сопротивления трубной насадки;
- сопротивления участка входа в отводящую трубу из коллектора.

I) Сопротивление участка входа подводящей трубы в коллектор.

Сопротивление участка входа подводящей трубы в коллектор определяется по формуле:

$$\Delta h_1 = \xi_{под} \cdot \frac{w_{под}^2}{2 \cdot g \cdot v_{ср}} \ , \ Па \qquad (4.6.1),$$

где $w_{под}$ – скорость воды в подводящей трубе, м/с;

$v_{ср}$ – средний удельный объем нагреваемой воды, м3/кг;

g – ускорение свободного падения g = 9,81 м/с2;

$\xi_{под}$ – коэффициент сопротивления входа подводящей трубы в коллектор насадки, определяемый из /12/:

$$\xi_{под} = 1,3$$

2) Сопротивление трубной насадки определяется по формуле:

$$\Delta h_2 = \Sigma\xi \cdot \frac{w_{тр}^2}{2 \cdot g \cdot v_{ср}}, \quad Па \qquad (4.6.2),$$

где $w_{тр}$ – средняя скорость в трубах, м/с;

$\Sigma\xi$ – суммарный коэффициент сопротивления трубной насадки, определяемый как:

$$\Sigma\xi = \xi_{вх} + \xi_{вых} + \xi_{пов} + \lambda_{тр} \qquad (4.6.3),$$

где $\xi_{вх}$ – коэффициент сопротивления входа в трубки /I3/

$$\xi_{вх} = I,0,$$

$\xi_{вых}$ – коэффициент сопротивления выхода из трубок /I3/

$$\xi_{вых} = I,0,$$

$\xi_{пов}$ – коэффициент сопротивления поворотов в трубной насадке:

$$\xi_{пов} = n \cdot \xi'_{пов} \qquad (4.6.4),$$

где n – число поворотов в трубной насадке;

$\xi'_{пов}$ – коэффициент сопротивления одного поворота на I80°, при выходе из одной секции теплообменника в другую через промежуточную камеру /I3/

$$\xi'_{пов} = 2,5,$$

$\lambda_{тр}$ – коэффициент сопротивления трения в трубках насадки:

$$\lambda_{тр} = \lambda \cdot \frac{\ell}{d_э} \qquad (4.6.5),$$

где $d_э$ – внутренний диаметр трубок насадки, м;

ℓ – общая длина хода воды, м

$$\ell = \ell_{тр} \cdot z \qquad (4.6.6),$$

где $\ell_{тр}$ – длина трубки;

z – число рядов трубок по вертикали;

λ – коэффициент гидравлического трения:

$$\lambda = 0,II \cdot \left(\frac{K_э}{d_э} + \frac{68}{Re}\right)^{0,25} \qquad (4.6.7),$$

где $K_э$ – эквивалентная равномерно-зернистая абсолютная шероховатость,

для сварных труб по /I4/

$K_э$ = 0,I мм = 0,000I м,

Re – число Рейнольдса.

3) Сопротивление участка входа в отводящую трубу из коллектора

$$\Delta h_3 = \xi_{от} \cdot \frac{w_{от}^2}{2g \cdot v_{ср}} \quad , \text{Па} \qquad (4.6.8),$$

где $w_{от}$ – скорость воды в отводящей трубе, м/с;

$\xi_{от}$ – коэффициент сопротивления выхода из коллектора насадки в отводящую трубу, из /I2/ $\xi_{от}$ = 0,4.

Суммарное гидравлическое сопротивление КТАНа по какому-либо потоку воды будет складываться из суммарного сопротивления блоков насадки, через которые проходит поток и сопротивления трубопроводов перепуска потока воды из одного блока насадки в другой.

В таблице 4.I2 приведены результаты гидравлических расчетов КТАНов из типоряда.

4.7. Работа КТАНов-утилизаторов в газомазутных котельных

КТАНы-утилизаторы, включенные в разработанный типовой ряд предназначены для установки в газифицированных котельных. Однако в соответствии с действующими нормами и правилами, подавляющее большинство котельных, работающих на газе, имеют и резервный вид топлива – мазут. Длительность работы котельных на мазуте зависит от выделяемого лимита природного газа и колеблется в широких пределах – от нескольких дней в году до нескольких месяцев. При отключении КТАНов в котельной необходимо предусмотреть дополнительные теплообменники, дублирующие нагрев потоков воды в КТАНах.

В разработанной конструкции КТАНа-утилизатора отсутствуют элементы, необходимые для работы на дымовых газах, образующихся при сжигании мазута – отсутствуют антикоррозийные покрытия актив-

Таблица 4.12

Гидравлические характеристики блока насадки

Типоряд КТАНов	Число рядов трубок в блоке насадки	Диаметр трубок	Суммарный коэффициент сопротивления блока насадки	Скорость течения теплоносителя	Суммарное гидравлическое сопротивление блока насадки	
	z	$d_н \times S$	Σ	W	Δh	
		мм		м/с	МПа	кгс/см²
КТАН-12УГ	10	32×2	28,42	1,3	0,026	0,260
КТАН-6УГ	10	32×2	28,45	1,29	0,026	0,260
КТАН-4,5УГ	10	32×2	28,51	1,27	0,024	0,250
КТАН-2,3УГ	10	32×2	29,96	0,91	0,013	0,140
КТАН-1,5УГ	10	25×2	32,73	0,72	0,009	0,091
КТАН-0,8УГ	10	25×2	32,18	0,78	0,010	0,105
КТАН-0,5УГ	14	18×2	48,54	0,86	0,018	0,190
КТАН-0,25УГ	14	18×2	48,39	0,88	0,019	0,196
КТАН-0,1УГ	14	14×2	42,76	1,01	0,022	0,226
КТАН-0,05УГ	18	14×2	60,67	0,71	0,015	0,157

ной насадки и корпуса КТАНа, не решен вопрос удаления из контура орошения кислого конденсата дымовых газов. Поэтому при переходе котельной на работу на резервном виде топлива – мазуте установленные в котельной КТАНы-утилизаторы необходимо плотно отключить от газового тракта и пропустить дымовые газы по обводному газоходу непосредственно в дымовую трубу. Необходимо отметить, что отключение КТАНов должно быть герметичным, иначе даже небольшое количество дымовых газов, содержащих сернистый ангидрид, может попасть в КТАН и охладиться на холодных поверхностях нагрева ниже точки росы ($\sim 140^{0}$ при сжигании мазута). При таком охлаждении из дымовых газов будет выпадать кислый конденсат, который вызовет интенсивную коррозию, и, как следствие, КТАН-утилизатор выйдет из строя. Процесс коррозии будет наиболее интенсивным при установке КТАНа вне помещения котельной на открытом воздухе.

Устанавливаемые обычно на газовоздухопроводах клапаны ПГВУ не обеспечивают плотного отключения газового тракта, так как между створками клапана и корпусом, как правило, всегда имеются зазоры.

Плотного отключения газоходов надежнее всего можно добиться путем установки заглушек. Установка заглушек на подводящих газопроводах КТАНов-утилизаторов малой и средней мощности не вызывает особой трудности, однако для крупных КТАНов (КТАН-4,5УГ; 6УГ;12УГ) заглушки имеют значительные габариты и массу и их установка весьма трудоемка.

Для таких КТАНов как вариант решения может быть предложено отключение КТАНа обычными клапанами и создание в КТАНе и газоходе на участке между клапанами избыточного давления, достаточного для предотвращения пропуска дымовых газов через отверстия в клапанах. Необходимое избыточное давление можно создать путем подвода неболь-

шого количества воздуха от напорной стороны дутьевого вентилятора.

Также учитывая то, что газовый тракт котлоагрегатов работает до дымососа под разрежением, можно создать небольшие подсосы воздуха (например открыть смотровые лючки в КТАНе) и тем самым надежно отключить КТАН по дымовым газам.

При обратном переходе котельной с работы на мазуте на сжигание природного газа, до включения КТАНа-утилизатора в работу необходимо выдержать некоторое время (устанавливаемое в процессе эксплуатации) для очистки газового тракта от сажистых частиц, содержащих окислы серы.

Необходимость указанных мероприятий не только затрудняет эксплуатацию КТАНов, но и снижает эффективность их работы, так как во время работы котельной на мазуте теплота уходящих дымовых газов не используется и имеет место пережог топлива. Этого положения можно избежать, если для котельных малой и средней мощности отказаться от резервного топлива, а неравномерности в поступлении природного газа сглаживать за счет сжигания резервного топлива - мазута только на крупных теплоисточниках - районных котельных мощностью свыше 100+150 Гкал/ч и ТЭЦ. В этом случае на крупных теплоисточниках становится экономически оправданной установка устройств для очистки дымовых газов от сернистого ангидрида. Одним из элементов этих устройств может быть КТАН соответствующей конструкции, который наряду с очисткой дымовых газов будет выполнять и свою функцию теплоутилизатора. Такой подход к решению проблемы позволяет добиться не только круглогодичной экономи топлива на газомазутных и газовых котельных, но и значительно снизить загрязнение атмосферного воздуха промрайонов и городов за счет экономически оправданной очистки дымовых газов.

4.8. Установка взрывных клапанов, лестниц и площадок для обслуживания.

В соответствии с "Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов" КТАНы являются экономайзерами (п.I-2-8). Поэтому в верхней части подводящего газохода КТАНа согласно разделу 2-4 "Правил..." должны устанавливаться взрывные предохранительные клапаны.

В процессе работы КТАНы не требуют постоянного наблюдения и обслуживания, однако с целью профилактики или выяснения причин возникающих неполадок требуется производить их периодический осмотр. Осмотру подлежат фланцевые соединения с целью проверки их герметичности, а также форсунки, которые в случае засорения должны прочищаться. Для возможности осмотра форсунок через смотровые окна, расположенные на значительной высоте, КТАНы должны оборудоваться площадками и лестницами в соответствии с разделом 8-6 "Правил...". Количество площадок и лестниц и их размещение определяются проектом установки аппаратов.

Копировал 22967-01 111 Формат А4

5. РАБОТА ДЫМОВЫХ ТРУБ КОТЕЛЬНЫХ ПРИ УСТАНОВКЕ КТАНов-УТИЛИЗАТОРОВ

5.I. Характеристика проблемы

При установке КТАНов в котельных, работающих на природном газе, возникает проблема предотвращения конденсации влаги в газоходах, дымососах и, главным образом, в дымовых трубах. Решение этой проблемы имеет важное значение с точки зрения эксплуатационной надежности котельной.

Несмотря на то, что за КТАНами дымовые газы охлаждаются до 30÷50°С и частично осушаются, при этом их влагосодержание с I00÷ ÷I30 г/кг сухих газов уменьшается до 30÷60 г/кг, а температура точки росы снижается при этом с 50÷60°С до 30÷40°С, вероятность конденсации водяных паров на внутренних стенках боровов и дымовой трубы в случае установки КТАНов сохраняется также, как в котельных без них.

В данном разделе приведены способы борьбы с явлением конденсации влаги в газоходах и дымовых трубах, дана методика расчета температуры внутренней стенки дымовой трубы. На примере реальных типовых проектов котельных и дымовых труб проведен расчет температуры внутренней стенки дымовой трубы при установке в этих котельных КТАНов из типового ряда.

5.2. Способы предотвращения конденсации влаги из дымовых газов на внутренних поверхностях газоходов и дымовых труб

Для предотвращения конденсации влаги из дымовых газов должны быть выполнены следующие условия:

- отсутствие надземных неизолированных газоходов в газоотводящем тракте;

- отсутствие значительных подсосов холодного воздуха в газоотводящем тракте;

– отсутствие грунтовых вод в газоходах и борове при их подземном расположении;

– уменьшение длины газоотводящего тракта (на практике установлено, что оптимальная длина газоходов должна равняться I/4 высоты дымовой трубы /I6/).

Определяющими параметрами, влияющими на конденсацию влаги из дымовых газов в дымовой трубе, являются температура, скорость и влагосодержание дымовых газов. Температура и скорость дымовых газов определяют условия теплообмена от дымовых газов к наружному воздуху, а влагосодержание определяет температуру точки росы на поверхности дымовой трубы.

Поэтому все последующие расчеты и рекомендации сводятся к определению граничных (допустимых) значений температур, скоростей и влагосодержаний дымовых газов, обеспечивающих режим работы дымовой трубы без конденсации влаги. Наиболее простым и легко осуществимым мероприятием по увеличению температуры дымовых газов в дымовой трубе при установке КТАНов в котельных является байпасирование части уходящих газов помимо КТАНа. Однако байпасирование части газов приводит к уменьшению теплопроизводительности КТАНа и недостаточной их осушке, поэтому этот метод не всегда может дать положительный эффект.

В некоторых случаях может оказаться рациональным подмешивание к газам небольшого количества горячего воздуха /I7/ из верхней зоны котельного зала с температурой более 40°С, или воздуха после калориферов, если они на котлах установлены.

Преимущество подмешивания горячего воздуха заключается в том, что воздух имеет более низкое влагосодержание, чем дымовые газы, уходящие из котельного агрегата. Поэтому подмешивание горячего

воздуха снижает влагосодержание и относительную влажность уходящих после КТАНа газов и увеличивает разность ($t_{ух} - t_р$). Если вышеперечисленные способы не приводят к режиму работы дымовой трубы без конденсации влаги, то конструкция дымовой трубы должна предусматривать возможность отвода образующегося конденсата в нижней части дымовой трубы, а внутренняя поверхность кладки трубы должна быть покрыта гидроизоляцией. То же относится и к боровам.

Как вариант возможна установка металлической дымовой трубы с устройством тепловой изоляции по наружной поверхности для предотвращения охлаждения дымовых газов по высоте трубы и с нанесением термостойкого противокоррозийного покрытия на внутреннюю и наружную поверхности трубы.

5.3. Методика определения условий возникновения конденсации в дымовой трубе

Конденсация влаги в дымовой трубе возможна, если температура внутренней стенки трубы ($t'_{ст}$) ниже температуры точки росы ($t_р$) дымовых газов. Чтобы не происходила конденсация влаги из уходящих дымовых газов на внутренней поверхности дымовой трубы необходимо, чтобы температура внутренней поверхности футеровки дымовой трубы была больше температуры точки росы дымовых газов на $5^{\circ}C$ /I6/.

Для определения ($t'_{ст}$) пользуются урравнениями /I8/:

$$t'_{ст} = t_г - \frac{q}{\alpha_1}; \quad q = K \cdot (t_г - t_в), \qquad (5.1)$$

$$t'_{ст} = t_г - \frac{K \cdot (t_г - t_в)}{\alpha_1} \qquad (5.2)$$

где $t'_{ст}$ – температура внутренней стенки дымовой трубы, $^{\circ}C$;

Копировал 22967-01 145 Формат А4

$t_г$ – средняя температура газов в дымовой трубе, °С;

K – коэффициент теплопередачи от газов к наружному воздуху, Вт/м2°С

α_1 – коэффициент теплоотдачи от газов к стенке дымовой трубы, Вт/м2°С

q – удельный тепловой поток, Вт/м2;

$t_в$ – температура наружного воздуха, °С.

При прохождении дымовых газов через дымовую трубу происходит их охлаждение, при этом их температура определяется по формуле /I6/:

$$t_г = t_в + (t_о - t_в) \cdot e^{-\frac{\pi d K x}{c G}} \qquad (5.3),$$

где $t_г$ – средняя температура газов в дымовой трубе, °С;

$t_в$ – температура наружного воздуха, °С;

$t_о$ – температура дымовых газов на входе в дымовую трубу, °С;

d – внутренний диаметр трубы, м;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/м2, °С;

X – расстояние расчетного сечения от входа в трубу, м;

C – теплоемкость дымовых газов, Дж/кг. °С;

G – расход дымовых газов, кг/с.

Массовый расход дымовых газов за котлом определяется по формуле:

$$G = G_г^c \cdot \frac{B_к \cdot (1 + d_{г.г.})}{1000} \text{ , т/ч} \qquad (5.4),$$

где $G_г^c$ – масса сухих дымовых газов, кг/м3;

$B_к$ – расход топлива на котел, м3/с;

$d_{г.г.}$ – влагосодержание дымовых газов на выходе из котла, кг/кг с.г.

Коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к стенке дымовой трубы и коэффициент теплопередачи через стенку дымовой трубы определяются как:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_1} \quad , \quad (5.5)$$

где Nu – критерий Нуссельта;

λ – коэффициент теплопроводности дымовых газов, Вт/м2 °С;

d_1 – средний диаметр дымового канала в пределах расчетной зоны, м.

Критерии Нуссельта и Рейнольдса находятся из выражений:

$$Nu = 0{,}032 \cdot Re^{0{,}8} \cdot Pr^{0{,}3} \cdot \left(\frac{d_1}{h}\right)^{0{,}054}; \quad Re = \frac{w \cdot d_1}{\nu} \quad (5.6),$$

где w – средняя скорость дымовых газов в пределах расчетной зоны, м/с;

ν – коэффициент кинематической вязкости дымовых газов, м2/с;

Re – критерий Рейнольдса;

Pr – критерий Прандтля;

h – высота расчетной зоны, м.

По /I6/ при отношении $\frac{\delta}{d_H} < 0{,}1$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (5.7)$$

где δ – толщина стенки дымовой трубы, м;

d_H – наружный диаметр дымовой трубы, м;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от дымовой трубы к наружному воздуху, Вт/м2.°С;

при высоте трубы $h > 0$ α_2 = 23 Вт/м2.°С

при $h >$ 20 м α_2 = 35 Вт/м2.°С

при $h >$ 80 м α_2 = 46,5 Вт/м2.°С;

$\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – термическое сопротивление слоев стенки дымовой трубы, м2.°С/Вт.

По /I8/:

– для кирпичных труб $\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ = I,34 м2.°С/Вт;

– для железобетонных труб $\sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ = 0,94 м2.°С/Вт.

Для определения температуры точки росы дымовых газов (по J-d диаграмме) необходимо знать их влагосодержание и температуру.

