

УДК 621.181.6

*Фиалко Н. М., Навродская Р. А., Пресич Г. А., Новаковский М. А., Гнедаш Г. А., Шевчук С. И., Сбродова Г. А.*

Институт технической теплофизики НАН Украины. Украина, г. Киев

## КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОТЛОВ С ПОВЫШЕННЫМ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕМ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

*Представлены результаты исследований тепловых характеристик комбинированных теплоутилизационных систем, предназначенных для нагрева обратной теплосетевой воды и дутьевого воздуха коммунальных котлов с повышенным влагосодержанием отходящих газов. Определены уровни прироста КПД котла при разных его нагрузках в течение отопительного периода и величинах влагосодержания отходящих газов, а также в зависимости от климатических условий эксплуатации котельной установки с комбинированной системой теплоутилизации. Установлено рациональное соотношение площадей поверхностей нагрева водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов в таких системах.*

*Ключевые слова:* газопотребляющие котлы; повышенное влагосодержание отходящих газов; комбинированные теплоутилизационные системы; прирост КПД; экологичность.

### Введение

Проблемы энергосбережения и улучшения условий окружающей среды стали приоритетными в мировой энергетической практике. Основными направлениями решения этих насущных проблем, в частности в малой энергетике, является улучшение экологичности котельных установок и повышения эффективности использования в них топлива [1-6]. Актуальность научных задач по указанным направлениям возрастает в связи с неуклонным удорожанием топлива и ужесточением требований к уменьшению загрязнения окружающей среды такими тепловыми установками.

Один из путей улучшения экологических показателей котельных установок состоит в снижении выбросов оксидов азота в окружающую среду благодаря подавлению их образования в топочном пространстве котла при уменьшении температуры горения. Снижение указанной температуры может достигаться, в частности, введением влаги в топочное пространство. В этих условиях по данным литературных источников сокращение выбросов оксидов азота может составлять от 15 до 89% [4-6]. Отходящие газы таких «экокотлов» характеризуются повышенным влагосодержанием по сравнению с традиционными котлами, что приводит к увеличению их тепловых потерь с дымовыми газа-

ми. Полезное использование данных потерь осуществляется при применении технологий глубокой утилизации теплоты отходящих газов. В условиях реализации указанных технологий обеспечивается конденсационный режим работы теплоутилизационного оборудования, когда кроме так называемой явной теплоты используется и скрытая теплота конденсации водяного пара, содержащегося в дымовых газах. При традиционном использовании утилизированной теплоты лишь для подогрева обратной теплосетевой воды указанный конденсационный режим обычно реализуется только в осенне-весенний период при относительно незначительных нагрузках котлоагрегата. С целью обеспечения этого режима в течение всего отопительного периода необходимо использовать утилизированную теплоту также для нагрева теплоносителей более холодных, чем обратная теплосетевая вода. Такими теплоносителями могут служить холодная вода системы химводоочистки, вода технологических нужд, дутьевой воздух и другие теплоносители.

### Формулирование целей статьи

Цель настоящей работы – повышение эффективности комбинированных теплоутилизационных систем, предназначенных для нагрева обратной теплосетевой воды и дутьевого воздуха газоис-

пользующих котлов с повышенным влагосодержанием отходящих газов.

### Постановка задачи и методика проведения исследований

В рамках данной работы ставилась задача проведения расчетных исследований тепловых характеристик комбинированных теплоутилизационных установок для нагрева обратной теплосетевой воды и дутьевого воздуха газопотребляющих котлов в условиях повышенного влагосодержания дымовых газов. Исследованию подлежали такие характеристики как теплопроизводительность и уровень прироста КПД котла в различных режимах его работы в течение отопительного периода и при разных влагосодержаниях отходящих газов. Производилось сопоставление указанных характеристик для водо- и воздухогрейного теплоутилизационного оборудования и установки в целом при различном соотношении площадей  $F_{\text{вп}}/F_{\text{взп}}$  водо- ( $F_{\text{вп}}$ ) и воздухогрейных ( $F_{\text{взп}}$ ) теплоутилизаторов. С целью определения рационального соотношения площадей  $F_{\text{вп}}/F_{\text{взп}}$  рассчитывалась величина годовой выработки тепловой энергии комбинированной теплоутилизационной установкой в зависимости от климатических условий эксплуатации котла.

Методика исследований базировалась на известных тепловых методах расчета теплообменного оборудования с учетом особенностей теплоотдачи при глубоком охлаждении дымовых газов [7, 8]. Расчет конденсационных режимов производился с использованием результатов проведенных

авторами экспериментальных исследований теплообмена в пучках поперечно оребренных труб при повышенном по сравнению с традиционными котлами влагосодержании охлаждающихся дымовых газов.

### Изложение основного материала исследований

Принципиальная схема котельной установки с комбинированной теплоутилизационной системой, предназначенной для нагрева обратной теплосетевой воды и дутьевого воздуха, приведена на рис. 1. При реализации указанной схемы отходящие от котла дымовые газы охлаждаются сначала в водогрейном теплообменнике (2), нагревая обратную теплосетевую воду перед поступлением ее в котел, а после доохлаждаются в воздухогрейном теплообменном аппарате (3), предварительно подогревая поступающий в котел дутьевой воздух. Теплообменная поверхность водоподогревателя 2 состоит из поперечно оребренных биметаллических труб (стальная основа и оребрение из алюминия), расположенных в шахматном порядке. Воздухоподогреватель 3 представляет собой пластинчатый теплообменник из легированной стали.

