

УДК 536.24:697.326

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОТЛА НИИСТУ-5

Сігал О.І., канд. техн. наук, **Бикоріз Є.Й.**, **Пузанов І.В.**

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова 2а, Київ 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.12>

Проведено аналітичний огляд науково-технічних рішень задачі підвищення ефективності роботи котла НИИСТУ-5. Розроблено методологію модернізації котла НИИСТУ-5 з експериментальною апробацією конструктивного рішення підвищення його ККД до 91...92 % за рахунок встановлення проміжних теплообмінних поверхонь в газоходах.

Проведен аналітичний огляд науково-технічних рішень задачі підвищення ефективності роботи котла НИИСТУ-5. Розроблена методологія модернізації котла НИИСТУ-5 з експериментальною апробацією конструктивного рішення підвищення його ККД до 91...92 % за рахунок встановлення проміжних теплообмінних поверхонь в газоходах.

An analytical review of scientific and technical solutions to the problem of increasing the efficiency of the NIISTU-5 boiler. A methodology for modernization of the NIISTU-5 boiler with experimental approbation of a constructive solution to increasing its efficiency up to 91...92 % due to the installation of intermediate heat exchange surfaces has been developed.

Бібл. 10, рис. 7.

Ключові слова: модернізація, ефективність, котли НИИСТУ-5, теплообмін, топка, ККД.

T – поточна температура димових газів, К,
 l – відстань між додатковою і основною конвективною поверхнею, мм,
 L – максимальна відстань між додатковою і основною конвективною поверхнею, мм,
 m – питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти, $\text{м}^3/\text{Гкал}$,

M – максимальна питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти, $\text{м}^3/\text{Гкал}$.

Нижні індекси:

д.г. – димові гази.

Вступ

Кількість діючих котлів НИИСТУ-5 в комунальній теплоенергетиці і інших підприємствах, які постачають споживачам теплову енергію, складає ~ 10 тис. одиниць. З них більше 1 тис. котлів працюють на вугіллі, інші 13 тис. – на природному газі. В комунальній теплоенергетиці нараховується приблизно 4200 котлів НИИСТУ-5 та аналогів, які працюють на природному газі.

В середині 70-х років минулого століття більшість котлів НИИСТУ-5 було переведено на природний газ. В топці замість решітки встановили подові паливники. Такий котел має ряд суттєвих недоліків, а саме: газоспрямовуючі перегородки екранних труб мають щілини, через які частина продуктів згорання проходить в газохід, що знижує рівень теплообміну в топці; в котлі недостатньо розвинута теплообмінна поверхня. Ці недоліки негативно впливають на ККД котла, який коливається в межах 82...86 %. В той же час котел має безперечну перевагу перед сучасними аналогічними котлами малої теплопродуктивності, в основному – за рахунок високої ремонтпридатності та надійності роботи. У зв'язку з цим розроблялися і продовжують розроблятися технології модернізації котла НИИСТУ-5.

Аналітичний огляд технологій модернізації котла НИИСТУ-5

В «Сумитеплокомуненерго» проведена модернізація котла (автор Звягінцев В.Л. [1]) з метою підвищення надійності його роботи (рис. 1). У корпусі 1 котла розміщена топка 2 з верхнім, переднім, заднім і бічними обрамляючими екранами 3, 4, 5, і 6 з труб 7 з плавниками 8. Між екранами 6 і корпусом 1 встановлені проміжні екрани 9, труби 10, які виконані з плавниками 11 і розташовані із зсувом щодо труб 7 відповідних екранів 6. Труби 7 додатково скріплені з сусідніми трубами 10 екранів 9 своїми плавниками 8, які виконані з подовжніми компенсаційними вигинами. Плавники 11 труб 10 екранів 9 виконані автономними для кожної труби 10 і розташованих нахлестом із зазором щодо плавників 8 труб 10 екранів 9.

Модернізація котла дозволяє збільшити теплотворення з теплообмінних поверхонь і рівномірно розподілити теплову енергію випромінювання між поверхнями нагріву екранів 6 і 9, знижуючи температурні розгортки в екранах 6 і 9. ККД котла збільшується, однак, в той же час збільшується металоемність котла і аеродинамічний опір.