При байпасировании части дымовых газов помимо КТАНа, влагосодержание и температура после смешения определяются по формулам:

$$d_{см} = (G_{ктан} \cdot d_{ктан} + G_{пер} \cdot d_к) / G_{см} , \qquad (5.8)$$

$$t_{см} = (G_{ктан} \cdot t_{ух} + G_{пер} \cdot t_к) / G_{см} , \qquad (5.9)$$

где $G_{ктан}$ – расход дымовых газов за КТАНом, кг/с;

$G_{пер}$ – расход дымовых газов по перепуску, кг/с;

$G_{см}$ – расход дымовых газов после смешения, кг/с;

$d_{ктан}$ – влагосодержание дымовых газов за КТАНом, кг/кг с.г.;

$d_к$ – влагосодержание дымовых газов за котлом, кг/кг с.г.;

$t_{ух}$ – температура дымовых газов за КТАНом, °С;

$t_к$ – температура дымовых газов за котлом, °С.

Процесс теплообмена в дымовой трубе происходит следующим образом:

при малых скоростях дымовых газов образуется пристенный ламинарный слой, толщина которого меняется в зависимости от скорости потока дымовых газов, при этом чем меньше скорость, тем больше толщина слоя, чем больше скорость, тем меньше толщина слоя. При определенных скоростях дымовых газов ($Re = 10^4 + 5.10^5$) про-

исходит переход ламинарного слоя в пристенный турбулентный (назовем эту скорость критической) и выравнивание $t_г$ и $t_{ст}'$. В режимах с малыми скоростями выравниванию $t_г$ и $t_{ст}'$ препятствует термическое сопротивление пристенного ламинарного слоя.

Из этого следует, что для обеспечения режима работы дымовой трубы без конденсации влаги необходимо поддерживать w газов больше $w_{кр}$.

Однако, увеличение скорости дымовых газов в дымовой трубе может привести к возникновению избыточного статического давления в верхней части дымовой трубы, где скорости дымовых газов максимальные. При больших скоростях дымовых газов в дымовой трубе создается избыточное статическое давление, дымовые газы проникают через швы футеровки в зону холодных температур, где происходит образование конденсата. Это приводит к интенсивному намоканию и разрушению кладки ствола. Таким образом, следует избегать как низких, так и высоких скоростей дымовых газов в дымовой трубе. Основываясь на данные реальных обследований дымовых труб в /16/ и определенных в этой работе минимальных скоростей дымовых газов при выходе из дымовой трубы ($w \geq$ 6 м/с) и минимальных температур на внутренней поверхности дымовой трубы ($t_{ст}'$ *больше* ($t_р + 5°C$), предлагается критерий $Re \cdot Q$,учитывающий скорость дымовых газов при выходе из дымовой трубы, температуру внутренней стенки дымовой трубы и точку росы:

$$Re = \frac{w \cdot d_0}{\nu}; \qquad Q = \frac{t_{ст}' - t_р}{t_{ст}'}$$

$$Re \cdot Q = \frac{w \cdot d_0}{\nu} \cdot \frac{(t_{ст}' - t_р)}{t_{ст}'},$$

где w – скорость дымовых газов на выходе из дымовой трубы, м/с;

d_0 – внутренний диаметр устья дымовой трубы, м;

ν – коэффициент кинематической вязкости дымовых газов, м2/с;

$t'_{ст}$ – температура внутренней стенки дымовой трубы, °С;

$t_р$ – точка росы дымовых газов в дымовой трубе, °С.

Используя данные /I6/ можно установить граничные значения критерия $Re \cdot Q = 2{,}2 \cdot 10^4$, выше которого режим работы дымовых труб без конденсации влаги гарантирован.

5.4. Типовые условия работы КТАНов в котельных и возможность работы при этом дымовых труб в режимах без конденсации влаги

Для выявления возможности работы дымовых труб котельных с КТАНами в режимах без конденсации влаги (повышение температуры дымовых газов осуществляется путем байпасирования части дымовых газов помимо КТАНа) рассмотрена серия типовых проектов котельных.

Расчеты проведены исходя из следующих предположений:

– загрузка КТАНов при работе котельной в закрытой системе теплоснабжения может быть обеспечена за счет собственных нужд котельной на 60%;

– загрузка КТАНов при работе котельной в открытой системе теплоснабжения может быть обеспечена за счет собственных нужд котельной на I00%. Кроме того, определяется процент загрузки КТАНа, при котором в дымовой трубе еще не происходит конденсация влаги, то есть когда $t'_{ст}$ больше или равно ($t_р$ + 5°С).

По вышеприведенной методике составлен алгоритм расчета и разра-

ботана программа расчета определения температуры внутренней стенки дымовой трубы при различных режимах работы котельной.

Для климатических условий, принимаемых для типового проектирования, характерны следующие температуры:

$t^{р}_{нв}$ – расчетная температура наружного воздуха –30°С (максимальный режим работы дымовой трубы);

$t^{опр}_{нв}$ – температура наружного воздуха в точке перелома температурного графика + I,0°С (минимальный режим работы дымовой трубы);

$t^{сред.}_{нв}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период –5,7°С (номинальный режим работы дымовой трубы).

Для этих условий были выполнены расчеты дымовых труб для различных типовых проектов. Результаты расчетов теплообмена в дымовой трубе для одного из типовых проектов приведены на рис.5.I.

Как показывают результаты расчета, наиболее тяжелые условия работы дымовой трубы наблюдаются в режиме точки перелома температурного графика; при этом запас по температуре составляет II°С при перепуске 40%.

5.5. Режим работы котлов в котельной с КТАНами в разрезе года

Для котельных, работающих без КТАНов, Латгипропром провел исследование по определению оптимального режима работы котлов в разрезе года.

Наиболее экономичным является покрытие переменной в разрезе года тепловой нагрузки всеми котлами котельной.

Экономический эффект образуется как за счет экономии топлива при работе котла на пониженных нагрузках, так и за счет работы тягодутьевых машин в области более высокого к.п.д.

Копировал 22967-01 12/Формат А4

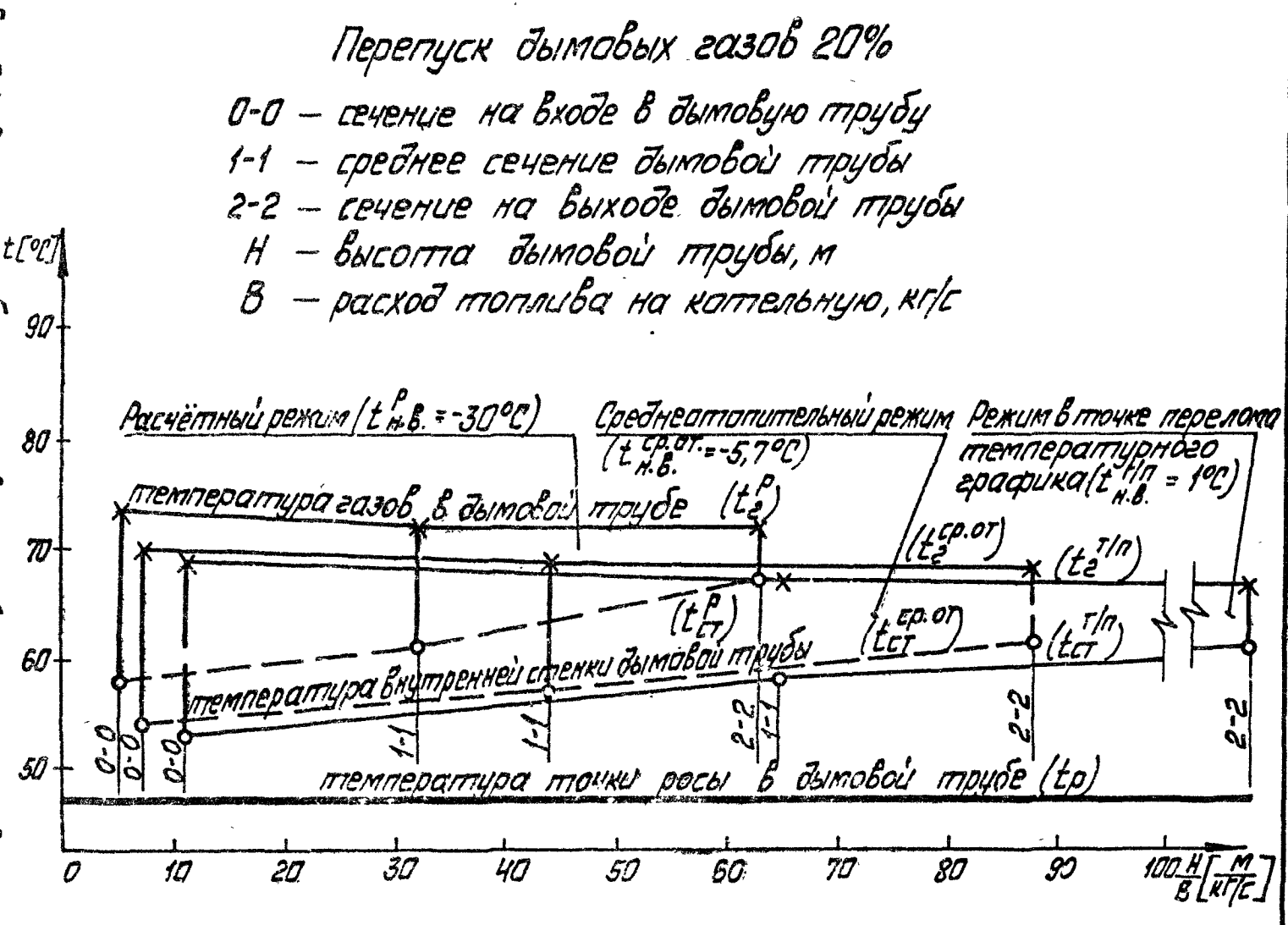


Рис.5.1. Режимы работы дымовой трубы при установке КТАНов (котельная 3×КВ-ГМ-11,63+2×Е-2,5-9 ГМ)

903-01-258.87

Лист 116

Копировал

Формат А4 22967-01

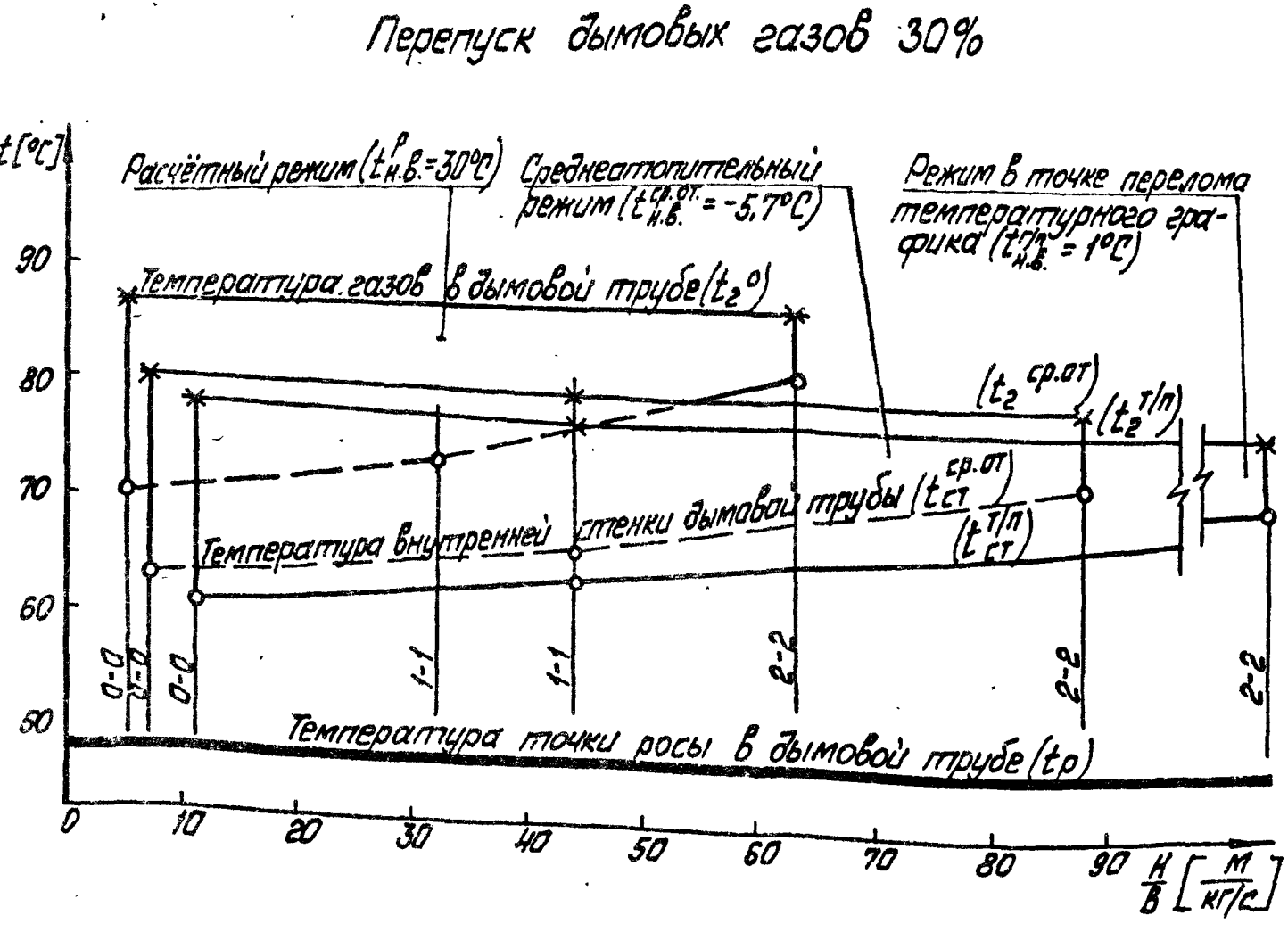


Рис. 5.1. Режимы работы дымовой трубы при установке КТАНов (котельная 3×КВ-ГМ-11,63+2×Е-2,5-9ГМ)

903-01-258.87

22967-01 123 Формат А4

Лист 117

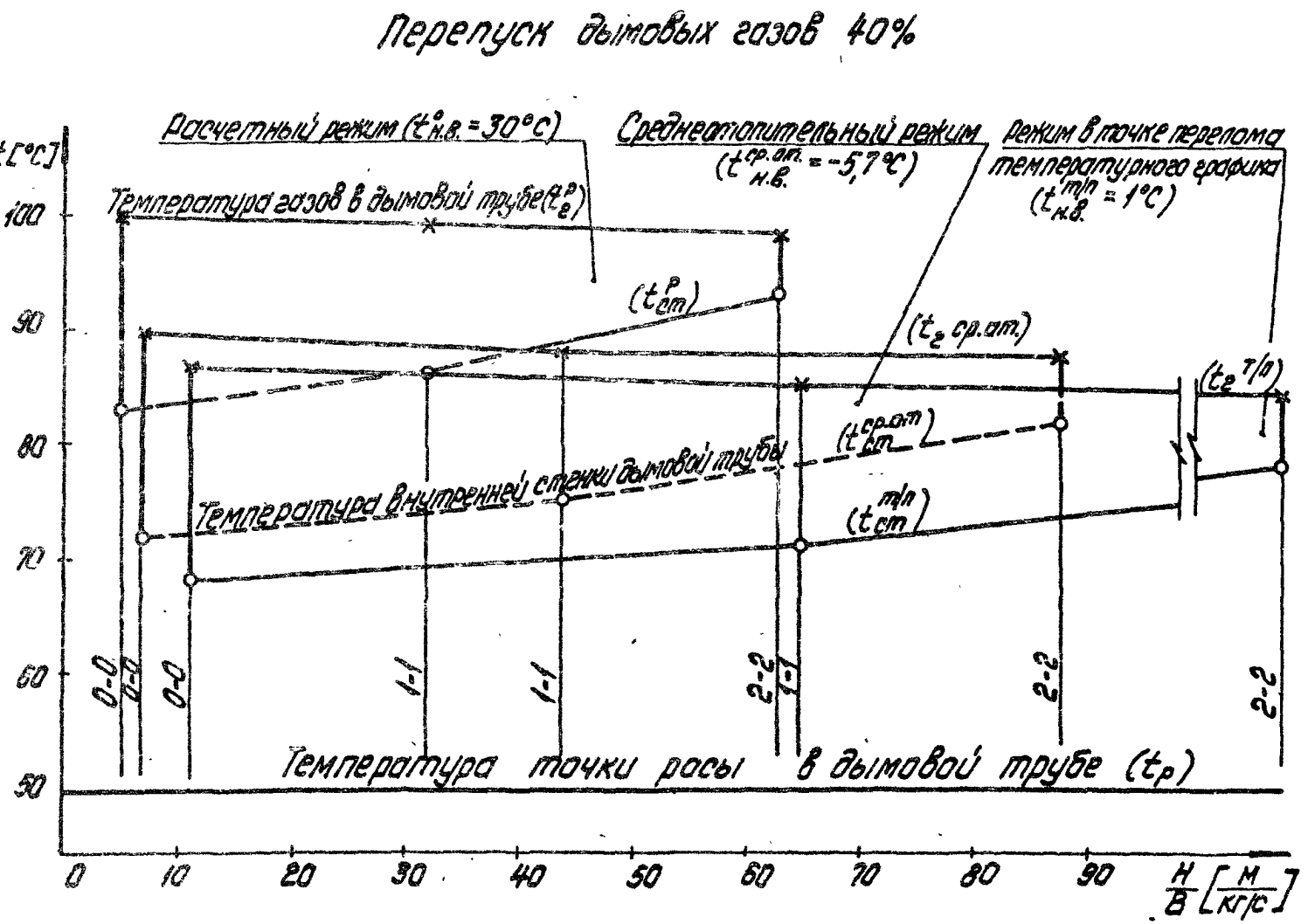


Рис. 5.1. Режимы работы дымовой трубы при установке КТАНов (котельная 3×КВ-ГМ-11,63+2×Е-2,5-9ГМ)

903-01-258.87

Лист 118

Формат А4 22967-01

При работе котлов с КТАНами результаты могут быть иными по следующим причинам:

I. Суммарный к.п.д. котла с КТАНом будет практически постоянным и не будет зависеть от температуры дымовых газов за котлом, т.к.определяющей в этом случае будет температура дымовых газов за КТАНом.

2. Расход дымовых газов, перепускаемых помимо КТАНа для подсушки, зависит от температуры дымовых газов после котла. При работе котла на пониженных параметрах температура дымовых газов за котлом падает, а требуемый расход перепускаемых газов возрастает. Это может привести к понижению экономичности котельной при работе с КТАНом, однако окончательный вывод об экономичности того или иного режима работы можно сделать только после проведения соответствующих расчетов для конкретных условий работы котельной.

5.6. Выводы

I) В каждом конкретном случае при установке КТАНов-утилизаторов в котельных необходим расчет по определению температуры внутренней стенки дымовой трубы.