Для защиты газоотводящего тракта котельной установки от коррозионного разрушения в данной схеме предусмотрено использование газоподогревателя (4), в котором происходит нагревание частью прямой воды котла охлажденных в теплообменниках 2, 3 дымовых газов для их подсушивания с целью предотвращения конденсатообразования в указанных трактах.

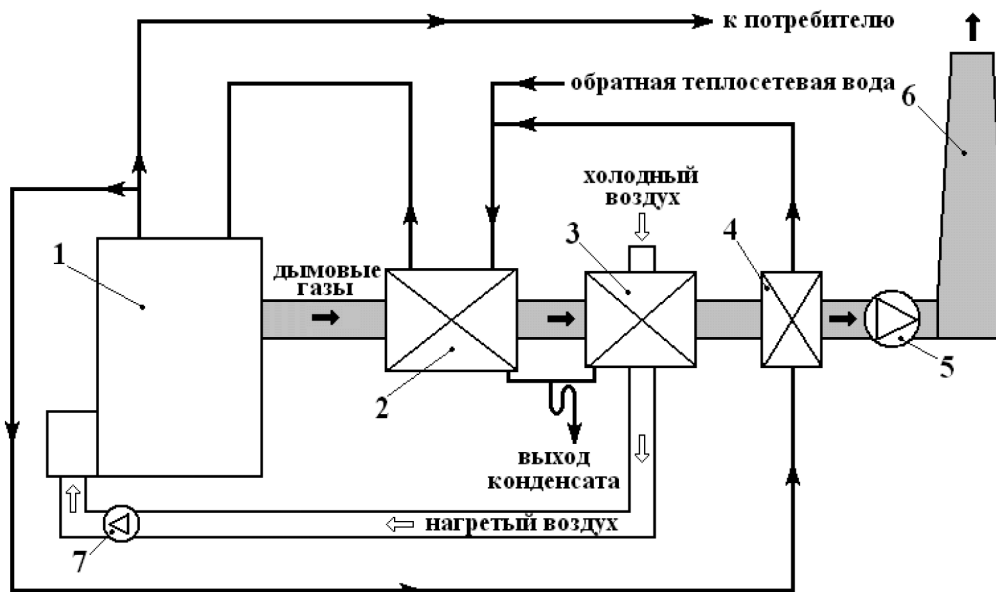


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированной теплоутилизационной установки с использованием водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов: 1 – котел; 2 – водоподогреватель; 3 – воздухоподогреватель; 4 – газоподогреватель; 5 – дымосос; 6 – дымовая труба; 7 – вентилятор

Исходные данные для теплового и конструкционного расчетов водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов

Наименование параметра	Значение
Нагрузка котла, %	24÷100
Теплопроизводительность котла, МВт	2,0÷8,3
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /ч	250÷1100
Расход дымовых газов, кг/с	1,3÷5,5
Температура газов на выходе из котла, °С	70÷173
Коэффициент избытка воздуха	1,30÷1,33
Влагосодержание газов на выходе из котла, г/кг с.г.	140÷200
Расход воды через котел, т/ч	100
Расход воздуха, кг/с	1,2÷5,0
Температура обратной воды, °С	30÷70
Температура окружающей среды, °С	-20 ÷ +10
Расчетная температура воздуха для системы отопления, °С	-6 ÷ (-24)
Количество дней отопительного периода	126÷187
Расчетный перепад температур для системы отопления $\Delta t_o$ , °С	25÷45
КПД котла без теплоутилизаторов, %	91
Соотношение площадей водогрейного и воздухогрейного теплоутилизаторов, $F_{\text{вл}}/F_{\text{взп}}$	0,5÷1,5

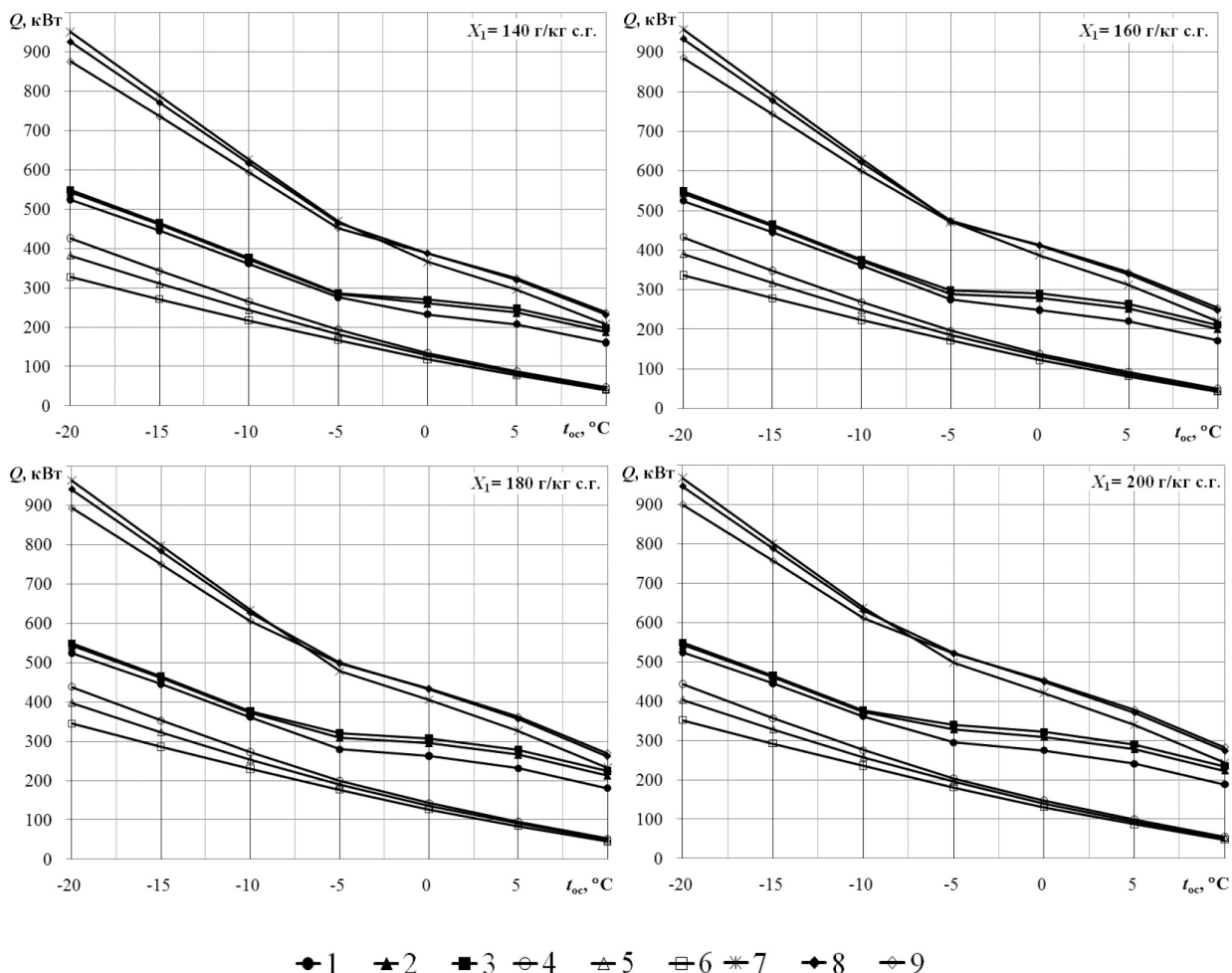
Исходные данные для проведения расчетов представлены в табл. 1. Приведенные параметры отвечают практическим диапазонам их изменения для коммунальных котлов повышенной экологической эффективности. Как видно из таблицы, режимные характеристики котлов, расчетные значения параметров систем отопления и размеры площадей поверхностей водо- и воздухогрейных элементов, в частности соотношение  $F_{\text{вл}}/F_{\text{взп}}$ , изменились в широких пределах.