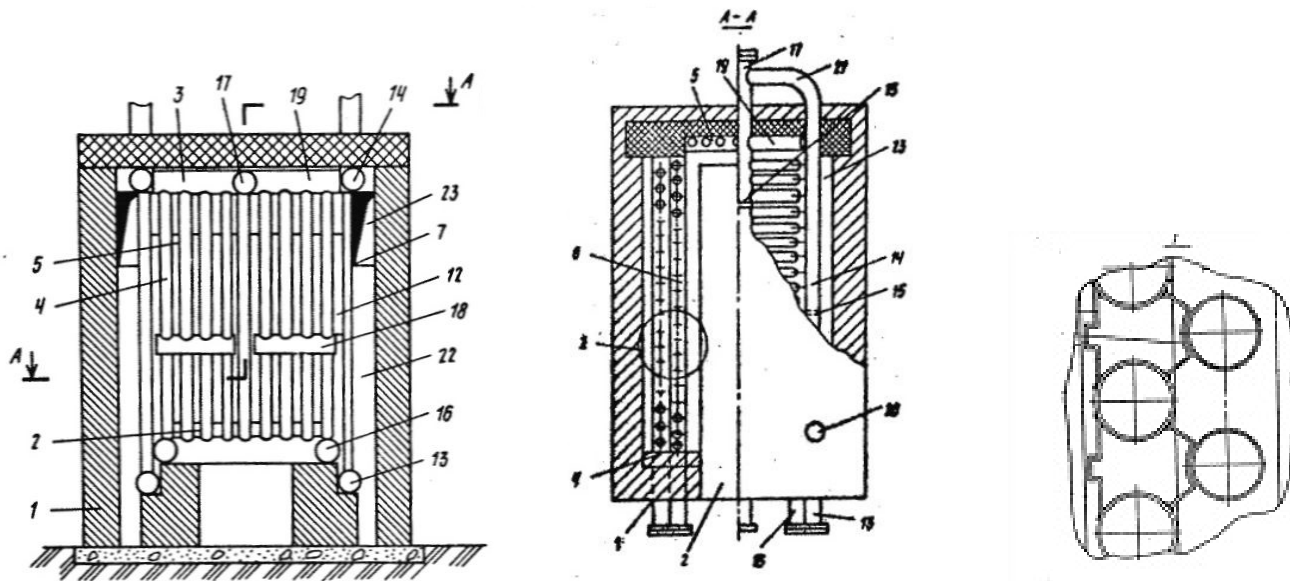


Рис. 1. Встановлення проміжних екранів в топку котла ННІСТУ-5 [1].

Модернізація водогрійного котла ННІСТУ-5 конструкції Таранцева А.А. [2] містить розміщені в корпусі з обмурівкою плавникові внутрішні і периферійні панелі з труб, розташованих паралельно з утворенням центрального і периферійного газоходів, послідовно сполучених між собою і з газовідвідним каналом, причому труби внутрішніх панелей розташовані із зсувом щодо труб периферійних панелей. З метою підвищення ефективності використання тепла димових газів в трубах периферійних панелей додатково встановлені димогарні труби, якими периферійний газохід сполучений з газовідвідним каналом (рис. 2). Тобто димові гази в процесі омивання панелей 4,5 (рис. 2 фіг. 3) та екранів 2, 3 (рис. 2 фіг. 3, 4) рухаються по складній траєкторії, що дозволяє більш ефективно використовувати їх теплову енергію.

Модернізація котла ННІСТУ-5 за технологією Таранцева А.А. дозволяє більш ефективно використовувати теплову енергію димових газів, але кардинально не змінює малоефективну систему використання продуктів спалювання.

Інтенсифікація топкового теплообміну в котлах шляхом установки проміжних (вторинних) випромінювачів за технологією Сігала О.І. і Падерно Д.Ю. [3, 4] підвищує ефективність спалювання газоподібного палива в котлах і зниження токсичних викидів в атмосферу.

Дія проміжних випромінювачів заснована на тому, що вони сприймають тепло селективним випроміню-

ванням і конвекцією від продуктів згорання і передають його повним спектром випромінювання до водоохолоджуваних поверхонь, розташованих в топці. Знаходячись в стаціонарному режимі при незмінній температурі, проміжні випромінювачі весь падаючий на них тепловий потік перевипромінюють на поверхні екрану у вигляді відбитого тепла і власного випромінювання (рис. 3).

В результаті зниження як максимальних температур в зоні горіння, так і температур на виході з топки і за котлом, полегшуються умови роботи, підвищується надійність і збільшується термін експлуатації котла.