2) Результаты расчета серии типовых проектов котельных показывают, что предел загрузки КТАНа-утилизатора (при охлаждении дымовых газов в нем до 40°С и поддержания температуры внутренней стенки дымовой трубы $t'_{ст}$ более точки росы $t_р$ составляет 40-60%.

3) Загрузку КТАНов-утилизаторов при экономическом обосновании можно увеличить за счет изменения режима работы котлов в разрезе года путем отказа от параллельной работы всеми котлами и перехода на работу с меньшим числом котлов к максимальной их нагрузкой. Это приведет к росту температуры дымовых газов на выхо-

Копировал 22987-01 125 Формат А4

де из котлов, что позволит уменьшить перепуск.

4) Загрузку КТАНов-утилизаторов можно также увеличить, охлаждая дымовые газы ниже 40°С, уменьшая температуру точки росы дымовых газов, и увеличивая разность ($t'_{ст} - t_р$).

5) Полная загрузка КТАНов-утилизаторов, при отсутствии перепуска, вызывает интенсивную конденсацию влаги из дымовых газов на внутренних поверхностях борова и дымовой трубы. В таком случае возможно строительство специальной дымовой трубы, допускающей возможность конденсации, однако для обоснования необходимости строительства такой трубы требуется провести технико-экономический расчет, который учитывал бы в комплексе удорожание дымовой трубы и дополнительную экономию топлива, появляющуюся в результате увеличения загрузки КТАНов-утилизаторов.

6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ УСТАНОВКЕ КТАНов

Копировал 22957-01 127 Формат А4

6.I. Общие принципы определения экономической эффективности

В схемах утилизации теплоты дымовых газов и других вторичных энергоресурсов с установкой КТАНов основой экономической эффективности их использования является достигаемая при этом экономия первичного топлива в народном хозяйстве и обеспечиваемая за счет этого экономия народнохозяйственных затрат по добыче и транспорту топлива.

Важнейшим условием определения экономической эффективности использования теплоты дымовых газов является поэтому правильное определение количества топлива, которое экономится при утилизации. При тепловом направлении использования вторичных энергоресурсов экономия топлива определяется сокращением его расхода в основных энергетических установках (котельных агрегатах) в результате уменьшения там выработки теплоты на величину использования ВЭР.

Экономия топлива за счет вторичных энергоресурсов определяется по величине использования ВЭР.

В соответствии с действующей типовой методикой основой для оценки экономической эффективности капвложений является значение величины приведенных затрат по данной схеме энергоснабжения:

$$З = S_{год} + E_н \cdot K \qquad (6.I),$$

где $З$ – приведенные затраты, руб/год;

$S_{год}$ – годовые эксплуатационные расходы, руб/год;

$E_н$ – коэффициент эффективности капиталовложений, принимаемый в расчетах, связанных с применением новой техники, новых или более совершенных технологических процессов производства, равным 0,I5 I/год;

К - капиталовложения, руб.

Экономически наиболее эффективным вариантом решения является вариант, характеризующийся минимумом приведенных затрат ($З = min$).

При определении экономической эффективности использования вторичных энергетических ресурсов сопоставлению подлежат варианты энергоснабжения, обеспечивающие:

- удовлетворение потребности данного производства во всех видах энергии с учетом использования вторичных энергетических ресурсов;

- удовлетворение тех же потребностей данного производства во всех видах энергии без учета использования вторичных энергетических ресурсов (базисный вариант).

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

- равного эффекта энергоснабжения, т.е. каждый из вариантов должен обеспечивать одинаковую как по расходу, так и по заданному режиму подачу энергии потребителю;

- создания оптимальных для каждого из рассматриваемых вариантов условий их реализации, т.е. использования для каждого из них технически наиболее совершенного оборудования;

- обеспечения одинаковой надежности энергоснабжения, т.е. варианты с пониженной надежностью приводятся к варианту с необходимой надежностью путем дополнительного включения оборудования в схему энергоснабжения на необходимом уровне.

Целесообразность реализации схем утилизации ВЭР с установкой

КТАНов определяется на основе расчетов сравнительной эффективности капитальных вложений. Окончательное решение принимается на основе комплексного анализа стоимостных и натуральных показателей.

Стоимостные показатели сравниваемых вариантов отражаются, как указывалось выше, приведенными затратами.

Для определения экономической эффективности предложений вариант сравнивается с базисным, согласно которому предлагается теплоту, получаемую за счет ВЭР, получать за счет сжигания органического топлива в котельной.

Технико-экономическая эффективность определяется следующим образом:

$$Э = З_б - З \quad \text{, руб/год (6.2),}$$

где $Э$ – экономия приведенных затрат (экономический эффект);

$З_б$ – приведенные затраты по базисному варианту;

$З$ – приведенные затраты по варианту, предусматривающему использование теплоты ВЭР.

Установку КТАНов в котельной и ввод их в эксплуатацию возможно, как правило, осуществить в течение одного календарного года. Поэтому приводимые ниже рекомендации по расчету эффективности не учитывают влияние фактора времени. Однако, в тех случаях, когда комплекс мероприятий по утилизации возможно реализовать только в течение нескольких лет, фактор времени при определении экономической эффективности необходимо учитывать /I4/, пользуясь при этом общепринятой методикой.

6.2. Определение капитальных вложений и годовых эксплуатационных расходов по варианту с использованием ВЭР

6.2.I. Определение капитальных вложений.

Определение капитальных вложений производится путем составления сводки затрат на выбранное согласно тепломеханическим расчетам утилизационное оборудование и дополнительные объемы работ по газоходам, трубопроводам, тепловым сетям, изоляционным и другим, сопутствующим мероприятиям по утилизационным работам.

Стоимость оборудования, материалов и монтажа определяется по действующим ценникам и прейскурантам.

6.2.2. Определение годовых эксплуатационных расходов

В общем случае годовые эксплуатационные расходы определяются как сумма затрат на топливо, электроэнергию, амортизацию, текущий ремонт, заработную плату, прочие расходы:

$$S_{год} = S_т + S_{эл} + S_{ам} + S_{тр} + S_{зрп} + S_{пр}, \text{руб/год}, \qquad (6.3).$$

При использовании вторичных энергоресурсов затраты на топливо принимаются равными нулю.

Затраты на электроэнергию определяются по формуле:

$$S_{эл} = З_{эл} \cdot Э_{год} \quad \text{,руб/год} \qquad (6.4),$$

где $Э_{год}, МВт \cdot ч$ – дополнительный годовой расход электроэнергии, который определяется в зависимости от потребляемой мощности оборудования и режима его работы в течение года;

$З_{эл}$ – замыкающие затраты на электроэнергию.

Затраты на амортизацию по действующим нормам амортизационных отчислений принимаются для котельных в размере 8,5% от стоимости оборудования и монтажа и 2,6% от стоимости строительных работ:

$$S_{ам} = 0{,}085 \cdot K_{об+монт} + 0{,}026 \cdot K_{стр} \text{ ,руб/год} \qquad (6.5).$$

Затраты на текущий ремонт принимаются в размере 20% от амор-

тизационных отчислений

$$S_{тр} = 0{,}2 \cdot S_{ам} \quad \text{,руб/год} \quad (6.6).$$

Как правило, при установке КТАНов дополнительный обслуживающий персонал не требуется.

При установке большого числа КТАНов и сложном режиме их работы в течение суток может потребоваться специальный обслуживающий персонал.

При определении затрат на заработную плату в этих случаях условно можно принимать, что зарплата одного работающего составляет 200 руб/мес. или 2,4 тыс.руб/год.

Прочие затраты определяются в размере 25÷30% от сумм затрат на амортизацию, текущий ремонт и заработную плату:

$$S_{пр} = (0{,}25 \div 0{,}35) \cdot (S_{ам} + S_{тр} + S_{зрн}) \quad \text{, руб/год} \quad (6.7).$$

6.3. Определение приведенных затрат по базисному варианту

Приведенные затраты по базисному варианту складываются из затрат на топливо, сэкономленное при использовании ВЭР. При этом учитывается только топливная составляющая годовых эксплуатационных расходов потому, что остальные составляющие (амортизация, текущий ремонт, зарплата, электроэнергия, прочие расходы) присутствуют в одинаковом размере как в базисном варианте, так и варианте, предусматривающем использование ВЭР, и при сопоставлении вариантов они взаимно исключают друг друга.

Такое положение обусловлено тем, что при проведении мероприятий по установке КТАНов принято, что все установки, использующие теплоту от КТАНов, должны дублироваться теплоисточником, сжигающим органическое топливо, т.е. потребители теплоты должны работать по схеме, предусматривающей использование ВЭР, но при

необходимости переключаться на существующую схему теплоснабжения.

Другими словами, мероприятия по утилизации ВЭР не уменьшают на основном теплоисточнике количество установленного оборудования и обслуживающего персонала, а только дают возможность сократить расход топлива и снизить число часов использования установленной мощности, т.е. годовые эксплуатационные расходы по основному теплоисточнику, за исключением топливной составляющей, остаются неизменными. Некоторое снижение расхода электроэнергии на основном теплоисточнике за счет снижения числа часов использования установленной мощности в расчетах не учитывается.

Годовой расход сэкономленного топлива определяется по годовой экономии теплоты с учетом к.п.д. котлоагрегатов.

Тогда стоимость топлива равна:

$$S_T = З_T \cdot B_{год} \quad \text{, руб/год} \quad (6.8),$$

где $B_{год}$ – годовой расход сэкономленного природного газа в пересчете на условное топливо, т.у.т./год;

$З_T$ – замыкающие затраты на топливо.

Начиная с конца 1984 года, Госстроем СССР рекомендовано (письмо № ИИ-4448-19/5 от 06.09.84 и др.) принимать в расчетах следующие значения замыкающих затрат для Европейской части СССР:

– природный газ – 60 руб/ т у.т.;

электроэнергия:

- 19-20 руб/МВт.ч при числе часов использования установленной мощности 6500÷7000 часов;
- 29-34 руб/МВт.ч при числе часов использования установленной мощности 3000÷4000 часов;
- 47-53 руб/МВт.ч при числе часов использования установленной мощности 500÷1000 часов.

6.4. Определение хозрасчетного экономического эффекта

Помимо народнохозяйственной эффективности для предприятий также рассчитывается хозрасчетный экономический эффект ($Эп$), который определяется как разность между приростом прибыли на предприятии за счет утилизации ВЭР с установкой КТАНов и проведенными капвложениями, необходимыми для осуществления схемы утилизации

$$Эп = \Delta П \times Ен \times \Delta К, \text{ руб/год} \qquad (6.9),$$

где $\Delta П$ – прирост прибыли на предприятии за счет использования ВЭР при установке КТАНов;

Ен – нормативный коэффициент эффективности капвложений, равный 0,15;

$\Delta К$ – капиталовложения на осуществление мероприятий по использованию ВЭР при установке КТАНов.

Прирост прибыли при использовании ВЭР достигается за счет сокращения расхода топлива и определяется по формуле:

$$\Delta П = \Delta В \times Цп - \Delta S, \text{ руб/год} \qquad (6.10),$$

где $\Delta В$ – экономия топлива за счет использования ВЭР, т.у.т/год;

Цп – цена сэкономленного топлива на предприятии, руб/т.у.т;

ΔS – годовые эксплуатационные расходы, связанные с мероприятиями по использованию ВЭР, руб/год.

В соответствии с действующей типовой методикой окончательный вывод о целесообразности вовлечения вторичных энергоресурсов в производство на действующем предприятии следует делать из величины годового народнохозяйственного экономического эффекта, рассчитанного по разности приведенных затрат в варианты с использованием и без использования ВЭР с учетом замыкающих затрат на топливо и электроэнергию.

7. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВЕРОЧНОГО ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА

Копировал 22967-01 135 Формат А4

В данном разделе приводятся два примера выполнения поверочного теплового расчета. Оба расчета выполняются для КТАНа-4,5УГ. В обоих случаях КТАН-4,5УГ устанавливается за котлом КВ-ГМ-30.

В первом примере (расчетная схема показана на рисунке 7а) расход нагреваемой воды, а следовательно, и возможная теплопроизводительность по нагреваемой воде значительно превышают номинальные параметры КТАНа-4,5УГ.

Расчет ведется для определения расхода воды, который возможно нагреть в КТАНе до заданной температуры - $t_в''$. Во втором примере (расчетная схема показана на рисунке 7б) в КТАН направляется несколько потоков воды заданных параметров, возможная теплопроизводительность по нагреваемым потокам воды меньше номинальной теплопроизводительности КТАНа-4,5УГ.

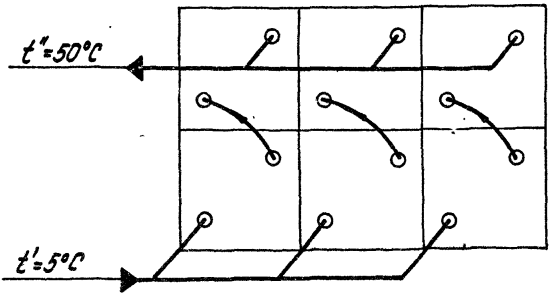
В расчете определяется количество дымовых газов, необходимых для нагрева этих потоков воды.

В обоих примерах теплопроизводительность котла после установки КТАНа не менялась, т.к. данные потоки воды подогревались за счет теплоты, получаемой от других котлов котельной.

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Копировал Формат А4 22967-04 136

а)



б)

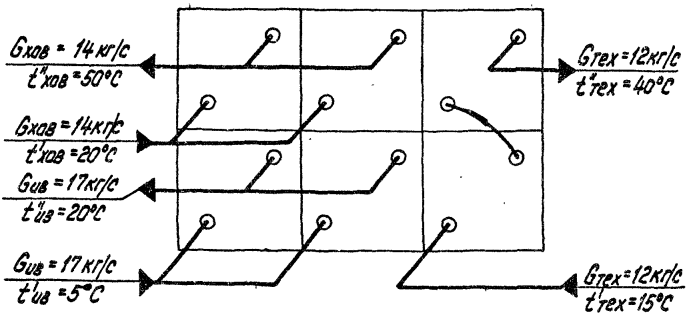


Рис.7. Схема потоков воды, нагреваемых в насадке КТАНа - 4,5УГ.

ПРИМЕР I

Характеристика котлоагрегата:

- тип котлоагрегата - КВ-ГМ-30;
- температура газов за котлом - $t'_г$ = I85°С;
- коэффициент избытка воздуха - α = I,I5;
- теплопроизводительность - Q=35 МВт.

Характеристика сжигаемого топлива (природного газа):

- низшая теплотворная способность топлива - $Q^р_н$ =35535 $\frac{кДж}{м3}$;
- плотность сухого топлива - $\rho^с_г$ = 0,73 $\frac{кг}{м3}$;
- теоретически необходимый объем воздуха для горения I м3 топлива - V^o = 9,45 м3/м3;
- объем азота в продуктах сгорания I м3 топлива - V_{N_2} = 7,47 м3/м3;
- объем трехатомных газов в продуктах сгорания I м3 топлива - V_{RO_2} = 0,99 м3/м3;
- теоретический объем водяных паров в продуктах сгорания I м3 топлива - $V^o_{H_2O}$ = 2,0I м3/м3;
- влагосодержание воздуха, подаваемого на горение - $d_в$ = 0,0I кг/кг с.в.

Характеристика нагреваемого в КТАНе потока воды:

- температура нагреваемой воды на входе в КТАН - $t'_в$=5°С;
- температура нагреваемой воды на выходе из КТАНа - $t''_в$ = 50°С.

I) Расчет параметров дымовых газов на входе в КТАН.

Объем водяных паров в дымовых газах на I м3 топлива при влагосодержании воздуха $d_в$ = 0,0I кг/кг с.в.

$$V_{H_2O} = V^o_{H_2O} + 0{,}0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^o =$$

$$= 2{,}0I + 0{,}0I6I\ (I{,}I5-I)\ 9{,}45 = 2{,}24\ м3/м3.$$

Объем дымовых газов на I м3 топлива

$$V_г = (\alpha - 1) \cdot V^0 + V_{H_2O} + V_{RO_2} + V_{N_2} =$$

=(I,I5–I) 9,45+2,24+0,99+7,47=I2,I2 м3/м3.

Массовый расход сухих дымовых газов на I м3 топлива:

$$G_г^c = V_{RO_2} \cdot \rho_{RO_2} + V_{N_2} \cdot \rho_{N_2} + V^0 \cdot \rho_0 \cdot (\alpha - 1) =$$

= 0,99xI,96+7,47xI,25+I,29x9,45X0,I5=I3,I2 кг/м3.

Массовый расход влажных дымовых газов на I м3 топлива при $d_б$= 0,0I кг/кг с.в.:

$$G_г = \rho_г^c + \rho_0 \cdot \alpha \cdot V^0 =$$

= 0,73+I,3xI,I5x9,45=I4,86 кг/м3.

Влагосодержание дымовых газов на входе в КТАН:

$$d' = \frac{G_г - G_г^c}{G_г^c} = \frac{I4,86 - I3,I2}{I3,I2} = 0,I32 \ \frac{кг}{кг \ с.г.}$$

Энтальпия дымовых газов на входе в КТАН

$$J' = c_{cг} \cdot t_г' + d' \cdot (c_п \cdot t_г' + r) =$$

=I,0xI85+0,I32(I,97xI85+2490)=56I,8 кДж/кг.

2) Теплобалансовый расчет. Принимается: $\eta_{об}$= 0,9 и температура газов за КТАНом $t_г''$=40°С, по таблице 4.7 находим:

d''= 0,044кг/кг; $J_г''$= I53,46 кДж/кг.

Теплопроизводительность КТАНа равна:

$$Q_{кт} = G_г^c \cdot \Delta J \cdot B \cdot \eta_{об} =$$

= I3,I2x(56I,8–I53,46)xI,072x0,9=5I86 кВт = 5,I86 МВт.

Расход воды, нагреваемой в насадке:

$$G_в = \frac{0,98 \cdot Q_{кт}}{c_в \cdot (t_в'' - t_в')} =$$

$$= \frac{0,98x5I86}{4,I86.(50-5)} = 27 \text{ кг/с.}$$

3) Расчет поверхности теплообмена.