На рис. 2, 3 для рассматриваемой комбинированной теплоутилизационной установки представлены графики зависимости теплопроизводительности  $Q$  и прироста КПД котла  $\Delta\eta$  от температуры окружающей среды  $t_{\text{oc}}$  в течение отопительного периода при различных значениях соотношения площадей  $F_{\text{вл}}/F_{\text{взп}}$  водо- и воздухогрейных теплоутилизаторов и начального влагосодержания дымовых газов  $X_1$ . Приведенные на графиках данные получены для температур окружающей среды  $t_{\text{oc}}$  в практическом диапазоне их изменения от +10 °С до -20 °С при расчетной температуре воздуха для системы отопления -24 °С и соблюдении нормативного теплового графика систем теплоснабжения для указанных условий.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что комбинированное использование утилизированной теплоты при применении водо- и воздухогрейных теплообменников обеспечивает общее

увеличение исследуемых параметров, а именно: теплопроизводительности  $Q$  и прироста КПД котла  $\Delta\eta$ , в течение всего отопительного периода. Кроме того, эти показатели возрастают при повышении влагосодержания дымовых газов  $X_1$  на выходе из котла. Очевиден тот факт, что величина  $Q$  как для отдельных элементов, так и для всей установки в целом зависит от нагрузки котлоагрегата, то есть от необходимости потребителя в тепловой энергии. Максимальное значение  $Q$  соответствует наиболее холодному периоду года, а минимальное – теплomu. Повышение КПД котла  $\Delta\eta$  в воздухогрейном теплоутилизаторе наблюдается в пределах 1,6÷4,0% и 1,9÷4,2% при  $X_1=140$  и  $X_1=200$  г/кг с.г. соответственно. Применение водогрейных теплоутилизаторов обеспечивает рост величины  $\Delta\eta$  в диапазоне значений 4,2÷7,9% при  $X_1=140$  г/кг с.г. и 4,5÷9,5% при  $X_1=200$  г/кг с.г. Общий прирост КПД котла благодаря применению комбинированной теплоутилизационной установки изменяется от 6,9 до 9,6% и 7,6 до 11,4% при тех же начальных влагосодержаниях  $X_1$  дымовых газов.

Как видно из приведенных на рис. 3 графиков, в зависимостях величины  $\Delta\eta_{\text{мин}}$  для водогрейных теплоутилизаторов и всей теплоутилизационной установки наблюдаются области минимальных значений в диапазоне температур от -10 до 0 °С. Такой характер изменения  $\Delta\eta$  обусловлен особенностями работы водогрейного теплоутилизатора,