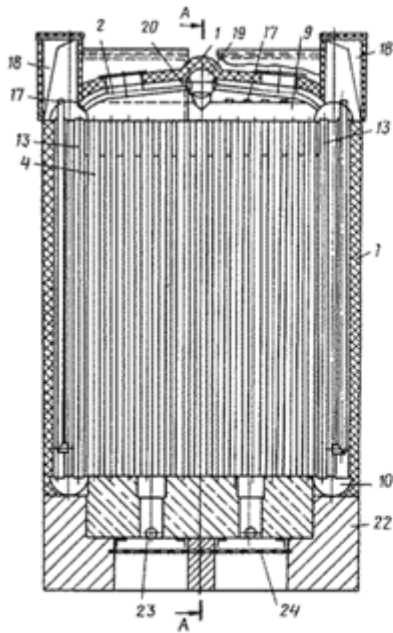
Використання проміжних випромінювачів дозволяє:

- збільшити тепловіддачу в топці котла на 10...30 %;
- зменшити витрату палива (природного газу) в котлах продуктивністю до 1 Гкал – на 3...5 %.

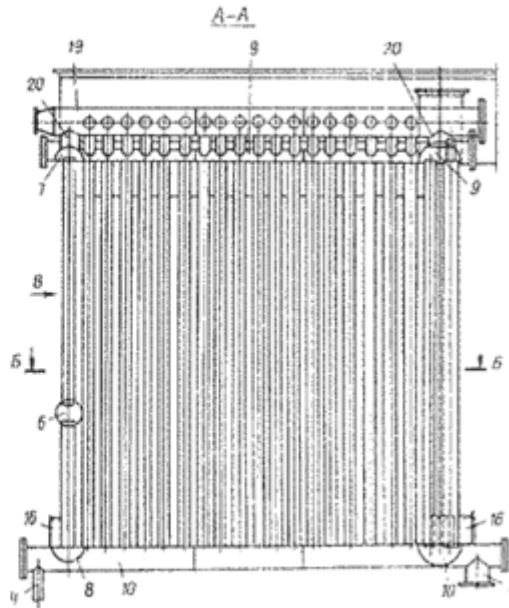
Недоліком цієї модернізації є те, що випромінювачі швидко зношувалися і потребували їх заміни після кожного опалювального сезону.

У роботі [5] наведено технологію модернізації котла ННІСТУ-5 шляхом встановлення розробленого авторами пальника повного попереднього змішування газу та повітря.

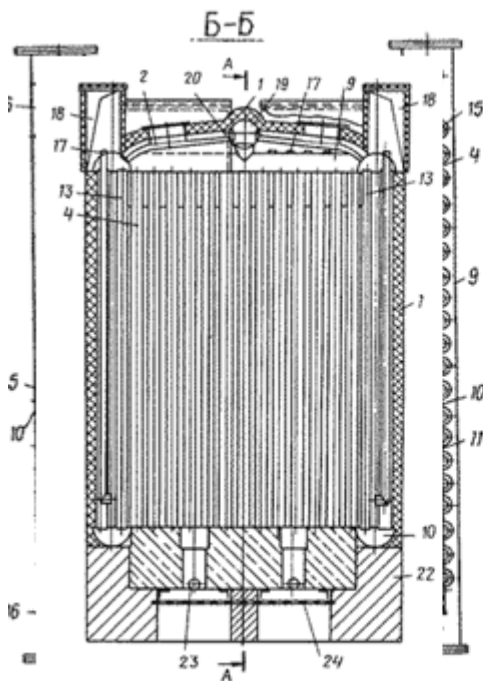
Пальник з повним попереднім змішуванням (рис. 4) представляє собою зварну конструкцію, яка складається з газового патрубка з отворами для подачі газу. Газові патрубки проходять через повітряні колектори 2 в реєстри 3, котрі призначені для подачі і змішування



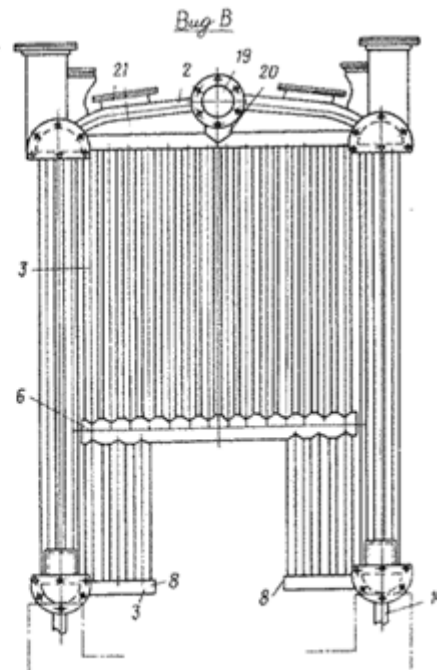
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