Объемный расход дымовых газов в насадке КТАНа

$$V = V_r \cdot B \cdot \eta_{об} \cdot \frac{273 + t_r^{ср}}{273} =$$

$$= 12{,}12 \times 1{,}072 \times 0{,}9 \frac{273+70}{273} = 14{,}8 \text{ м3/с.}$$

Скорость дымовых газов в насадке КТАНа:

$$w_r = \frac{V}{S_r^{пр}} =$$

$$= \frac{14{,}8}{1{,}73} = 8{,}55 \text{ м/с.}$$

Скорость нагреваемой в КТАНе воды:

$$w_в = \frac{G_в}{S_в^{пр} \cdot \rho_в} =$$

$$= \frac{27}{1{,}86 \times 10^{-2}} = 1{,}45 \text{ м/с.}$$

По номограмме 4.2 определяется коэффициент теплоотдачи со стороны дымовых газов к трубкам насадки:

$$\alpha_r = 709 \frac{\text{Вт}}{\text{м2} \times {}^{0}\text{C}}.$$

По номограмме 4.3 определяется коэффициент теплоотдачи со стороны трубок насадки в нагреваемой воде:

$$\alpha_в = 6140 \frac{\text{Вт}}{\text{м2} \times {}^{0}\text{C}}.$$

Определяется коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{C}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_в}} =$$

$$= \frac{0{,}95}{\frac{1}{709} + \frac{0{,}002}{45} + \frac{1}{6140}} = 596 \frac{\text{Вт}}{\text{м2} \times {}^{0}\text{C}}$$

Определяется логарифмическая разность температур:

$$\Delta t_{\ell} = \frac{(t_г' - t_в'') - (t_г'' - t_в')}{\ell n \frac{t_г' - t_в''}{t_г'' - t_в'}}$$

$$= \frac{(185-50)-(40-5)}{\ell n \frac{185-50}{40-5}} = 74^{\circ}C.$$

Расчетная поверхность нагрева равна:

$$F = \frac{Q_{кт}}{K \cdot \Delta t_{\ell}} = \frac{5186.10^3}{596x74} = 117,6 \text{ м2}.$$

Отношение:

$$\frac{F_{кт} - F}{F_{кт}} = \frac{135,8-117,6}{135,8} = 0,13 > 0,05,$$

следовательно необходим перерасчет с новым значением $t_г''$.

Принимаем $t_г'' = 35^{\circ}C$.

4) Теплобалансовый расчет (второе приближение).

По таблице 4.7 находим $d'' = 0,032$ кг/кг; $J_г'' = 117,2 \frac{кДж}{кг}$.

Теплопроизводительность КТАНа равна:

$$Q_{кт} = G_г^c \cdot \Delta J \cdot B \cdot \eta_{об} =$$

$$= 13,12 (561,8-117,2) x 1,072 x 0,9 = 5628 \text{ кВт} = 5,628 \text{ МВт}.$$

Расход воды, нагреваемой в насадке:

$$G_в = \frac{0,98 \cdot Q_{кт}}{c_в \cdot (t_в'' - t_в') \cdot 10^3} = \frac{0,98x5628}{4,186(50-5)} = 29,3 \text{ кг/с}.$$

5) Расчет поверхности теплообмена (второе приближение).

Скорость нагреваемой в КТАНе воды:

$$w_в = \frac{G_в}{S_в^{пр} \cdot \rho_в} = \frac{29,3}{1,86x10^{-2} \cdot 1000} = 1,58 \text{ м/с}.$$

По номограмме 4.2 определяется коэффициент теплоотдачи со стороны дымовых газов к трубкам насадки: $\alpha_г = 733$ Вт/м2 х °С.

По номограмме 4.3 определяется коэффициент теплоотдачи со стороны трубок насадки к нагреваемой воде: $\alpha_в = 6501$ Вт/м2 х °С.

Определяется коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{C}{\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_в}} = \frac{0,95}{\frac{1}{733} + \frac{0,002}{45} + \frac{1}{6501}} = 608,2 \text{ Вт/м2 х °С}$$

Определяется логарифмическая разность температур:

$$\Delta t_л = \frac{(t'_г - t''_в) - (t''_г - t'_в)}{\ell n \frac{t'_г - t''_в}{t''_г - t'_в}}$$

$$= \frac{(185-50)-(35-5)}{\ell n \frac{185-50}{35-5}} = 70^{\circ}С.$$

Расчетная поверхность нагрева равна:

$$F = \frac{Q_{кт}}{K \cdot \Delta t_л} = \frac{5628.10^3}{608,2 \times 70} = 132,5 \text{ м2}.$$

Отношение:

$$\frac{F_{кт} - F}{F_{кт}} = \frac{135,8-132,5}{135,8} = 0,02 \leqslant 0,05.$$

Следовательно расчетная поверхность практически совпадает с поверхностью КТАНа.

Теплопроизводительность (расчетная) КТАНа-4,5УГ, установленного за данным котлом, составит $Q_{кт} = 5,63$ МВт, а дымовые газы охладятся с $t'_г = 185^{\circ}С$ до $t''_г = 35^{\circ}С$.

ПРИМЕР 2

I) Расчет параметров дымовых газов на входе в КТАН совпадает с расчетом примера I.

2) Теплобалансовый расчет.

Определяется теплопроизводительность КТАНа по нагреваемой воде: $Q_{кт}=(G_{пв}\cdot(t''_{пв}-t'_{пв})+G_{хов}\cdot(t''_{хов}-t'_{хов})+G_{тех}\cdot(t''_{тв}-t'_{тв})\cdot\frac{c_в}{0,98}=$

$= (17.(20-5)+14.(50-20)+12.(40-15)\ \frac{4,186}{0,98} = 4164$ кВт.

Задаемся температурой дымовых газов за КТАНом $t''_г = 40^{\circ}C$, по номограмме 4.1 для $t'_г = 185^{\circ}C$ и $d' = 0,132$ кг/кг с.г. определяем ΔJ – разность энтальпий дымовых газов на входе в КТАН и выходе из КТАНа: $\Delta J = 410$ кДж/кг.

Определяется коэффициент, учитывающий обвод дымовых газов помимо КТАНа:

$$\eta_{об}=\frac{Q_{кт}}{G^c_г\cdot\Delta J\cdot B}=\frac{4164}{13,12.410.1,072}=0,72$$

Средневзвешенная температура воды на входе в КТАН:

$$t'_в=\frac{G_{пв}\cdot t'_{пв}+G_{тех}\cdot t'_{тв}}{G_{пв}+G_{тех}}=\frac{17x5+12x15}{17+12}=9^{\circ}C.$$

Средневзвешенная температура воды на выходе из КТАНа:

$$t''_в=\frac{G_{хов}\cdot t''_{хов}+G_{тех}\cdot t''_{тв}}{G_{хов}+G_{тех}}=\frac{14x50+12x40}{14+12}=45,4^{\circ}C.$$

Эквивалентный расход нагреваемой воды:

$$G_в=\frac{Q_{кт}\cdot 0,98}{c_в\cdot(t''_в-t'_в)}=\frac{4164x0,98}{4,186x(45,4-9)}=26,8\ кг/с$$

3) Расчет поверхности теплообмена.

Расход дымовых газов в активной насадке:

$$V = V_г \cdot B \cdot \eta_{об} \cdot \frac{273 + t_г^{ср}}{273} =$$

$= 12{,}12 \times 1{,}072 \times 0{,}72 \frac{273+70}{273} = 11{,}8$ м3/с.

Скорость дымовых газов в насадке:

$$w_г = \frac{V}{S_г^{пр}} = \frac{11{,}8}{1{,}73} = 6{,}80 \text{ м/с.}$$

Скорость нагреваемой в КТАНе воды:

$$w_в = \frac{G_в}{S_в^{пр} \cdot \rho_в} = \frac{26{,}8}{1{,}86 \times 10^{-2} \cdot 1000} = 1{,}44 \text{ м/с.}$$

По номограмме 4.2 определяется коэффициент теплоотдачи со стороны дымовых газов к трубкам насадки:

$$\alpha_г = 570 \frac{\text{Вт}}{\text{м2} \times {}^{o}\text{C}}$$

По номограмме 4.3определяется коэффициент теплоотдачи со стороны трубок насадки к нагреваемой воде: $\alpha_в = 5466 \frac{\text{Вт}}{{}^{o}\text{C} \times \text{м}^2}$.

Коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{c}{\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_в}} = \frac{0{,}95}{\frac{1}{570} + \frac{0{,}002}{45} + \frac{1}{5466}} = 480 \frac{\text{Вт}}{{}^{o}\text{C} \times \text{м2}}.$$

Логарифмическая разность температур:

$$\Delta t_л = \frac{(t_г' - t_в'') - (t_г'' - t_в')}{\ln \frac{t_г' - t_в''}{t_г'' - t_в'}}$$

$$= \frac{(185 - 45{,}4) - (40 - 9)}{\ln \frac{185 - 45{,}4}{40 - 9}} = 72{,}2^{o}\text{C}.$$

Поверхность теплообмена

$$F = \frac{Q_{кт} \cdot 10^6}{K \cdot \Delta t_л} = \frac{4164.10^3}{480 \times 72,2} = 120 \text{ м2}.$$

Отношение:

$$\frac{F_{кт} - F}{F_{кт}} = \frac{135,8-120}{135,8} = 0,12 > 0,05,$$

следовательно необходим перерасчет с новым значением $\eta_{об}$ и $t_г''$.

Принимаем $t_г'' = 35^oC$.

4) Теплобалансовый расчет (второе приближение): при $t_г'' = 35^oC$ по таблице 4.7 определяется $d'' = 0,032$ кг/кг; $J_г'' = 117,2$ ккал/кг.

По номограмме 4.1 разность энтальпий $\Delta J = 455$ кДж/кг.

Коэффициент, учитывающий обвод дымовых газов определяется по формуле:

$$\eta_{об} = \frac{Q_{кт}}{G_г^c \cdot \Delta J \cdot B} = \frac{4164}{13,12.456.1,072} = 0,64.$$

5) Расчет поверхности теплообмена (второе приближение).

Расход дымовых газов в активной насадке:

$$V = V_г \cdot B \cdot \eta_{об} \cdot \frac{273 + t_г^{ср}}{273} =$$

$$= 12,12 \times 1,072 \times 0,64 \frac{273+70}{273} = 10,4 \text{ м3/с}.$$

Скорость дымовых газов в насадке:

$$w_г = \frac{V}{S_г^{пр}} = \frac{10,4}{1,73} = 6,0 \text{ м/с}.$$

По монограмме 4.2 определяется коэффициент теплоотдачи со стороны дымовых газов к трубкам насадка: $\alpha_г = 529 \frac{Вт}{м2\ ^oC}$

Коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{C}{\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_в}} = \frac{0,95}{\frac{1}{529} + \frac{0,002}{45} + \frac{1}{5466}} = 452,0 \ \frac{Вт}{м2 \times ^oC}$$

Логарифмическая разность температур:

$$\Delta t_л = \frac{(t_г' - t_в'') - (t_г'' - t_в')}{\ell n \frac{t_г' - t_в''}{t_г'' - t_в'}} = \frac{(185-45,4)-(35-9)}{\ell n \frac{185-45,4}{35-9}} = 67,6^oC.$$

Поверхность теплообмена

$$F = \frac{Q_{кт} \cdot 10^6}{K \cdot \Delta t_л} = \frac{4164.10^3}{452 \times 67,6} = 134,9 \ м2$$

Отношение

$$\frac{F_{кт} - F}{F_{кт}} = \frac{135,8-134,9}{135,8} = 0,006 < 0,05.$$

Расчетная поверхность F практически совпадает с поверхностью КТАНа. Теплопроизводительность КТАНа составит $Q_{кт}$ =4,164 МВт, температура дымовых газов уменьшается с 185°С до 35°С.

8. ПРИМЕР АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЁТА ГАЗОВОГО ТРАКТА КОТЛА С КТАНОМ

Расчёт выполнен для котла ГМ-50-I4 с установкой КТАНа-4,5УГ. Методика расчёта, формулы и графики взяты из /9/.

Расчётная схема газового тракта приведена на рис.8.I. Газовый тракт котла ГМ-50-I4 с КТАНом-4,5УГ изображен на рис.8.2.

Расчёт выполняется для летнего режима работы котельной. В расчёте принято, что в летнем режиме из всех котлов котельной работают два котла ГМ-50-I4.

За одним из котлов установлен КТАН-4,5УГ. Тепловая нагрузка котлов в разрезе года принята постоянной. В таких условиях расчёт выполняется для летнего режима, так как в летнем режиме самотяга дымовой трубы ниже, чем в других режимах и поэтому общее сопротивление газового тракта котла ГМ-50-I4 будет максимальным.