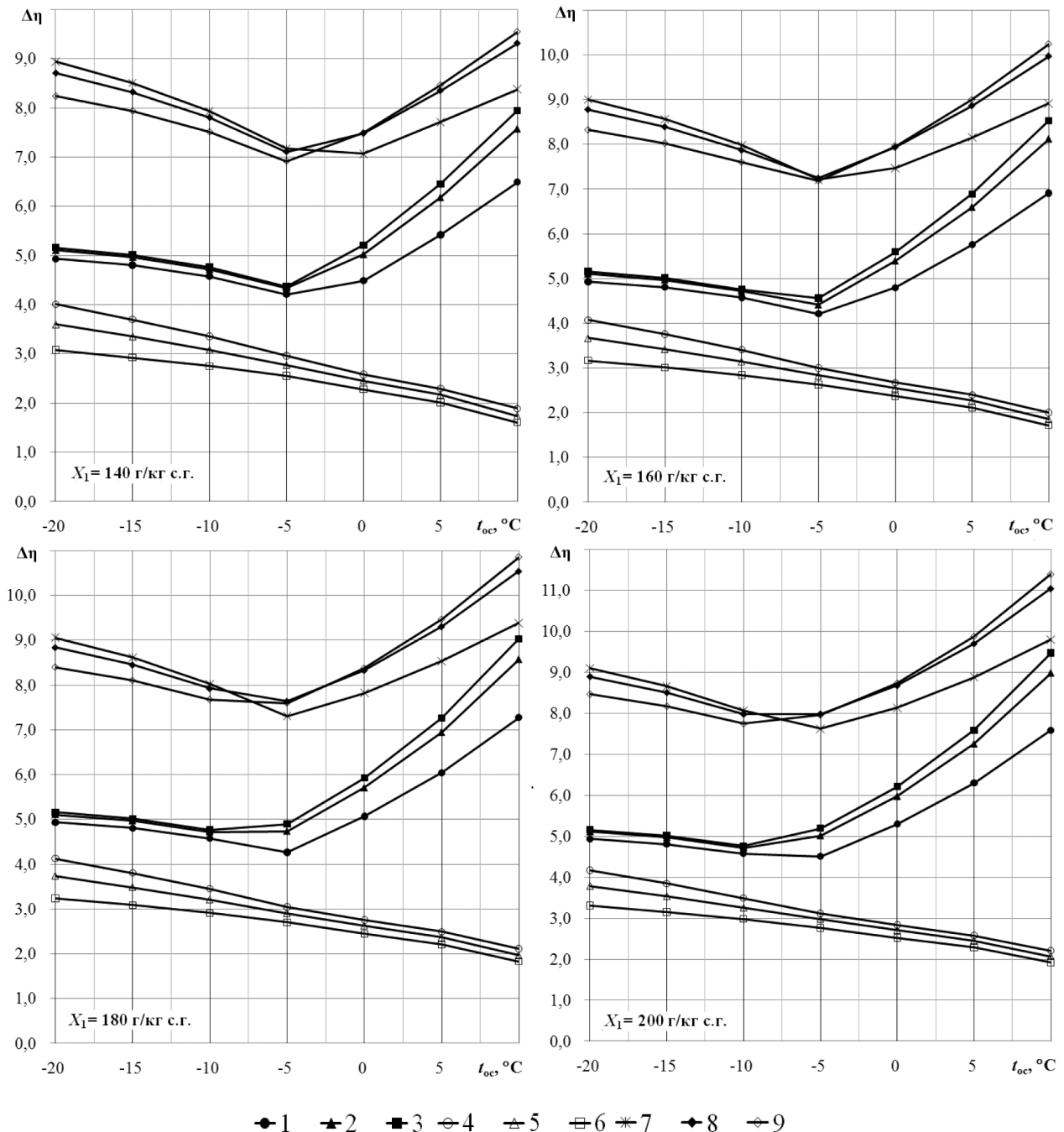
**Рис. 2.** Теплопроизводительность водоподогревателя (1-3), воздухоподогревателя (4-6) и общая (7-9) в зависимости от температуры окружающей среды  $t_{oc}$  при различных соотношениях площадей теплообмена водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов  $F_{вп}/F_{взп}$  и влагосодержаниях  $X_1$  дымовых газов: 1, 4, 7 –  $F_{вп}/F_{взп} = 0,5$ ; 2, 5, 8 – 1,0; 3, 6, 9 – 1,5

тепловая мощность которого существенно зависит от режима работы котла и температуры обратной воды  $t_{об}$ . Так при температурах окружающей среды  $t_{oc} \leq -10$  °C теплопроизводительность котла и водоподогревателя максимальная, а температура обратной воды  $t_{об} \geq 60$  °C. В данных условиях в водогрейном теплоутилизаторе отсутствует конденсация водяных паров из дымовых газов. При потеплении ( $t_{oc} \geq 5$  °C) согласно теплосетевому графику снижается нагрузка котла примерно на 40% и более, а следовательно уменьшается расход отходящих дымовых газов, их температура и температура обратной теплосетевой воды ( $t_{об} < 55$  °C). В данной ситуации реализуется конденсационный режим работы теплоутилизатора. При этом величина прироста КПД котла  $\Delta\eta$  значительно возрастает по сравнению с режимом работы без конденсации пара из дымовых газов.

Следует отметить, что при повышенном влагосодержании дымовых газов на выходе из котла  $X_1$  создаются условия для начала конденсационного

режима работы водогрейного теплоутилизатора при более низких температурах окружающей среды (по сравнению с традиционными котлами) благодаря повышению точки росы дымовых газов. По результатам проведенных исследований максимальное количество сконденсированного пара соответствует для водогрейных теплоутилизаторов и всей установки теплому периоду отопительного сезона, в котором  $t_{oc} < 0$  °C и  $t_{об} < 50$  °C. Что касается воздухогрейного теплоутилизатора, то тут максимальные значения теплопроизводительности, прироста КПД и количества сконденсированного пара отвечают самому холодному времени года ( $t_{oc} = -20$  °C).

Данные, иллюстрирующие закономерности изменения прироста КПД котла  $\Delta\eta$  в зависимости от соотношения площадей водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов  $F_{вп}/F_{взп}$  при различных влагосодержаниях дымовых газов  $X_1$  и температурах наружного воздуха в течение отопительного периода, приведены на рис. 4.