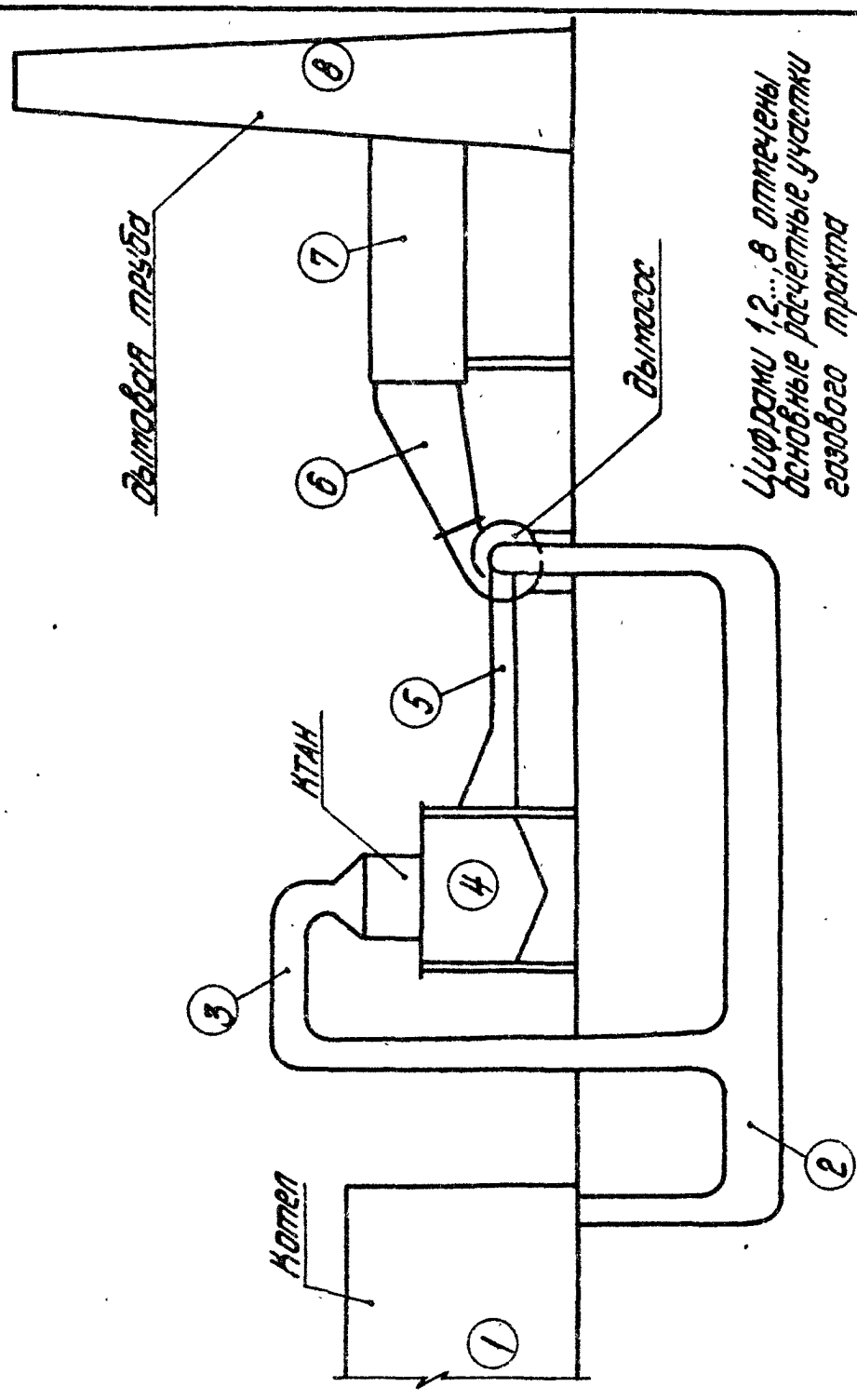


Рис. 8.1. Расчетная схема газового тракта

22967-01 149 Формат А4

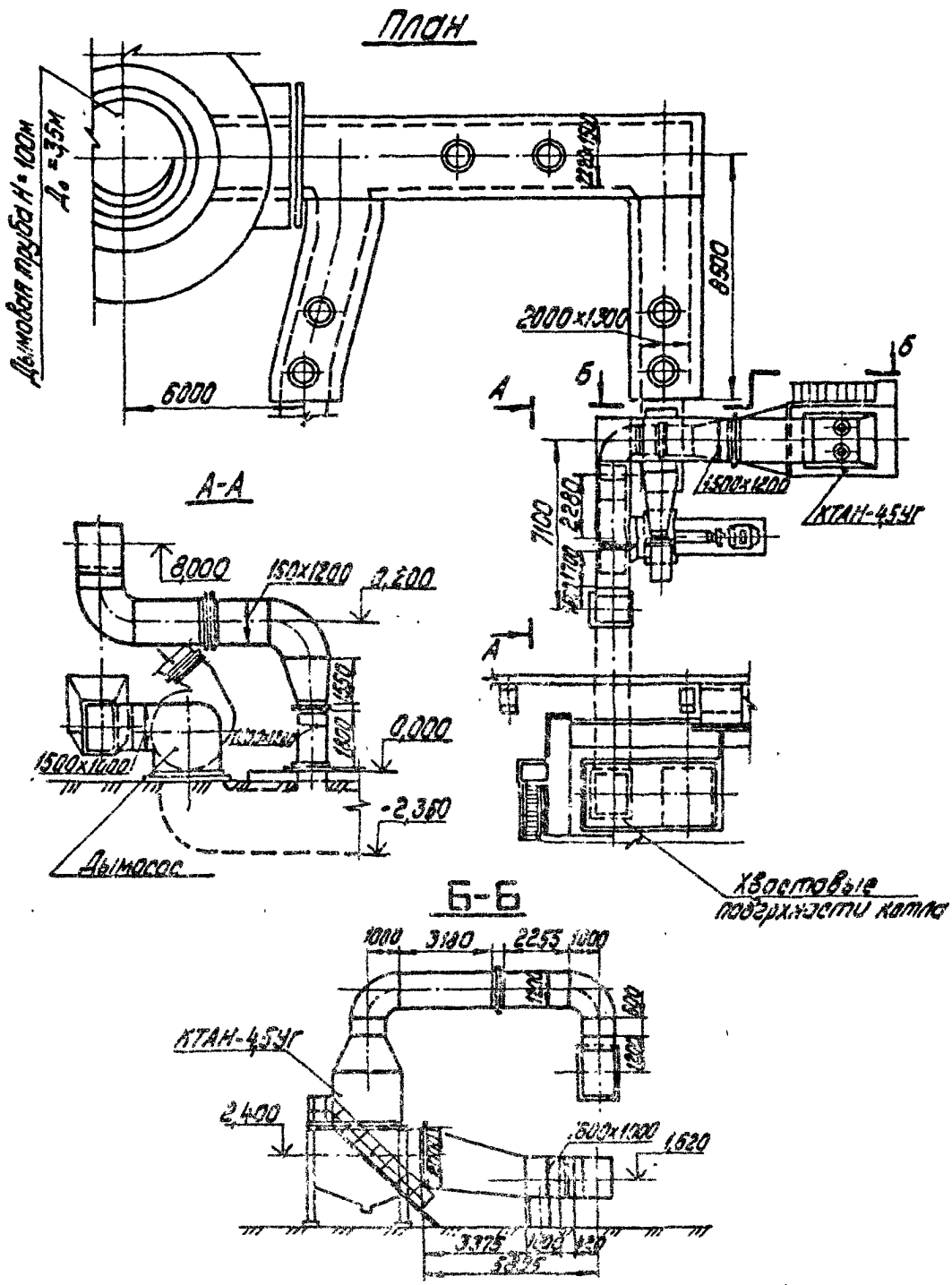


Рис. 8.2. Газовый тракт котла ГМ-50-14 с КТАНом - 4,5УГ

Пример аэродинамического расчета

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или другие данные
		Исходные данные		
Расход топлива	$B_р$	$м^3/ч$	Тепловой расчет котла	3700
Температура уходящих газов	$t_{ух}$	°С	— " —	126
Объем теоретически необходимого воздуха	V^0	$м^3/м^3$	— " —	9,58
Объем водяных паров	$V^0_{H_2O}$	$м^3/м^3$	— " —	2,186
Объем трехатомных газов	$V^0_{RO_2}$	$м^3/м^3$	— " —	1,02
Объем азота	$V^0_{N_2}$	$м^3/м^3$	— " —	7,6
Коэффициент избытка воздуха	α	—	— " —	1,3
Объем дымовых газов	$V_г$	$м^3/м^3$	$(\alpha-1)V^0+V^0_{H_2O}+V^0_{RO_2}+V^0_{N_2}$	$(1,3-1)\,9,58+2,186+1,02+7,6=13,68$
Расход дымовых газов	V	$м^3/ч$	$\frac{V_г B(273+t_{ух})}{3600\cdot 273}$	$\frac{13,68\cdot 3700(273+126)}{3600\cdot 273}=20,5$
Температура дымовых газов после КТАНа	$t''_{г\,кт}$	°С		40
Температура дымовых газов в КТАНе	$t_{г\,кт}$	°С		75

Пример аэродинамического расчёта (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обозначение	Расчёт или другие данные
			Расчёт	
① Котёл ГМ-50-14 с экономайзером сопротивление котла	Δh_1	кгс/м²	аэродинамический расчёт котла	225
② Участок от экономайзера до выхода из канала				
Сопротивление трения участка	$\Delta h_2^{тр}$	кгс/м²	$\lambda \frac{l}{d_э} h_g$	$0{,}023 \frac{7}{1{,}33} \cdot 5{,}8 = 0{,}7$
Коэффициент сопротивления трения	λ	—	рис. VII-3 $R_2 = \frac{1 \cdot 1{,}42 \cdot 1{,}33}{23{,}6 \cdot 10^{-6}} = 64{,}10^3$ $k = 25 \cdot 10^{-3}$ м	0,023
Эквивалентный диаметр	$d_э$	м	$\frac{4F}{U}$	$\frac{2 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}2}{1{,}5 + 1{,}2} = 1{,}33$
Длина участка	l	м	по чертежу	7
скорость газов	w	м/сек	$\frac{V}{F}$	$\frac{20{,}55}{1{,}8} = 11{,}42$
динамическое давление	h_g	кгс/м²	рис. VII-2 $t = 126°C$	5,8
②.1 поворот на 90° без изменения сечения				
Местное сопротивление поворота	Δh_{21}	кгс/м²	ξh_g	$0{,}84 \cdot 5{,}8 = 4{,}87$
коэффициент местного сопротивления	ξ	—	$K_\Delta \xi_0 B C$	$0{,}48 \cdot 1{,}75 = 0{,}84$

Пример аэродинамического расчета (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или другие данные
произведение	$K_\Delta \xi_0$	—	рис. VII-15 $\frac{r}{b} = \frac{0,35}{1,5} = 0,23$	0,48
поправочный коэффициент f (угла поворота)	B	—	рис. VII-16 $\gamma = 90°$	1
поправочный коэффициент c (формы сечения)	C	—	рис. VII-17 $\frac{a}{b} = 0,8$; $\frac{h}{b} = 0,5$	1,75
скорость газов	w	м/с	$\frac{V}{F}$	$\frac{20,55}{1,8} = 11,42$
динамическое давление	h_g	кгс/м²	рис. VII-2 $t = 126°C$	5,8
(22) раздающий тройник				
местное сопротивление	Δh_{22}	кгс/м²	$\xi_3 \cdot h_g$	8,14
коэффициент сопротивления	$\xi_б$	—	рис. VII-20 $\frac{w_б}{w_c} = 1,12$; $\alpha = 90°$	1,1
скорость потока в боковом ответвлении	$w_б$	м/сек.	$\frac{0,75 \cdot V}{F_б}$	$\frac{15,41}{1,2 \cdot 1} = 12,8$
скорость потока в проходе	w_c	м/сек.	$\frac{0,25 \cdot V}{F_c}$	$\frac{5,14}{1,8} = 2,85$
динамическое давление	h_g	кгс/м²	рис. VII-2 $t = 126°C$	7,4
общее сопротивление участка	Δh_2	кгс/м²	$\Delta h_2^{тр} + \Delta h_{21} + \Delta h_{22}$	0,7 + 4,87 + 8,14 = 13,71

22967-01 153 Формат А4

Пример аэродинамического расчёта (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчёт или другие данные
③ Участок выход из канала - вход в КТАН				
сопротивление трения	$\Delta h_3^{тр}$	кгс/м²	$\lambda \frac{l}{d_э} h_g$	$0{,}02 \cdot \frac{23}{1{,}37} \cdot 2{,}85 = 0{,}95$
коэффициент трения	λ	—	рис. VII-2	0,02
эквивалентный диаметр	$d_э$	м	$\frac{4F}{U}$	$\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 1{,}2}{1{,}6 + 1{,}2} = 1{,}37$
длина участка	l	м	—	23
скорость газа	W	м/сек.	$\frac{V}{F}$	$\frac{15{,}41}{1{,}92} = 8{,}03$
динамическое давление	h_g	кгс/м²	рис. VII-2 $t = 126°C$	2,85
③.1 диффузор				
местное сопротивление диффузора	$\Delta h_{з.1}$	кгс/м²	$\xi_{диф} h_g$	$0{,}084 \cdot 7{,}4 = 0{,}62$
коэффициент сопротивления диффузора	$\xi_{диф}$	—	$\varphi_p \cdot \xi_{вых}$	$0{,}7 \cdot 0{,}12 = 0{,}084$
коэффициент полноты удара	φ_p	—	рис. VII-12 $\alpha = 27°$	0,7
коэффициент	$\xi_{вых}$	—	рис. VII-11 $\frac{F_м}{F_б} = \frac{1{,}2}{1{,}92} = 0{,}63$	0,12

Пример аэродинамического расчета (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или другие данные
скорость газов	w	м/сек.	$\frac{V}{F}$	$\frac{15,41}{1,2} = 12,83$
динамическое давление	h_g	кг/м²	рис. VII-2 $t=126^\circ C$	7,4
(3.2) поворот на 90° без изменения сечения-2шт.				
местное сопротивление поворота	$\Delta h_{3г}$	кгс/м²	Σh_g	0,44·2,85=1,25
произведение	$K\Delta\xi_0$	—	рис. VII-15 $\frac{R}{B}=\frac{1,35}{1,6}=0,84$	0,4
поправочный коэффициент	B	—	рис. VII-16 $\varphi=90^\circ$	1
поправочный коэффициент	C	—	рис. VII-17 $R/B=0,84$ $a/B=0,75$	1,1
скорость газов	w	м/с	$\frac{V}{p}$	$\frac{15,41}{1,92}=8,03$
динамическое давление	h_g	кгс/м²	рис. VII-2 $t=126^\circ$	2,85
коэффициент сопротивления поворота	ξ	—	$K_\Delta \cdot \xi_0$ BC	0,4·1·1,1=0,44
(3.3) поворот на 90° без изменения сечения - 2 шт.				
местное сопротивление поворота	$\Delta h_{3з}$	кгс/м²	$\xi \cdot h_g$	0,46·2,85=1,31

Пример аэродинамического расчета (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	формула или обоснование	Расчет или другие данные
Коэффициент сопротивления поворота	ξ	—	$K_\Delta \xi_0$ ВС	0,42 · 1,1 = 0,46
произведение	$K_\Delta \xi_0$	—	VII-15 $R/B = 0,83$	0,42
коэффициенты	B/C	—	$\gamma = 90°$ VII-17 $R/B = 0,84$ $a/B = 0,75$	1 / 1,1
скорость газов	w	м/с	$\frac{V}{F}$	$\frac{15,41}{1,92} = 8,03$
динамическое давление	h_g	кгс/м²	VII-2	2,85
(3.4) диффузор				
местное сопротивление диффузора	$\Delta h_{3.4}$	кгс/м²	диф. h_g	0,56 · 2,85 = 1,6
коэффициент сопротивления диффузора	$\xi_{диф.}$	—	$\varphi_p \cdot \xi_{вых.}$	2 · 0,28 = 0,56
Коэффициент полноты удара	φ_p		VII-12 $\alpha = 57°$	2
коэффициент	вых	—	VII-11 $F_м/F_б = \frac{1,92}{4} = 0,48$	0,28
скорость газов	W	м/с	$\frac{V}{F}$	$\frac{15,4}{1,92} = 8,03$
динамическое давление	h_g	м/м²	VII-2 $t = 125°C$	2,85

22967-01 156 Формат А4

Пример аэродинамического расчета (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или другие данные
Общее сопротивление участка	Δh_3	кгс/м²	$\Delta h_{3тр}+\Delta h_{31}+2\Delta h_{32}+2\Delta h_{33}+\Delta h_{34}$	0,96+0,62+2·1,25+2·1,3+1,6=8,3
④ КТАН-4,5 УГ	Аэродинамический расчет			
	Исходные данные			
Номинальное сопротивление КТАНа-4,5 УГ	$\Delta h_{кт}^{н}$	кгс/м²	аэродинамический расчет КТАНа	68,5
Номинальная скорость в КТАНе	w^{N}	м/с		8,55
Проходное сечение по газу	$S_г^{пр}$	м²		1,73
			Расчет	
Скорость газов в КТАНе	w	м/с	$\frac{B_г V_г (273+t_г^{н})/2об}{S_г^{пр} 273 \cdot 3600}$	$\frac{3700 \cdot 13,7 \cdot 348 \cdot 0,75}{1,73 \cdot 273 \cdot 3600}=7,8$
Коэффициент пересчета			$\frac{(W^{н})^2}{W^2}$	$\frac{8,55^2}{7,8^2}=1,2$
Сопротивление в КТАНе	Δh_4	кгс/м²	$\frac{\Delta h_{кт}^{к}}{1,78}$	$\frac{58,8}{1,2}=57,1$
⑤ Участок выхода из КТАНа				
Вход в карман дымососа				Расчет местного сопротивления участка 5.1 см. л. 10
Расход дымовых газов за КТАНом	$V_{г\,кг}$	м³/с	$\frac{V_г B \cdot 0,75 (273+t_{кт}^{н})}{3600 \cdot 273}$	$\frac{13,68 \cdot 3700 \cdot 0,75 \cdot 313}{3600 \cdot 273}=12,1$

Пример аэродинамического расчета (продолжения)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или другие данные
Сопротивление трения участка	$\Delta h_{5тр}$	кгс/м²	$\lambda \frac{e}{d_э} h_g$	$0{,}02 \cdot \frac{10}{1{,}23} \cdot 3{,}3 = 0{,}54$
Коэффициент трения	λ	—	рис. VII-2 стр. 172	0,02
эквивалентный диаметр	$d_э$	м	$\frac{4F}{U}$	$\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 1}{1{,}6+1} = 1{,}23$
длина участка	e	м	по чертежу	10
скорость газов	w	м/сек.	$\frac{V}{F}$	$\frac{12{,}1}{1{,}6} = 7{,}56$
динамическое давление	h_g	кгс/м²	рис. VII-2 $t = 40°C$	3,3
(5.2) Поворот на 90° без изменения сечения				
Местное сопротивление поворота	Δh_{52}	кгс/м²	ξh_g	$0{,}24 \cdot 3{,}3 = 0{,}79$
Коэффициент сопротивления поворота на 90°	ξ	—	$K_4 \xi_0 BC$	$0{,}25 \cdot 0{,}95 = 0{,}24$
произведение	$K_4 \xi$	—	рис. VII-15 $R/B = 1{,}1/1 = 1{,}1$	0,25
Коэффициенты B / C	B / C	—	$\varphi = 90°$ VII-17 $R/B = 1{,}1/1 = 1{,}1$	1 / 0,95
динамическое давление	h_g	кгс/м²	рис. VII-2 $t = 40°C$ $W = V/F = 12{,}1/1{,}6 = 7{,}6$	3,3

Пример аэродинамического расчета (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или другие данные
(5.3) Карман				
местное сопротивление кармана	Δh_{53}	$кг/м^2$	$\sum \zeta h_d$	$1 \cdot 6.4 = 6.4$
коэффициент сопротивления кармана	ζ	—	VII-11 $F_м/F_б$ п 2.3.3	1
скорость газов	ω	$м/сек.$	$\frac{V_г B (273 + t_{см})}{3600 \cdot 273 \cdot F}$	$\frac{13.68 \cdot 3700 \cdot 338.54}{3600 \cdot 273 \cdot \pi \cdot 4} = 11.06$
динамический напор	h_d	$кг/м^2$	Рис. VII-2 $t_{см} = 65.5$ (по i-d диагр.)	6.4
(5.1) Конфузор местное сопротивление конфузора	Δh_{51}	$кгс/м^2$	$\sum \zeta h_d$	$0.33 \cdot 3.3 = 1.1$
коэф-т сопротивления конфузора	ζ	—	Рис. VII-11 $\frac{F_м}{F_б} = \frac{1.6}{4.6} = 0.35$	0.33
динамическое давление	h_d	$кгс/м^2$	Рис. VII-2 $t = 40^{\circ}C$ $\omega_г = V_г / F = 12.1 / 16 = 7.6$	3.3
общее сопротивление участка	Δh_5	$кгс/м^2$	$\Delta h_5^{тр} + \Delta h_{51} + \Delta h_{52} + \Delta h_{53}$	$0.54 + 2.1 + 0.79 + 6.4 = 8.83$
(6) Участок выхода из дымососа-вход в боров				
сопротивление трения участка	$\Delta h_{6\,тр}$	$кгс/м^2$	$\lambda \frac{l}{d_э} \cdot h_d$	$0.02 \frac{3}{0.96} \cdot 17 = 1.1$
коэффициент трения	λ	—	Рис. VII-2 стр. 172	0.02

Пример аэродинамического расчёта (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчёт или другие данные
эквивалентный диаметр	$d_э$	м	$\frac{4F}{U}$	$\frac{R \cdot 1,2 \cdot 0,8}{2} = 0,96$
длина участка	ℓ	м	по чертежу	3
динамическое давление	h_g	кг/м²	Лш VII-2 $t = 65,5°C$ $W = V/F = 17,5/0,96 = 18,2$	17
(6.1) диффузор местное сопротивление	$\Delta h_{6.1}$	кгс/м²	$\xi_{диф} \cdot h_g$	$0,12 \cdot 33 = 3,96$
коэффициент сопротивления диффузора	$\xi_{диф}$	—	$\varphi_p \cdot \xi_{вых}$	$0,23 \cdot 0,5 = 0,12$
коэффициент полноты удара	φ_p	—	Лш. VIII-12 $\alpha = 11°$	0,23
коэффициент сопротивления	$\xi_{вых}$	—	Лш. VIII-11 $\frac{F_м}{F_к} \frac{1,053 \cdot 0,675}{1,7 \cdot 1,3} = 0,32$	0,5
динамическое давление	h_g	кгс/см²	Лш VII-2 $t = 66°C$ $W = \frac{V}{F} = \frac{17,5}{0,71} = 24,7$	33
(6.2) поворот на 35° с изменением сечения местное сопротивление	$\Delta h_{6.2}$	кгс/см²	ξh_g	$0,2 \cdot 3,8 = 0,76$
коэффициент сопротивление поворота	ξ	—	$K_\Delta \xi_0$ ВС	$0,35 \cdot 0,5 \cdot 1,08 = 0,19$
произведение	$K_\Delta \xi_0$		Лш. VII-79 $\ell/B = 111,7 = 0,6$ $F_2/F_1 = 2,6/2,2 = 1,2$	0,35
коэффициенты	B / C	—	$\alpha = 35°$ Лш VII-18 / VII-17 $F/B = 1,1$ $\ell/B = 0,9$	0,5 / 1,09

Пример аэродинамического расчета (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или другие данные
скорость газов	w	м/с	$\frac{V}{p}$	$\frac{17,5}{1,7 \cdot 1,3} = 7,9$
динамическое давление	h_g	кг/м²	VII-2 $t = 66°C$	3,8
Общее сопротивление участка	Δh_6	кг/м²	$\Delta h_{6тр} + \Delta h_{61} + \Delta h_{62}$	$1,1 + 3,96 + 0,76 = 5,8$
(7) участок: боров				
сопротивление трения борова	$\Delta h_{тр}^{7}$	кг/м²	$\lambda \frac{l}{d_э} h_g$	$0,03 \frac{20}{1,6} \cdot 2,5 = 0,9$
коэф-т трения	λ	—	VII-2 стр. 172	0,03
эквивалентный диаметр	$d_э$	м	$\frac{4F}{U}$	$\frac{2 \cdot 2,0 \cdot 1,3}{(2,0 + 1,3)} = 1,6$
длина участка	l	м		20
скорость газов	w	м/с	$\frac{V}{F}$	$\frac{17,5}{2 \cdot 1,3} = 6,7$
динамическое давление	h_g	кгс/м²	VII-2 $t = 66°C$	2,5
(7.1) поворот на 90° без изменения сечения				
местное сопротивление поворота на 90°	Δh_{71}	кг/м²	$\zeta \cdot h_g$	$0,7 \cdot 2,4 = 1,68$

Пример аэродинамического расчета (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или другие данные
коэффициент сопротивления поворота на 90°	ζ	—	$K_b \zeta_0$ B C	0,7·1,1=0,7
произведение	$K_b \zeta_0$	—	Рис. VII-15 $r/B = 0,3$	0,7
коэффициент	B / C	—	Рис. VII-16 $\varphi = 90°$ VII-17	1 / 1
скорость газов	w	м/с	$\frac{V}{F}$	$\frac{17,5}{2·1,3}$=6,73
динамическое давление	h_g	кгс/м²	Рис. VII-2 $t = 66°C$	2,4
общее сопротивление участка	Δh_7	кгс/м²	$\Delta h_7^{тр} + \Delta h_{71}$	0,9+1,68=2,58
(8) Участок: вход в дымовую трубу- выход из дым.	Расчет дымовой трубы выполняется на летний режим, при этом работают два котла ГМ-50-14, температура дым. газов после смешения $t_{г.г} = 90°C$, $t_{н.в} = 20°C$			
местное сопротивление входа	Δh_{81}	кгс/м²	Σh_g	0,62·10=6,2
коэффициент местного сопротивления	ζ	—	п. 2.34 стр. 33	0,62
количество уходящих газов от второго котла	$V_г^б$	м³/с	$\frac{V_г·B(273+t_г^н)}{3600·273}$	$\frac{13,62·3700(273+126)}{3600·273}$ = =20,6
общее количество уходящих газов	$V_г^{г.г.}$	м³/с	$V_г^{I} + V_г^{II}$	17,5+20,6=38,1
скорость газов	w	м/с	$\frac{V_г^{г.г.}}{F}$	$\frac{38,1}{2·1,3}$ = 14,65

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Пример аэродинамического расчета (продолжение

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчет или другие данные
динамическое давление	h_g	кгс/м²	рис. VII-2 $t^{g.r}_{ух}=90°C$	10
(8.2) сопротивление трения дымовой трубы	$\Delta h_8^{тр}$	кгс/м²	$\xi \cdot h_g$	0,3·0,6 = 0,18
коэффициент сопротивления	ξ	—	$\frac{\lambda}{8i}$ $\lambda=0,05$ п. 2.44	$\frac{0,05}{8\cdot 0,02}=0,3$
скорость газов	w	м/с	$\frac{4V_r^{g.r}}{\pi D^2}$	$\frac{4\cdot 38,1}{\pi\cdot 3,5^2}=3,96$
динамическое давление	h_g	кгс/м²	рис. VII-2 $t^{g.r}_{ух}=90°C$	0,6
Потеря напора с выходной скоростью	Δh_{82}	кгс/м²	п. 2.44 $\xi \cdot h_g$	1,0·0,5 = 0,5
самотяга дымовой трубы	h_c	кгс/м²	$H(\gamma_в-\gamma_г)$	100(1,2-0,97) = 23
удельный вес воздуха при $t^{n}_{нв}$	$\gamma_в$	кг/м³	$\gamma_0\frac{273}{273+t^{n}_{нв}}$	$1,293\frac{273}{273+20}=1,2$
удельный вес дымовых газов при $t_{ух}$	$\gamma_г$	кг/м³	$\gamma_0\frac{273}{273+t_{уг}}$	$1,293\frac{273}{273+90}=0,97$
общее сопротивление дымовой тр с вычетом самотяги	Δh_8	кгс/м²	$\Delta h_{81}+\Delta h_8^{тр}+\Delta h_{82}-h_c$	6,2+0,18+0,5-23 = -16,12
общее сопротивление газового тракта	ΔH	кгс/м²	$\Delta h_1+\Delta h_2+\Delta h_3+\Delta h_4+\Delta h_5+\Delta h_6+\Delta h_7+\Delta h_8$	225+13,71+8,3+57,1+8,83+5,8+2,58+16,02 = 305,2

Пример аэродинамического расчёта (продолжение)

Рассчитываемая величина	Обозначение	Размерность	Формула или обоснование	Расчёт или другие данные
Проверка дымососа Д-18				
Расчётная производительность дымососа	$Q_р$	$м^3/ч$	$\beta_1 V_г \frac{760}{h_{бар}}$	$1,1 \cdot 52748 \frac{760}{760} = 59022$
Расчётный напор дымососа	$H_р$	$кгс/м^2$	$\beta_2 \Delta H$	$1,2 \cdot 305,2 = 366,24$
Переходный коэффициент	$K_г$	—	$\frac{1,293 \tau H}{\gamma_0 T_{зав} h_{бар}}$	$\frac{1,293(273+66) \cdot 760}{1,293 \cdot 1,73 \cdot 760} 0,7$
Приведённый напор дымососа	$H_р^{пр}$	$кгс/м^2$	$0,7 \cdot H_р$	$0,7 \cdot 366,24 = 256,4$
Напор дымососа Д-18 по графику	H	$кгс/м^2$	рис. VII-44	335
Вывод:		После установки КТАНа 4,5-УГ за котлом ГМ-50-14 общее аэродинамическое сопротивление газового тракта не превышает напора развиваемого дымососом		

9. ПРИМЕР РАСЧЁТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ УСТАНОВКЕ КТАНа

Копировал

22987-01 165 Формат А4

Расчёт выполнен для котельной с двумя котлами ДКВР-6,5-I3. За одним из котлов установлен КТАН-0,8УГ. Установка КТАНа за вторым котлом по условиям компоновки невозможна.

В КТАНе предусмотрен подогрев до 50°С части воды для технологических нужд предприятия.

Нагревая вода последовательно проходит оба слоя насадки КТАНа. В I смену вода после КТАНа направляется непосредственно в подогреватель технологической воды, где догревается до необходимой температуры, и поступает в технологические аппараты. В течение 2 и 3 смен, в моменты, когда потребление горячей воды на технологию отсутствует, вода из КТАНа заполняет бак-аккумулятор ёмкостью 50 м3. Вода из бака расходуется в течение I смены. Из бака вода поступает в подогреватель технологической воды одновременно с водой, непосредственно нагретой в КТАНе. После заполнения бака КТАН отключается на 3 часа.

9.I. Определение годового количества утилизированной теплоты и топлива

Количество утилизированной теплоты в рассматриваемом примере складывается из теплоты нагретой воды, поступающей непосредственно от КТАНа к потребителю и из теплоты воды, накопленной в баке-аккумуляторе при работе КТАНа в моменты, когда потребление отсутствует. При числе часов работы потребителей n сут.=II час/сут. (8 час. – I смена; 2 часа – 2 смена и I час – 3 смена), объёме бака-аккумулятора $G_{ак}$ = 50 м3 и температуре подогрева воды $\Delta t_{в}$ = 43°С(согласно тепловому расчёту), суточный расход утилизированной теплоты составит:

$$Q_{сут.} = Q_{КТАН} \cdot n_{сут.} + G_{ак} \cdot c_{в} \cdot \Delta t_{в},$$

где $Q_{КТАН}$ – теплопроизводительность КТАНа, $Q_{КТАН}$ = 0,9 ГДж/ч (согласно тепловому расчёту);

$c_{в} = \frac{4,186 \text{ кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ – теплоёмкость воды;

$Q_{сут.} = 0,9 \times 11 + 50 \times 4,186 \times 43 \times 10^{-3} = 18,9$ Гдж/сут.

При числе рабочих дней в году $N_{раб.}$ = 260 сут. годовой расход утилизированной теплоты будет равен:

$$Q_{год} = Q_{сут.} \cdot N_{раб.} = 4,52 \times 260 = 4939 \text{ ГДж/год.}$$

Котёл ДКВР-6,5-13 при работе на природном газе имеет к.п.д. $\eta_{к} = 0,92$.

Тогда экономия условного топлива составляет:

$$B_{год} = \frac{Q_{год} \cdot 10^{3}}{Q^{р}_{н\ у.т.} \cdot \eta_{к}} = \frac{4939 \times 10^{3}}{29302 \times 0,92} = 183 \text{ тут/год,}$$

где $Q^{р}_{н\ у.т.}$ – теплотворная способность условного топлива, ккал/кг.

9.2. Определение дополнительного расхода электроэнергии

Дополнительный расход электроэнергии при работе утилизационной установки складывается из:

– расхода на привод дымососа для преодоления дополнительного сопротивления, вызванного установкой КТАНа;

– расхода на привод насоса системы орошения;

– расхода на привод насоса технологической воды для преодоления дополнительного сопротивления КТАНа и трубопроводов подключения воды к КТАНу.

По результатам аэродинамического и гидравлических расчётов и в соответствии с режимом работы оборудования определяются дополнительная потребляемая мощность (N) и число часов работы электродвигателей (τ). Для нашего примера:

	N, кВт	τ, час
дымосос	0,84	5460
насос орошения	I,2	5460
насос технологической воды	0,6	2600

Тогда дополнительный расход электроэнергии:

$$Э_{год} = N_I \cdot \tau_I + N_2 \cdot \tau_2 + N_3 \cdot \tau_3 =$$

$$= (0,84x5460+I,2x5460+0,6x2600) \times I0^{-3} = I2,8 \text{ МВт} \cdot \text{ч/год}.$$

9.3. Определение экономической эффективности

9.3.I. Определение капитальных вложений

Капитальные вложения определяются путём составления смет на дополнительное, связанное с мероприятиями по утилизации, оборудование и материалы. В нашем примере в объём затрат включены КТАН–0,8УТ, насос орошения, бак орошающей воды, бак–аккумулятор, подключающие газоходы и трубопроводы с арматурой и металлом для их крепления, лестницы и площадки для обслуживания, контрольно–измерительные приборы, электроаппаратура, изоляционные и строительные материалы.

В объём затрат также необходимо включить теплообменники, дублирующие нагрев потоков воды в КТАНах при их отключении.

Стоимость оборудования, материалов, монтажных и строительных работ определена по действующим ценникам и прейскурантам и составила:

$$К = 12 \text{ тыс.руб.}$$

9.3.2. Определение годовых эксплуатационных расходов и приведенных затрат

Затраты на электроэнергию при значении замыкающих затрат $З_{эл.} = 20$ руб./МВт·ч равны:

$$С_{эл.} = З_{эл.} \cdot Э_{год} = 20 \times 12{,}8 \times 10^{-3} = 0{,}26 \text{ тыс.руб./год.}$$

Так как стоимость строительных работ в общей сумме затрат в нашем примере незначительна, затраты на амортизацию определяем в размере 8,5% от капвложений:

$$С_{ам.} = 0{,}085 \cdot К = 0{,}085 \cdot 12 = 1{,}02 \text{ тыс.руб./год.}$$

Затраты на текущий ремонт:

$$С_{т.р.} = 0{,}2 \cdot С_{ам} = 0{,}2 \times 1{,}02 = 0{,}2 \text{ тыс.руб./год.}$$

Установка КТАНа в котельной не требует дополнительного обслуживающего персонала, поэтому затраты на заработную плату не учитываются. Тогда прочие затраты:

$$С_{пр.} = 0{,}3 \cdot (С_{ам} + С_{т.р.}) = 0{,}3 \times (1{,}02 + 0{,}2) = 0{,}37 \text{ тыс.руб./год.}$$

Суммарные годовые эксплуатационные расходы:

$$С_{год} = С_{эл.} + С_{ам} + С_{т.р.} + С_{пр.} = 0{,}26 + 1{,}02 + 0{,}2 + 0{,}37 = 1{,}85 \text{ тыс.руб./год.}$$

Копировал 22967-01 169 Формат А4

Так как КТАН является новым теплоутилизационным оборудованием и относится к новой технике, нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности принимается равным $E_н$=0,I5. Тогда приведенные затраты при установке КТАНа-0,8УГ в котельной равны:

$$З = S_{год} + E_н \cdot К = I,85+0,I5xI2 = 3,65 \text{ тыс.руб./год.}$$

9.3.3. Определение экономического эффекта

Экономический эффект при установке КТАНа определяется разностью между стоимостью сэкономленного топлива и приведенными затратами на мероприятия по утилизации. Замыкающие затраты на природный газ для нашего примера равны $З_т$ = 60 руб./т у.т. Тогда стоимость сэкономленного топлива или приведенные затраты по базисному варианту:

$$З_б = S_т = З_т \cdot В_{год} = 60xI83xI0^{-3} = I0,98 \text{ тыс.руб./год.}$$

Народнохозяйственный экономический эффект:

$$Э = З_б - З = I0,98 - 3,65 = 7,33 \text{ тыс.руб./год.}$$

Хозрасчётный экономический эффект определяется по ценам топлива и электроэнергии на предприятии, которые для нашего примера равны $Ц_т$ = 28 руб./т у.т.; $Ц_{эл}$ = 23 руб./МВт·ч.

Прирост прибыли на предприятии:

$$П = Ц_т \cdot В_{год} - S_{год} = Ц_т \cdot В_{год} - Ц_{эл} \cdot Э_{год} - S_{ам} - S_{тр} - S_{пр} =$$

$$= 28xI83xI0^{-3} - 28xI2,8xI0^{-3} - I,02 - 0,2 - 0,37 = 3,I9 \text{ тыс.руб./год.}$$

Хозрасчётный экономический эффект:

$$Э_п = \Delta П - (E_н \cdot К) = 3,I9 - (0,I5xI2) = I,39 \text{ тыс.руб./год.}$$

10. ИЗМЕНЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В КТАНе-УТИЛИЗАТОРЕ

Копировал 22967-01 111 Формат А4

Типоряд КТАНов-утилизаторов рассчитан на номинальные параметры котлоагрегатов при условии , что в КТАНе греется вода с 5 до 50°С. Нередко в процессе эксплуатации КТАНа входные параметры теплоносителей изменяются, поэтому важно знать влияние этих изменений на характер изменения выходных параметров теплоносителей. Кроме того, в процессе проверочного расчёта знание того, как изменяются выходные параметры теплоносителей при изменении входных параметров, способствует более быстрому достижению окончательного результата.

В данном разделе приведены результаты анализа изменения выходных параметров теплоносителей при изменении входных параметров. Анализ производился на основе двух уравнений:

- теплового $$F = \frac{Q_{кт}}{K \cdot \Delta t_{ц}} \qquad (10.1);$$

- теплобалансового (10.2).

$$Q_{кт} = c_{в} \cdot G_{в} \cdot \Delta t_{в} = \eta_{об} \cdot B \cdot G_{г}^{c} \cdot \Delta J.$$

На основании уравнений для общего случая получены следующие уравнения, позволяющие определить выходные параметры теплоносителей и теплопроизводительность КТАНа при изменении входных параметров теплоносителей: (10.3)

$$\begin{cases} \dfrac{\Delta J : W_{г}}{\Delta t_{ц} \cdot K} = \dfrac{\Delta J' \cdot W_{г}'}{\Delta t_{ц}' \cdot K'} \\ \dfrac{W_{г}' \cdot \Delta J'}{W_{г} \cdot \Delta J} = \dfrac{\Delta t_{в}' \cdot W_{в}'}{\Delta t_{в} \cdot W_{в}} \end{cases},$$

где $\Delta J, w_г, w_в, \Delta t_в, \Delta t_L, K$ – параметры теплоносителей в расчётном режиме;

$\Delta J', w_г', w_в', \Delta t_в', \Delta t_L', K'$ – параметры теплоносителей при условиях, отличающихся от расчётных.

Результаты расчёта для некоторых наиболее часто встречающихся случаев работы КТАНа-утилизатора приводятся ниже:

I) увеличение расхода нагреваемой воды при постоянном расходе дымовых газов.

При увеличении расхода нагреваемой воды в КТАНе прямо пропорционально увеличивается скорость воды в активной насадке. Уравнения для расчёта следующие:

$$\begin{cases} \dfrac{\Delta J}{\Delta t_L \cdot K} = \dfrac{\Delta J'}{\Delta t_L' \cdot K'} \\ \dfrac{\Delta J'}{\Delta J} = \dfrac{\Delta t_в' \cdot w_в'}{\Delta t_в \cdot w_в} \end{cases}, \quad т.к. \; w_г = w_г' \qquad (10.4).$$

Результаты расчёта показаны на графиках рисунка 10.1.

По графикам можно определить увеличение теплопроизводительности КТАНа при увеличении расхода (скорости) нагреваемой воды. При этом необходимо учитывать, что выходные температуры нагреваемой воды и дымовых газов падают.

Графики изменения температур воды и дымовых газов на выходе из КТАНа построены из условия, что в расчётном режиме $t_г'' = 40^{\circ}C$ и $t_в' = 5^{\circ}C$. При других значениях $t_г''$ и $t_в'$ в расчётном режиме характер изменения температур в режимах, отличающихся от расчётного, сохранится, однако абсолютные значения температур будут несколько ичными.

Копировал 22967-01 123 Формат А4

2) Изменение расхода дымовых газов:

а) в случае, когда изменение расхода дымовых газов прямо пропорционально изменению расхода нагреваемой воды

$$\frac{W_г}{W_г'} = \frac{W_в}{W_в'}$$

, система уравнений следующая:

$$\begin{cases} \dfrac{\Delta J \cdot W_г}{\Delta t_ц \cdot K} = \dfrac{\Delta J' \cdot W_г'}{\Delta t_ц' \cdot K'} \\ \dfrac{\Delta J'}{\Delta J} = \dfrac{\Delta t_в'}{\Delta t_в} \end{cases} \qquad (10.5)$$

Расчёты показывают, что в этом случае температуры теплоносителей на выходе из КТАНа-утилизатора не меняются, а теплопроизводительность КТАНа изменяется прямо пропорционально расходу дымовых газов.