**Рис. 3.** Приrost КПД котла в водоподогревателе (1-3), воздухоподогревателе (4-6) и общий (7-9) в зависимости от температуры окружающей среды  $t_{oc}$  при различных соотношениях площадей теплообмена водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов  $F_{вп}/F_{взп}$  и влагосодержаниях  $X_1$  дымовых газов:  
 1, 4, 7 –  $F_{вп}/F_{взп} = 0,5$ ; 2, 5, 8 – 1,0; 3, 6, 9 – 1,5

Анализ полученных результатов свидетельствует о их существенной зависимости при прочих равных условиях от режима работы котла в соответствии с параметрами системы отопления, которые в свою очередь определяются климатическими условиями. С целью более глубокого анализа влияния  $F_{вп}/F_{взп}$  на тепловые характеристики рассматриваемых комбинированных теплоутилизационных систем и определения рационального соотношения площадей

нагрева водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов  $F_{вп}/F_{взп}$  проведены расчеты годового объема выработки теплоэнергии  $W$  теплоутилизационной установкой в условиях ее использования только в течение отопительного периода для различных климатических условий. При этом учитывалось, что температура окружающей среды является величиной нестабильной и уровень производства утилизированной теплоты  $W$  может отличаться от года к году. Поэтому



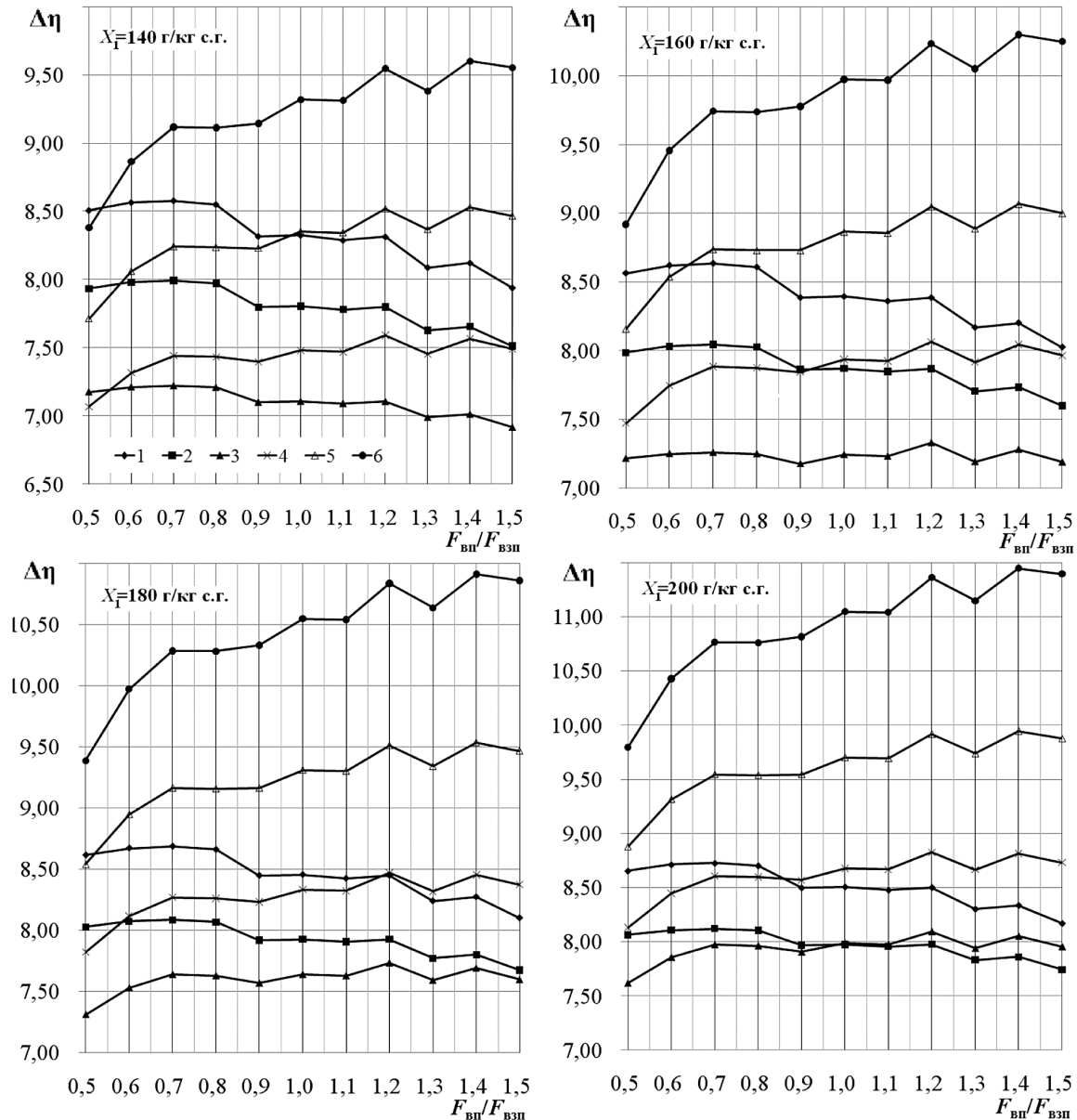


Рис. 4. Общий прирост КПД котла при комбинированном использовании теплоты в зависимости от соотношения площадей теплообмена водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов  $F_{вп}/F_{взп}$  при различных температурах окружающей среды  $t_{ис}$  и влагосодержаниях  $X_g$  дымовых газов: 1 -  $t_{ис} = -15$ ; 2 -  $-10$ ; 3 -  $-5$ ; 4 -  $0$ ; 5 -  $5$ ; 6 -  $10$  °С

оценка величины  $W$  проведена по усредненным месячным температурным показателям окружающей среды для городов Украины, характеризующихся различными уровнями температур наружного воздуха и продолжительностью отопительного сезона. С этой целью проанализированы данные института "УКРНИИИНЖПРОЕКТ" [9] для 10 городов, расположенных в разных климатических регионах Украины. Результаты расчетов годового производства утилизированной теплоты  $W$  за отопительный период для некоторых характерных городов Украины при двух различных влагосодержаниях дымовых газов  $X_g$  приведены на рис. 5, 6.

Как видно из полученных результатов, климатические условия и влагосодержание дымовых газов на выходе из котла существенно влияют на общий годовой объем выработки теплоты в утилизационной установке. Так для городов с относительно холодным климатом, например, Киев и Полтава, при влагосодержании дымовых газов  $X_g = 140$  г/кг с.г. наибольшие величины годовой выработки теплоты  $W$  отвечают двум значениям соотношения площадей водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов: 0,75 и 1,2. Для городов с более теплым климатом рациональное значение соотношения  $F_{вп}/F_{взп}$ , соответствующее максимуму  $W$ , примерно равно величине 1,2.

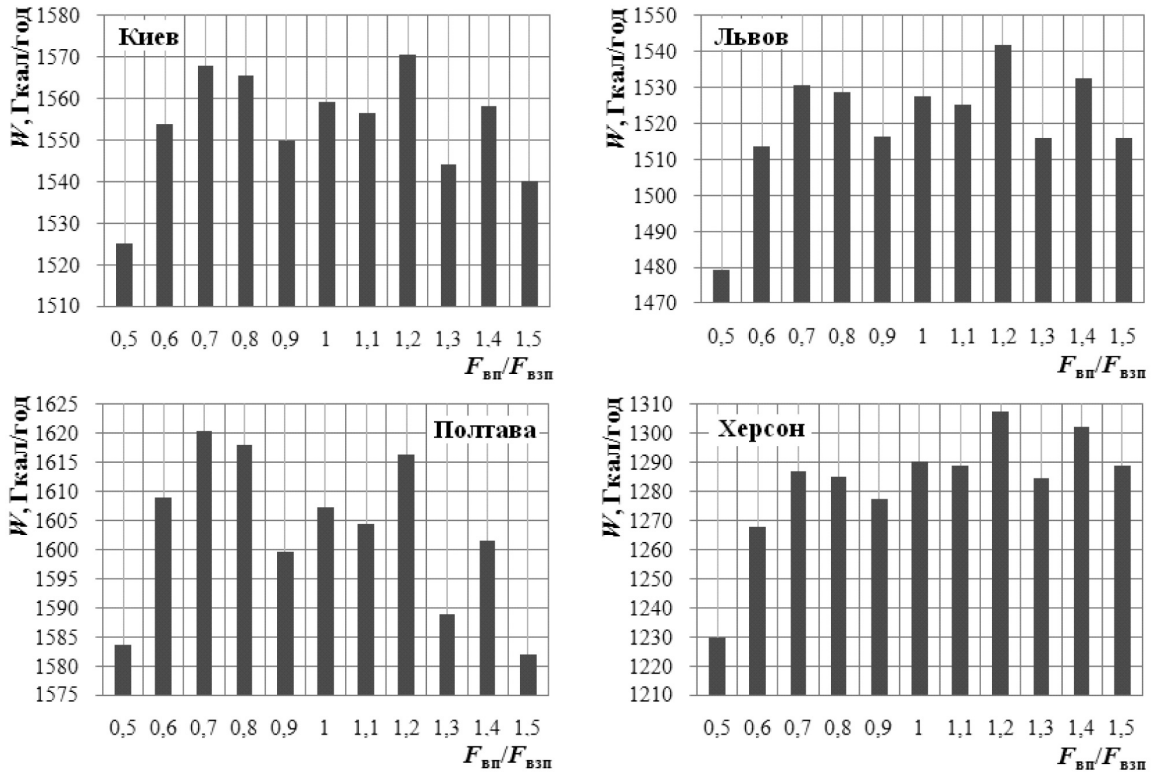


Рис. 5. Объемы годовой выработки теплоэнергии  $W$  теплоутилизационной установкой с совместным использованием водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов в зависимости от соотношения их площадей теплообмена  $F_{ВП}/F_{ВЭП}$  при  $X_1 = 140$  г/кг с.г.