Таким образом, в случае необходимости (например, стесненная компоновка), можно устанавливать за котлами КТАНы, предназначенные для установки за котлами меньшей производительности. При этом их номинальная теплопроизводительность может быть увеличена до требуемой за счёт пропуска большего расхода нагреваемой воды и дымовых газов через аппарат. Однако следует учитывать, что в этом случае дымосос и насос циркуляции воды через насадку должны иметь необходимый запас по напору для обеспечения пропуска повышенного расхода дымовых газов и воды;

б) в случае уменьшения расхода дымовых газов при постоянном расходе нагреваемой воды ($W_в = const$) система уравнений следующая:

$$\begin{cases} \dfrac{\Delta J \cdot W_r}{\Delta t_L \cdot K} = \dfrac{\Delta J' \cdot W_r'}{\Delta t_L' \cdot K'} \\ \dfrac{\Delta J' \cdot W_r'}{\Delta J \cdot W_r} = \dfrac{\Delta t_в'}{\Delta t_в} \end{cases} \quad (10.6).$$

Результаты расчёта показаны на графиках рисунка 10.2.

Уменьшение расхода дымовых газов при постоянном расходе нагреваемой воды приводит к уменьшению не только теплопроизводительности КТАНа-утилизатора, но и к уменьшению выходных температур нагреваемой воды и дымовых газов.

3) Изменение выходных параметров КТАНа-утилизатора при начальной температуре греющей воды 20°С (вместо расчётной температуры 5°С) и изменение расхода греющей воды.

Система уравнений для расчёта следующая:

$$\begin{cases} \dfrac{\Delta J}{\Delta t_L \cdot K} = \dfrac{\Delta J'}{\Delta t_L' \cdot K'} \\ \dfrac{\Delta J'}{\Delta J} = \dfrac{\Delta t_в'}{\Delta t_в} \cdot \dfrac{W_в'}{W_в} \end{cases} \quad (10.7).$$

Результаты расчёта показаны на графиках рисунка 10.3.

При подаче в активную насадку воды с температурой 20°С вместо воды с температурой 5°С теплопроизводительность КТАНа падает (при постоянном расходе нагреваемой воды).

Решая представленную систему уравнений, можно получить, что при определенных соотношениях изменения скоростей нагреваемой воды, температура её может превысить температуру мокрого термометра, составляющую для дымовых газов, образующихся при сжигании природного газа, ~ 56 + 60°С.

Однако необходимо помнить, что температура нагреваемой в КТАНе воды ограничивается температурой мокрого термометра. Система уравнений этого факта не учитывает, поэтому действительная температура нагреваемой воды будет в этих случаях ниже, чем получаемая в результате расчёта. Увеличение расхода нагреваемой воды (по сравнению с расчётным значением) позволяет уменьшить падение теплопроизводительности КТАНа при подаче воды с температурой 20°С. При увеличении расхода воды в два раза теплопроизводительность КТАНа останется равной расчётной, однако при этом наблюдается падение выходной температуры нагреваемой воды.

Полученные результаты, представленные на графиках, позволяют оценить возможный диапазон изменения теплопроизводительности КТАНов и значений выходных параметров теплоносителей в КТАНах-утилизаторах, во-первых, при установке КТАНов для работы с отличающимися от расчётных значениями входных параметров теплоносителей, и, во-вторых, при изменении режима работы, КТАНов в процессе эксплуатации.

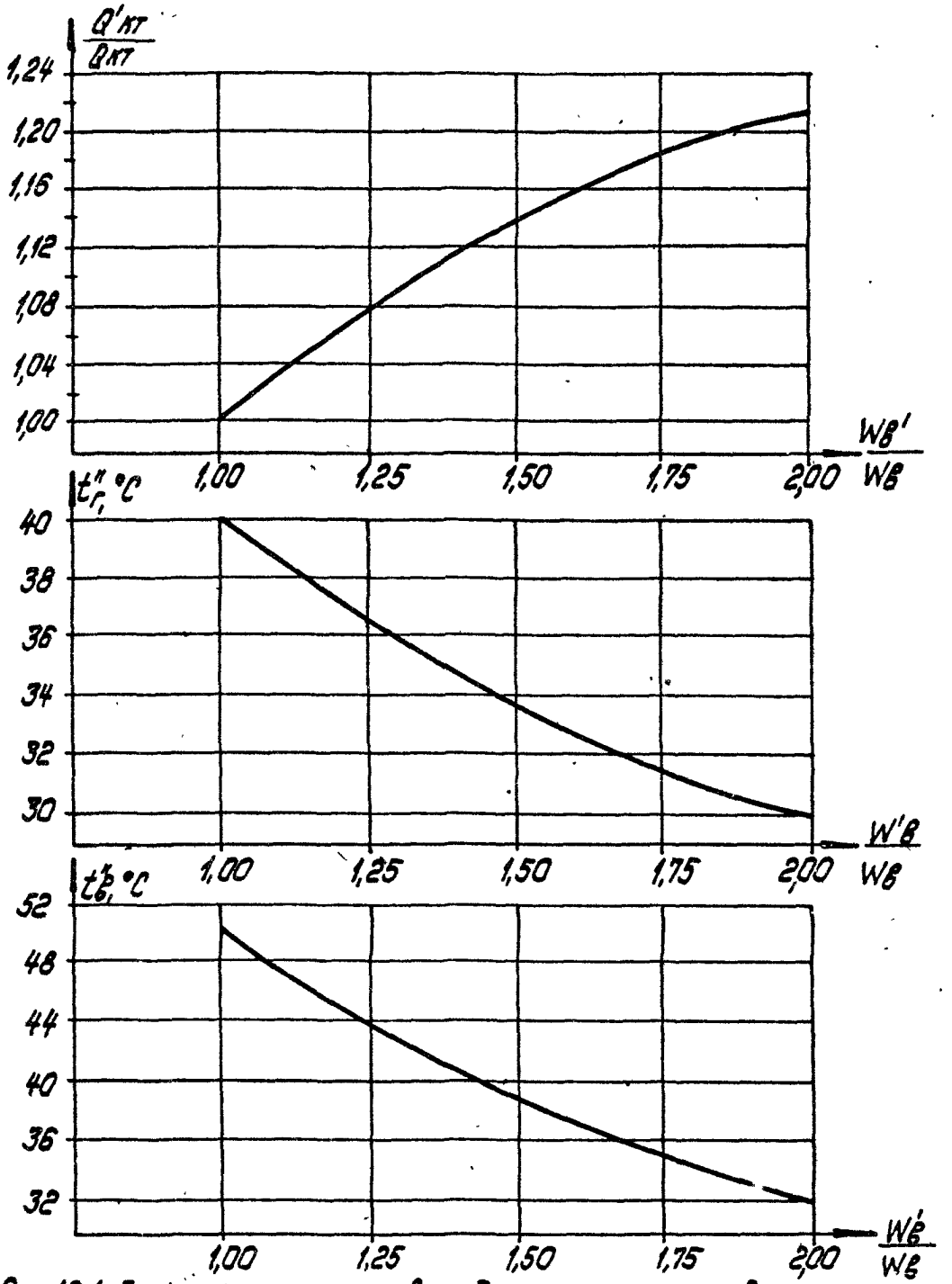


Рис.10.1. Графики изменения выходных параметров теплоносителей при изменении скорости нагреваемой воды в КТАНе-утилизаторе при постоянном расходе дымовых газов.

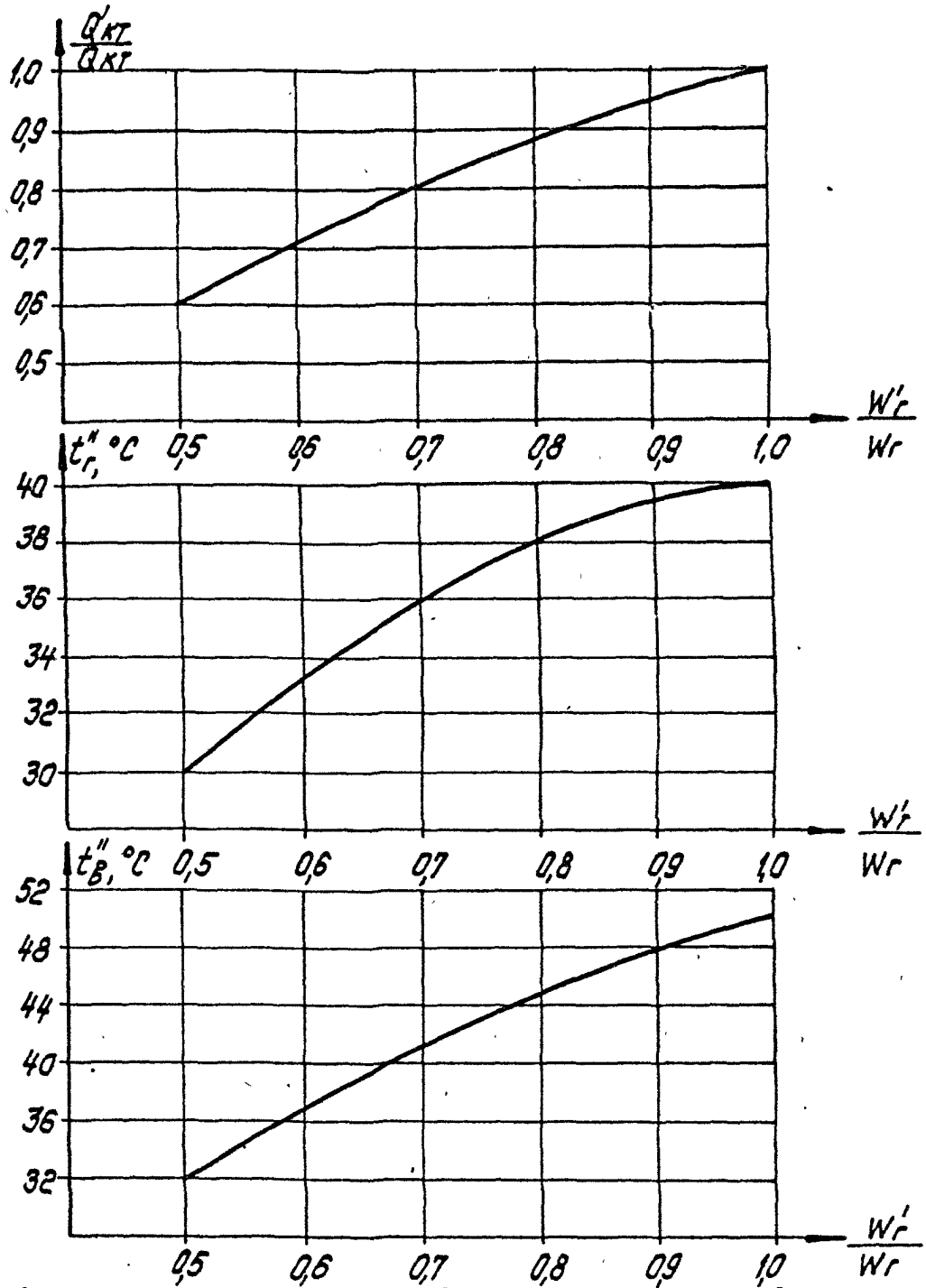


Рис. 10.2. Графики изменения выходных параметров теплоносителей при изменении скорости дымовых газов в КТАНе-утилизаторе при постоянном расходе нагреваемой воды

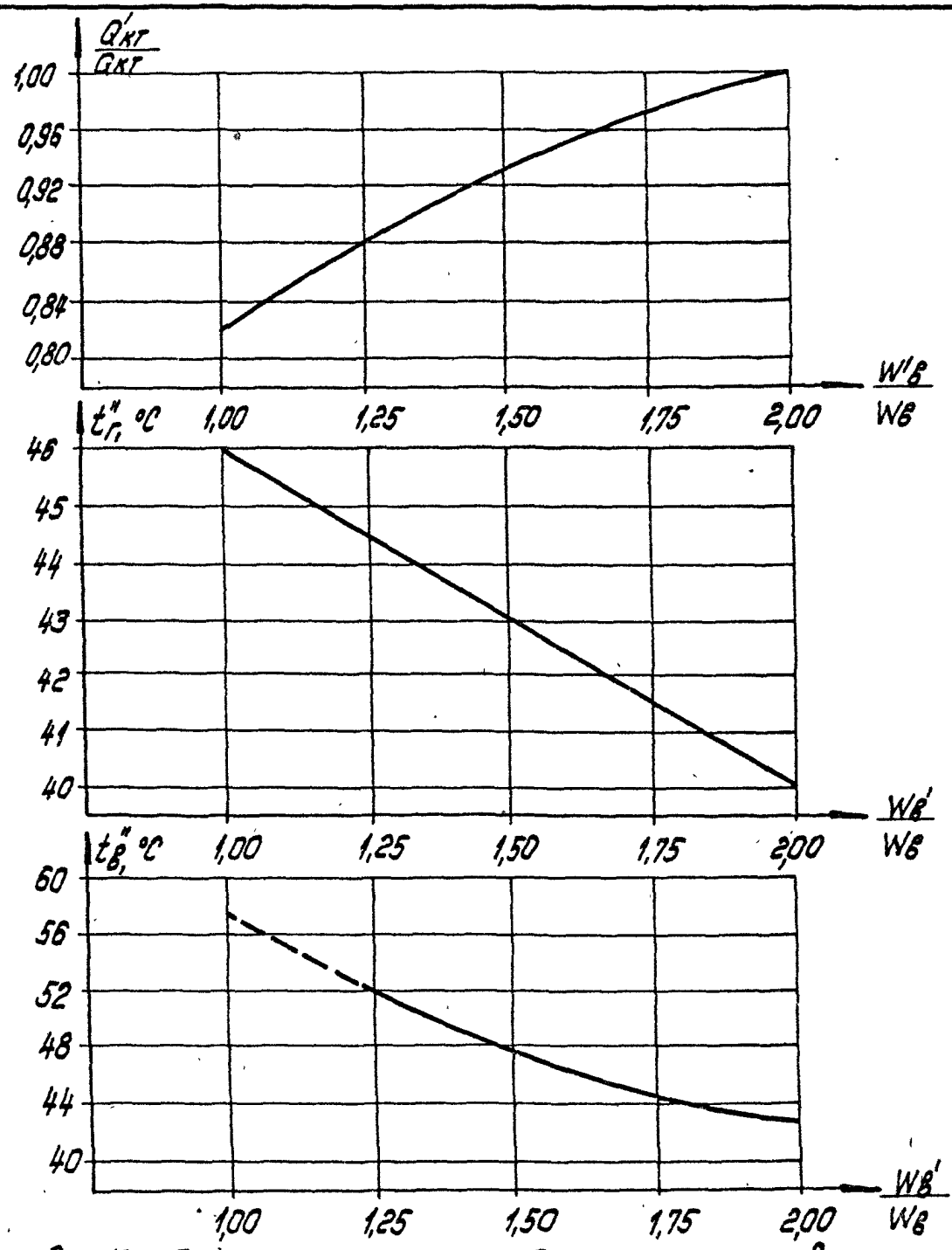


Рис. 10.3. Графики изменения выходных параметров теплоносителей при изменении расхода нагреваемой воды (входная температура нагреваемой воды $t_в = 20°С$) при постоянном расходе дымовых газов

II. ЛИТЕРАТУРА

I. "Методика расчёта тепловых схем водогрейных котельных", Латгипропром, Рига, I980.

2. Кругов В.Б., Шестаков Н.С. и др. "Теплоэнергетика", I979, № II.

3. Павлов В.А. "Снижение содержания окислов азота в уходящих газах энергетических установок", труды ЦКТИ вып.I5I, Ленинград, I977.

4. "Основные положения по использованию ВЭР и сбросного тепла в схемах теплоснабжения", Латгипропром, Рига, I985.

5. Гольдин Ш.Л., Медная С.В. в сб.: "Очистка водного и воздушного бассейнов на предприятиях черной металлургии", "Металлургия", М.,I972.

6. Кисин Д.А., Сахарцева В.П., Приходько В.П. "Промышленная и санитарная очистка газов", I98I, № I.

7. Лебедюк Г.К., Вальдберг А.Ю. и др. "Каплеуловители и их применение в газоочистке". Обзорная информация. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, I974.

8. Сорокин Ю.Л., Демидова Л.Ч., Кузьмин Н.П. "Химическое и нефтяное машиностроение", I968, № 8.

9. "Тепловой расчёт котельных агрегатов" (нормативный метод), "Энергия", М., I973.

I0. "Аэродинамический расчёт котельных установок" (нормативный метод), Ленинград, I977.

II. Дегтярев Н.В., Барколов Б.В. и др. "Кондиционирование воздуха", М.,I953 .

I2. "Гидравлический расчёт котельных агрегатов" (нормативный метод), М., "Энергия", I978.

I3. Лебедев П.Д., Щукин А.А. "Теплоиспользующие установки промышленных предприятий", М., "Энергия", I970.

I4. "Примеры расчётов по гидравлике", М.,Стройиздат, I977.

I5. Лебедев П.Д. "Теплообменные сушильные и холодильные установки", М., "Энергия", I972.

I6. Шишков И.А. и др. "Дымовые трубы энергетических установок", М., "Энергия", I976.

I7. Аронов И.З. "Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа", Ленинград, "Недра", I978.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

КАПЛЕУЛАВЛИВАНИЕ В КТАНах

Копировал 22967-01 183 Формат А4

В контактных теплообменниках с активной насадкой, использующих жидкость для орошения насадки, возникает проблема отделения капельной влаги за насадкой от дымовых газов.

Для разделения двухфазных потоков, где одной из фаз является жидкость, используются несколько механизмов осаждения, в частности, гравитационный, центробежный, диффузионный и электростатический.

Процесс брызгоуноса в сепараторах определяется характером взаимодействия между жидкостью и газом. При достижении определенных критических параметров, режим работы сепараторов может резко нарушаться. Возникают такие явления, как вторичный унос уже осевшей жидкости, разрушение пленочного течения и др.

Во всех этих процессах нарушение устойчивости происходит при достижении газом некоторой критической скорости, которая зависит от характера процесса, физических свойств взаимодействующих сред, а также от геометрических размеров и формы аппарата.

При конструировании сепарационного устройства для КТАНов к нему предъявлялись следующие требования:

- высокая улавливающая способность;
- небольшое значение аэродинамического сопротивления;
- компактность;
- небольшая стоимость.