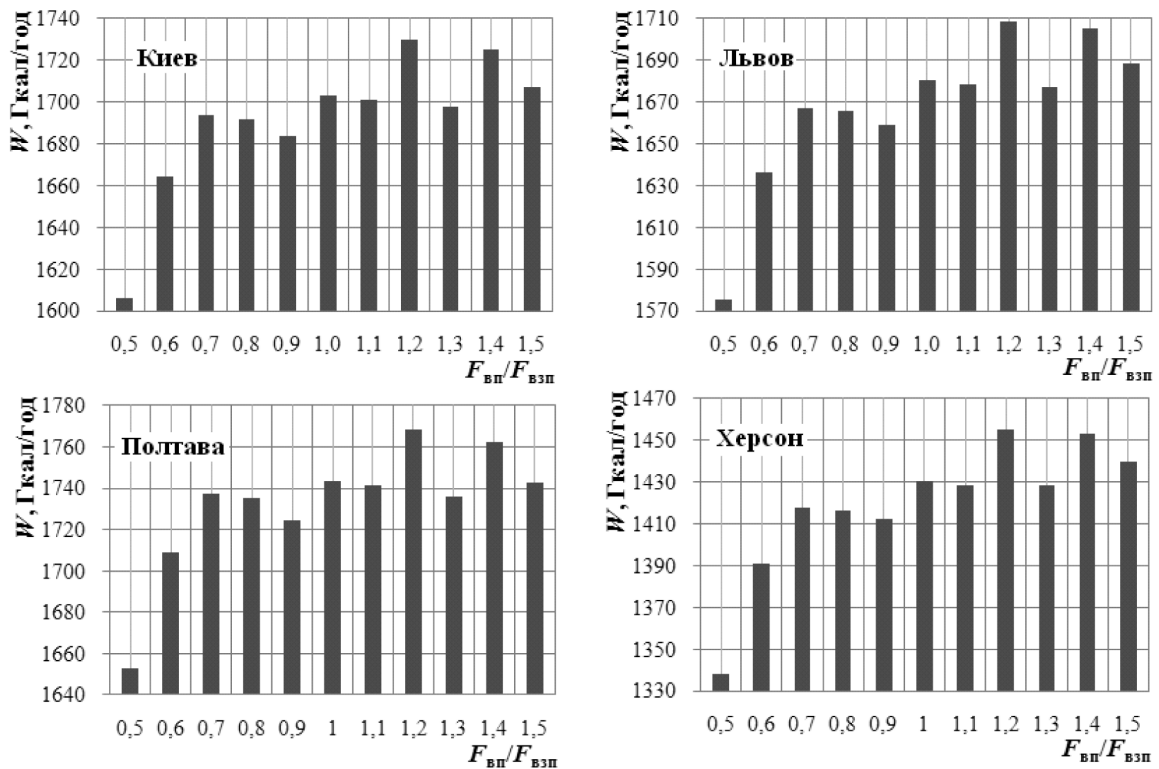


Рис. 6. Объемы годовой выработки теплоэнергии  $W$  теплоутилизационной установкой с совместным использованием водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов в зависимости от соотношения их площадей теплообмена  $F_{ВП}/F_{ВЭП}$  при  $X_1 = 180$  г/кг с.г.

**Средний прирост КПД котла при применении комбинированных теплоутилизационных систем для различных городов Украины**

Город	Начальное влагосодержание дымовых газов $X_1$ , г/кг с.г.				
	120	140	160	180	200
Донецк	7,39	7,81	8,27	8,71	9,02
Запорожье	7,41	8,02	8,41	8,99	9,28
Киев	7,27	7,87	8,25	8,69	9,01
Львов	7,38	7,91	8,32	8,78	9,12
Полтава	7,32	7,79	8,24	8,65	8,97
Сумы	7,35	7,76	8,17	8,47	8,81
Херсон	7,44	8,16	8,57	9,30	9,57
Ялта	7,77	8,88	9,39	10,97	10,98

То есть, для городов Херсон и Львов с целью достижения максимального производства теплоэнергии теплоутилизационной установкой площадь водогрейного теплоутилизатора должна быть увеличена относительно площади воздухогрейного примерно в 1,2 раза.

Как показали результаты проведенных исследований, с увеличением влагосодержания  $X_1$  в пределах  $160 \div 200$  г / кг с.г. для всех городов Украины независимо от климатической зоны область рациональных соотношений площадей водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов близка к значению  $F_{\text{вп}}/F_{\text{взп}} = 1,2$ .

В таблице 2 приведены значения среднегодового прироста КПД котла для различных городов Украины при применении рассматриваемых комбинированных теплоутилизационных систем с указанным рациональным соотношением площадей водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов.

Анализ полученных данных свидетельствует, что по сравнению с традиционными котлами КПД котлов повышенной экологической эффективности при применении комбинированных теплоутилизационных систем возрастает в  $1,2 \div 1,4$  раза в зависимости от климатической зоны эксплуатации котельной установки и уровня влагосодержания отходящих газов  $X_1$ .

### Выводы

1. Для котлов повышенной экологической эффективности выполнен анализ тепловых характеристик комбинированной теплоутилизационной системы для нагрева обратной теплосетевой воды и

дутьевого воздуха по таким показателям как ее теплопроизводительность, объем годовой выработки теплоэнергии  $W$ , уровень прироста КПД котла  $\Delta\eta$  в зависимости от его режимных характеристик и влагосодержания отходящих газов  $X_1$ .

2. Показано, что увеличение влагосодержания  $X_1$  в пределах  $0,14 \div 0,20$  кг/кг с.г. приводит к повышению указанных тепловых характеристик.

3. Определено для рассматриваемой комбинированной системы рациональное соотношение площадей водо- и воздухогрейного теплоутилизаторов  $F_{\text{вп}}/F_{\text{взп}}$ , соответствующее максимальной величине годовой выработки теплоэнергии  $W$ , которое для влагосодержаний  $X_1 = 0,16 \div 0,20$  кг/кг с.г. примерно равно 1,2.

### Символьные обозначения

$F$  – площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>;  
 $Q$  – теплопроизводительность, МВт;  
 $t$  – температура, °С;  
 $W$  – годовой объем выработки теплоэнергии, Гкал/год;  
 $X$  – влагосодержание дымовых газов, г/кг с.г.

### Греческие символы

$\Delta\eta$  – прирост КПД котла, %.

### Подстрочные и надстрочные индексы

взп – воздухоподогреватель;  
вп – водоподогреватель;  
мин – минимальный;  
ов – обратная вода системы теплоснабжения;  
ос – окружающая среда;  
1 – за котлом.



### Аббревиатуры

КПД – коэффициент полезного действия;  
с.г. – сухие газы.