Попытки использовать для КТАНов простейшие известные конструкции сепараторов, такие как осадительная камера, в основе которой лежит гравитационный принцип каплеулавливания, или центробежные сепараторы типа циклонов - не увенчались успехом из-за больших габаритных размеров этих видов сапараторов и трудностей компоновки орошающего устройства и активной насадки с таким сепаратором.

Исследования работы сепараторов в различных технологических установках показывают, что в ряде случаев сепараторы работают недостаточно эффективно по следующим причинам:

- начальное влагосодержание газового потока превышает допустимое значение, необходимое для эффективной работы сепаратора;

- диаметр капель, поступающих в каплеуловитель, изменяется в большом диапазоне, то есть имеется достаточно большое количество капель, диаметр которых меньше допустимого для данного сепаратора.

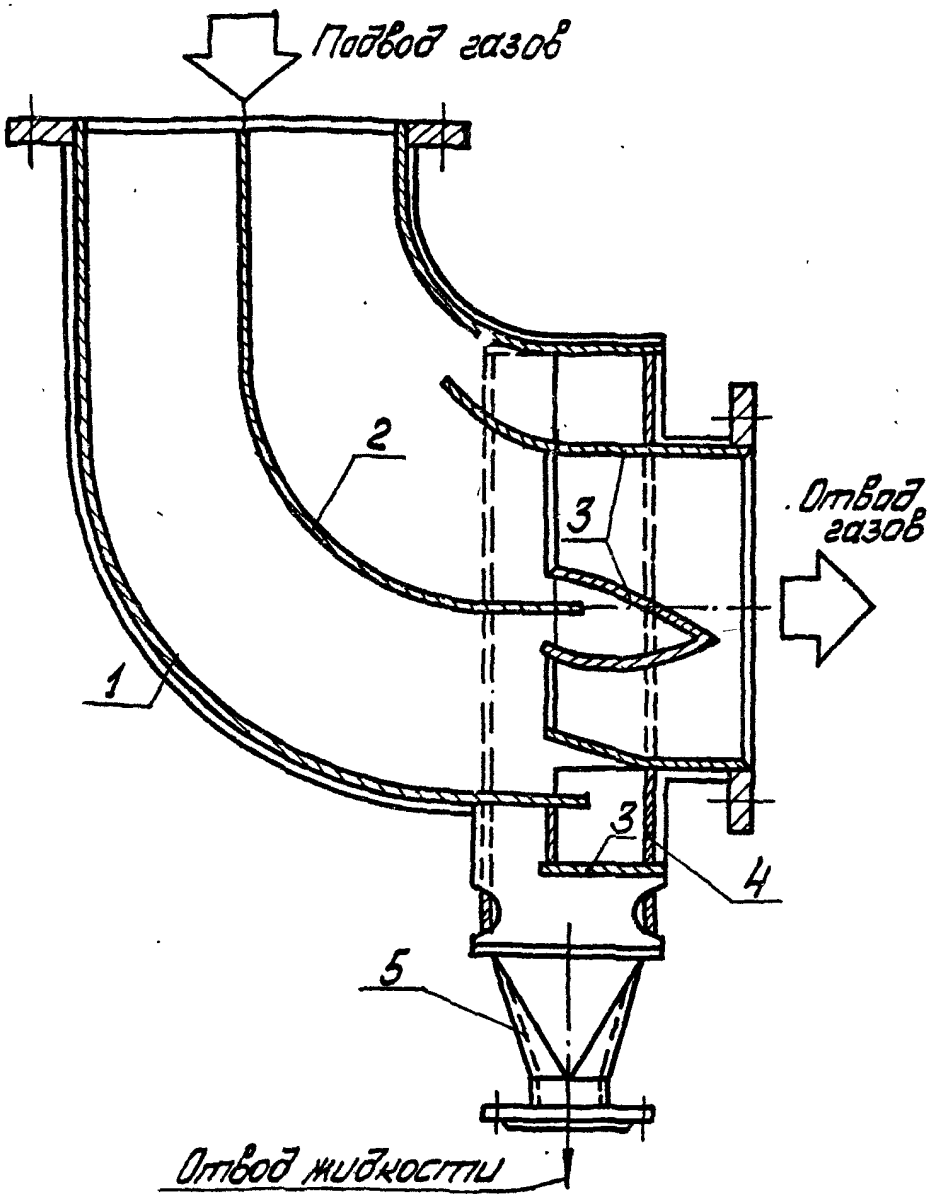
Аналогичное положение наблюдается при работе КТАНов. Размер капель воды, содержащейся в удаляемых дымовых газах, колеблется в широких пределах, что связано со сложным механизмом тепломассообмена, происходящим в КТАНе. С одной стороны в КТАНе происходит частичное испарение воды, распыливаемой форсунками, а с другой стороны - конденсация водяных паров из дымовых газов. Испытания первых образцов КТАНов показали, что одноступенчатый сепаратор не обеспечивает требуемую эффективность работы, поэтому в окончательном варианте для КТАНа принят двухступенчатый сепаратор.

Первая ступень сепарации используется для грубого отделения капель и предназначается для снижения начальной влажности второй ступени. Во второй улавливаются капли меньших размеров.

В качестве первой ступени используется коленный сепаратор, одна из его модификаций показана на рисунке П-I.

В коленном сепараторе капельная влага из газа сепарируется под действием центробежных сил и, двигаясь по вогнутым поверхностям лопаток, стекает в лотки, откуда отводится в сливной патрубок.

Копировал 22967-01 185 Формат А4



1 - корпус; 2 - лопатка; 3 - сливные карманы;
4 - труба для сбора уловленной жидкости;
5 - устройство для вывода жидкости.

Рис. П-1. Коленный сепаратор

На данном сепараторе проводились эксперименты /5/ при осевых скоростях газового потока 4 ÷ 25 м/с и удельном количестве капельной жидкости 0,05 ÷ 2,0 л/м3 газа. При этом среднемедианный размер капель в потоке оценивался в пределах от 60 до 100 мкм. Исследования показали, что основная часть капель улавливается в нижней и средней секциях каплеуловителя (соответственно 30 и 60% от общего количества), причем капли практически оседают только на вогнутых поверхностях. После установки бункера и влагоотбойного щитка удалось предотвратить вторичный унос и поднять эффективность сепарации с 70 до 95%.

При применении данного сепаратора Латгипропром отказался от верхней лопатки и бункера и изменил конструкцию сливного устройства. Эти изменения приводят к незначительному ухудшению эффективности каплеулавливания сепаратора, но значительно упрощают его конструкцию.

В качестве второй ступени сепарации применен вертикальный жалюзийный сепаратор см.рисунок П-2. В жалюзийных сепараторах применяется инерционный способ каплеулавливания:

при резком изменении направления движения газового потока с помощью жалюзи капли под воздействием инерционной силы стремятся двигаться в прежнем направлении, что позволяет в дальнейшем выделить их из газового потока.

При анализе технико-экономических показателей каплеуловителей /6/ установлено, что инерционные сепараторы имеют самые низкие приведенные затраты. Кроме того, инерционные сепараторы компактны, имеют небольшое аэродинамическое сопротивление, просты в изготовлении.

Копировал 22967-01 187 Формат А4

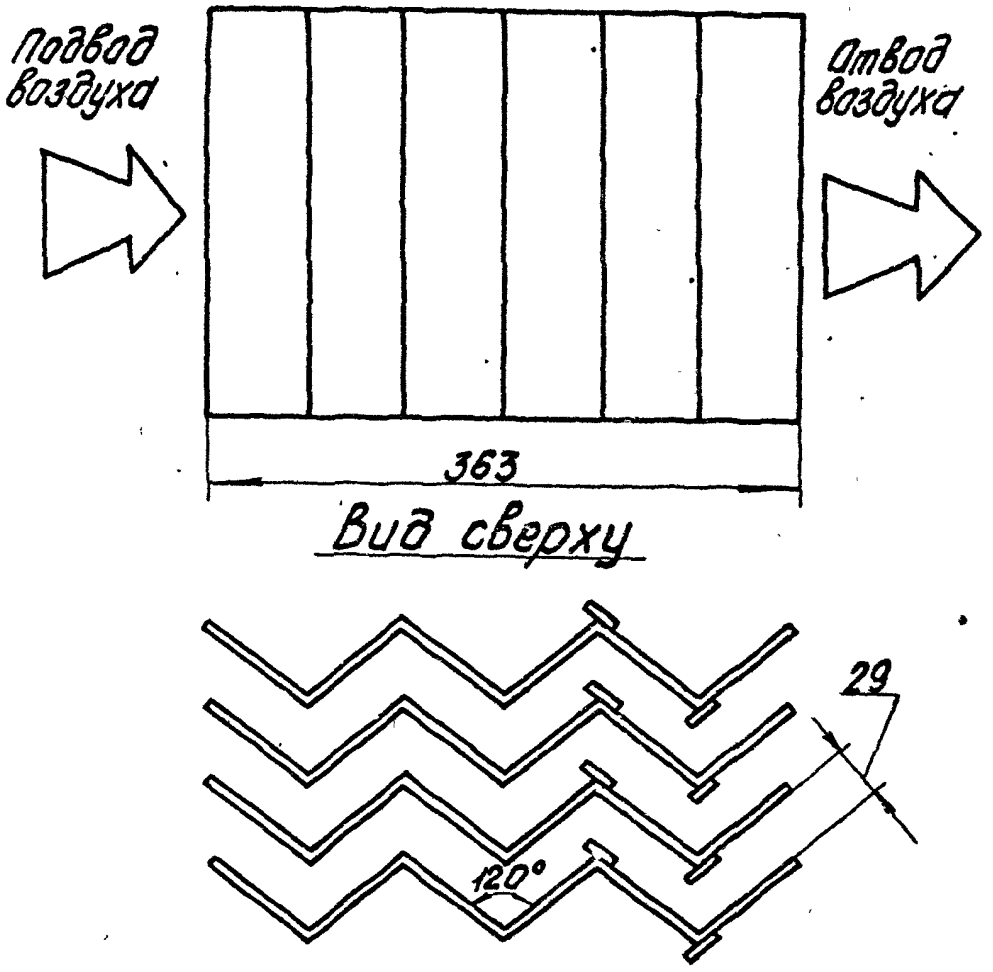


Рис. П-2. Жалюзийный сепаратор

В вертикальных жалюзийных сепараторах отвод осевшей жидкости пленочный, в отличии от горизонтальных жалюзийных сепараторов, где отвод осевшей жидкости капельный. При капельном отводе жидкости при достижении критической скорости газового потока наблюдается такое явление, как "захлебывание". Критическая скорость в вертикальных сепараторах в сравнении с горизонтальными выше более, чем в 2 раза. (В вертикальных сепараторах при достижении критической скорости газового потока наблюдается разрушение пленочного течения и "вторичный унос" осевшей жидкости /7/).

Величина критической скорости газа для вертикальных жалюзийных сепараторов, установленных в горизонтальном канале, определяется уравнением:

$$V_{кр} = (0{,}35 \div 0{,}45)\left[\frac{K_{const} - 1{,}69\left(\frac{1-X}{X}\right)^{0{,}56} \cdot \left(\frac{h \cdot t}{B}\right)^{0{,}25} \cdot \frac{1}{\cos\alpha}}{0{,}4}\right], \text{ м/с (П-I)},$$

где

K_{const} – параметр, характеризующий максимальную нагрузку по газу для конкретных профилей (для волнистых профилей К=21 + 22);

X – степень сухости, %;

h, t, B – высота, шаг и развернутая ширина жалюзийных пластин, м;

2α – угол раскрытия профиля.

Данная зависимость справедлива при начальном содержании влаги от 0 до 60%.

Исследования показывают, что критическая скорость в межжалюзийном канале зависит от угла раскрытия аппарата и от радиуса закругления жалюзи. Поэтому при выборе жалюзийной насадки следует отдавать предпочтение жалюзи с оптимальным профилем ($2\alpha = 90^0$, $ч/в \approx 0,6 \div 1,0$ или $2\alpha = 120^0$, $ч/в \approx 0,1$).

Латтипропром остановился на жалюзийной насадке уголкового профиля $2\alpha = 120^0$, $ч/в \approx 0,1$.

На рисунке П-3 показан двухступенчатый сепаратор, примененный в КТАНах.

Вода, уловленная на вогнутых листах центробежного углового сепаратора первой ступени, стекает в желоба, из которых трубами отводится в поддон сепаратора. После углового сепаратора дымовые газы поворачивают на 180^0 и попадают в сепаратор II ступени, где происходит улавливание более мелких капель. Сепаратор II ступени - вертикальный инерционный жалюзийный сепаратор углового профиля.

При вычислениях по формуле П-1 критическая скорость в вертикальном жалюзийном сепараторе равна 10 м/с, но, принимая во внимание неравномерность распределения поля скоростей в сепараторе, а также, основываясь на данных /8/, решено ограничить возможную среднюю скорость в сепарационном устройстве КТАНа до 6 м/с.

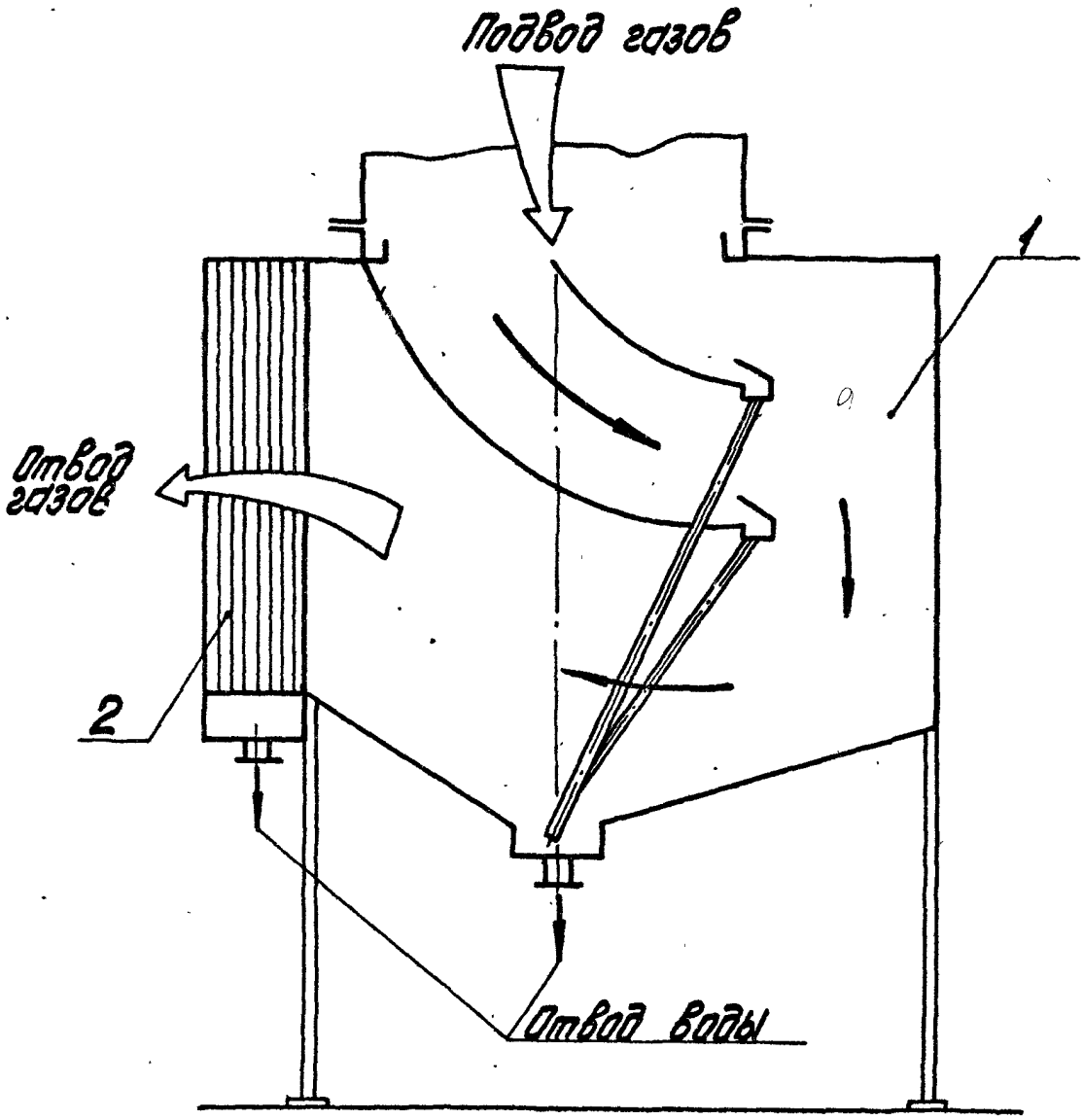
Эффективность жалюзийного сепаратора определяется по формуле:

$$\eta = 1 - \exp\left(\frac{0,0174 \cdot d_к^2 \cdot \rho_ж \cdot v_0 \cdot \Sigma\alpha}{18 \cdot \mu_г \cdot в}\right) \qquad (П-2),$$

где

$\Sigma\alpha$ - сумма углов поворота, $\Sigma\alpha = 270^0$;

$в$ - расстояние между соседними жалюзи, $в = 0,029$ м;



1 – коленный центробежный сепаратор;
2 – жалюзийный вертикальный инерционный сепаратор.

Рис. П-3. Двухступенчатый сепаратор

$d_к$ – диаметр, улавливаемых капель, м;

$\rho_ж$ – плотность капель, кг/м3, при t = 40°С, $\rho_ж$ = 1000 кг/м3;

v_0 – скорость в сепараторе, м/с;

$\mu_г$ – динамическая вязкость газового потока, при t = 40°С $\mu_г = 16{,}10^{-3}$ нс/м2.

Выполненные в формуле Н-2 расчёты показывают, что при диаметре капель $d_к$ = 50–100 мкм и скоростях газового потока v_0 =4–6 м/с, эффективность жалюзийного сепаратора приближается к 100%. При меньшем диаметре капель эффективность сепаратора падает.

Форсунки орошающего устройства КТАНа обеспечивают распыливание воды со средним диаметром капель 200–250 мкм, значительно превышающим диаметр капель, при котором сепаратор обеспечивает надёжное отделение капельной влаги от газового потока, то есть можно сделать вывод, что разработанная конструкция двухступенчатого сепарационного устройства КТАНа позволяет достичь высокой эффективности в удалении орошающей воды и образовавшегося конденсата из дымовых газов.

gost.e-ecolog.ru