### Литература

- [1] Фиалко Н.М. Эффективность элементов комбинированной теплоутилизационной системы для подогрева воды и дутьевого воздуха котельной установки / Н.М. Фиалко, А.И. Степанова, Р.А. Навродская, Г.А. Гнедаш // Промышленная теплотехника. – 2015. – Т. 37, №5. – С. 75–84.
- [2] Долинский А.А. Основные принципы создания теплоутилизационных технологий для котельных малой теплоэнергетики / А.А. Долинский, Н.М. Фиалко, Р.А. Навродская, Г.А. Гнедаш // Промышленная теплотехника. – 2014. – № 4. – С.27–36.
- [3] Фиалко Н.М. Анализ эффективности теплоутилизационной установки для нагревания и увлажнения дутьевого воздуха котлоагрегата / Н.М. Фиалко, А.И. Степанова, Г.А. Пресич, Г.А. Гнедаш // Промышленная теплотехника. – 2015. – Т. 37, №4. – С. 71–79.
- [4] Дашевский Ю.М. Некоторые экологические аспекты внедрения природоохранных и энергосберегающих технологий на ТЭС / Ю.М. Дашевский, Б.Е. Новиков, Л.Р. Хасанов–Агаев // Теплоэнергетика. – 1991. – №4. – С. 61–63.
- [5] Гаврилов А.Ф. Влияние влаги, вводимой в горячий воздух на содержание окислов азота в продуктах сгорания газа и мазута / А.Ф. Гаврилов, А.Д. Горбаненко, Е.Л. Туркестанова // Теплоэнергетика. – 1983. – № 9. – С. 13–15.
- [6] Сігал О.І. Визначення ефективності роботи котла в моноблочі з економайзером та повітропідігрівачем / О.І. Сігал, Є.Й. Бикоріз, В.І. Капітонов // Матеріали ХІХ Міжнародної конференції "Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики", Ялта 8-12 июня 2009. – Киев, 2009 – С. 138–141.
- [7] Расчет и рекомендации по проектированию поперечно-оребранных конвективных поверхностей нагрева стационарных котлов. – РТМ 108.030.140. – 1987. – 29 с.
- [8] Фиалко Н.М. Особенности методики расчета поверхностных теплоутилизаторов конденсационного типа / Н.М. Фиалко, В.И. Гомон, Р.А. Навродская, В.Г. Прокопов, Г.А. Пресич // Промышленная теплотехника. – 2000. – № 2. – С. 49–53.
- [9] Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. КГМ 204 України 244–94. / Державний комітет України по житлово-комунальному господарству. – Київ. –2001, 200 с.

*Fialko N. M., Navrodskaia R. A., Presich G. A., Novakovskiy M. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I., Sbrodova G. A.*

Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kiev

### COMBINED HEAT RECOVERY SYSTEMS OF BOILERS WITH INCREASED MOISTURE CONTENT OF FLUE GASES

*The results of studies of thermal characteristics combined heat recovery systems for heating reverse-water of heating network and blow-air of utility boilers with a high moisture content of the flue gases are presented. Determined the levels of boiler efficiency increase at different load it during the heating season and various values of the moisture content of the flue gases and also depending on climatic conditions of operation of the boiler plant with combined heat recovery system. It is established a rational ratio of surface heating area of water- and air-heater at these systems.*

*Keywords:* gas-fired boilers; high moisture content of the flue gases; combined heat recovery system; the efficiency increment; improvement of ecology.

### References

- [1] Fialko N.M. The effectiveness of elements of the combined heat recovery system for heating water and blow-air of boiler installation / N.M. Fialko, A.I. Stepanova, R.A. Navrodskaia, G.A. Gnedash // Industrial Heat Engineering. – 2015. – Vol. 37 – № 5. – P. 75–84. (Rus.)

- [2] Dolinskiy A.A. Basic principles in setting of heat recovery technology for boiler of low heat-power industry / A.A. Dolinskiy, N.M. Fialko, R.A. Navrodsкая, G.A. Gnedash // Industrial Heat Engineering. – 2014. – № 4. – P. 27–36. (Rus.)
- [3] Fialko N.M. Analysis of the effectiveness of heat recovery systems for heating and humidifying the blow-air of boiler. / N.M. Fialko, A.I. Stepanova, G.A. Presich, G.A. Gnedash // Industrial Heat Engineering. – 2015. – Vol. 37 – № 4. – P. 71–79. (Rus.)
- [4] Dashevskii Y.M. Some environmental aspects of the implementation of environmental and energy-saving technologies at TPPs / Y.M. Dashevskii, B.E. Novikov, L.R. Khasanov-Agaev // Thermal Engineering. – 1991. – №4. – P. 61–63. (Rus.)
- [5] Gavrilov A.F. Influence of moisture introduced into the hot air on the content of nitrogen oxides in gas combustion products and fuel oil / A.F. Gavrilov, A.D. Gorbanenko, E.L. Turkestanova // Thermal Engineering. – 1983. – № 9. – P. 13–15. (Rus.)
- [6] Sigal O.I. Determining the efficiency of the boiler and economizer monoblock with air-heater / A.I. Sigal, E.Y. Bykoriz, V.I. Kapitonov // Materials XIX International conference "Problems of Ecology and Energy Operation Objects" Yalta 8-12 June 2009 – Kiev, 2009 – P. 138 – 141. (Ukr.)
- [7] The calculation and design recommendations on cross-finned convective stationary boilers heating surfaces. – GTM 108.030.140. – 1987. – 29 p. (Rus.)
- [8] Fialko N.M. Peculiarities of the methods for calculating the surface exchangers of condensing type / N.M. Fialko, V.I. Gomon, R.A. Navrodsкая, V.G. Prokopov, G.A. Presich // Industrial Heat Engineering. – 2000. – № 2. – P. 49–53. (Rus.)
- 9] Norms and instructions rationing of fuel and heat energy for heating residential and public buildings, as well as domestic needs in Ukraine. KGM 204 Ukraine 244-94. / The State Committee of Ukraine on housing and communal services. – Kyiv. – 2001, 200 p. (Ukr.)