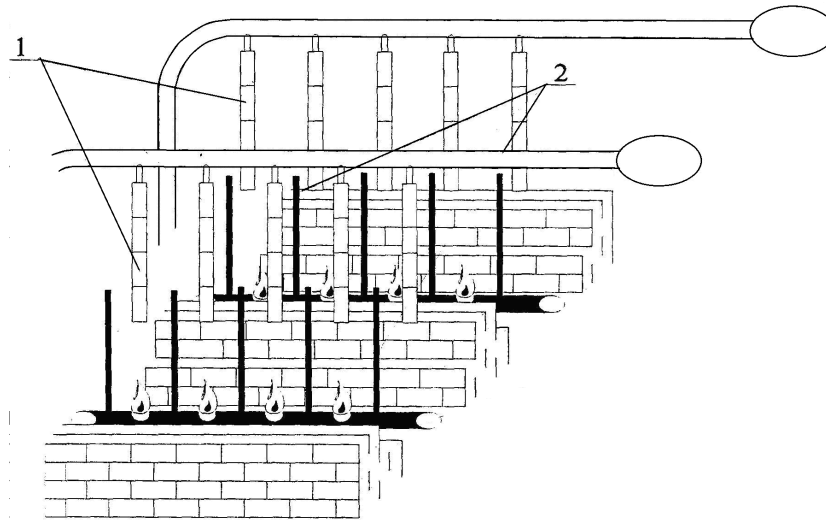
Фіг. 4

Рис. 2. Встановлення димогарних труб в трубні периферійні панелі котла НИИСТУ-5 [2].

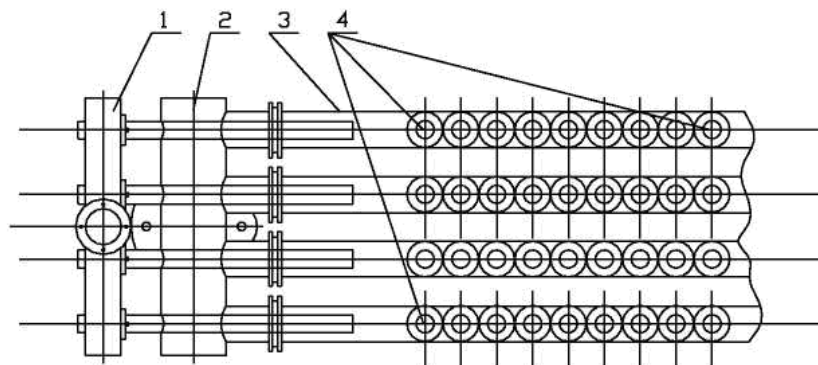
повітря з газом. Регістри змонтовані на повітряному колекторі таким чином, що між газовими патрубками і регістрами створюються кільцеві отвори. На кожному регістрі змонтовані сопла, які забезпечують рівномірну

роздачу і подачу газоповітряної суміші в топку котла. Відстань між всіма сопел складає 90 мм, а між всіма регістрів 165 мм.

Пальник розміщується в топці котла по всій площині



**Рис. 3. Встановлення проміжних випромінювачів в топку котла ННІСТУ-5 [4]:
1 – нависні проміжні випромінювачі, 2 – стрижневі проміжні випромінювачі.**



**Рис. 4. Пальник газовий подовий з повним попереднім змішуванням [5]:
1 – газовий колектор, 2 – повітряний колектор, 3 – реєстр, 4 – сопла.**

поду і приєднується до діючої автоматики безпеки і регулювання. Між реєстрами пальника засипається річний пісок фракцією 0,8...1,5 мм на 5...10 мм вище отворів ковпачків сопел.

Модернізація поду котла і застосування розробленого пальника дозволяє підвищити ККД котла на 2...3 %.

У зв'язку з тим, що пальник при номінальних режимах мав опір 250...3000 Па необхідно встановлювати вентилятор відповідного тиску. Вартість пальника суттєво збільшилась і виробництво пальника стало нерентабельним.

Підвищення радіаційного теплообміну в топці котла можна досягти також шляхом підвищення ступеня чорноти екранних поверхонь топки. Для цього Кучиним

Г.П. та ін. було розроблено покриття для труб екранних поверхонь топки на основі кремній-органічного лаку КО-075 [6], в якості пігментів використовувалась сажа марки К-364, оксид заліза з дисперсним складом 10-63 мм, дрібнодисперсний металевий алюміній (алюмінієва пудра). При нанесенні на екранні поверхні труб тонкого шару покриття ступінь чорноти системи під покриттям підвищувалась на 15...20 %, що приводило до підвищення ККД котла на 1,5...2 %. Цей спосіб відрізнявся від інших значно меншою вартістю капітальних витрат і малим терміном окупності.

Недоліком цього способу є малий термін існування покриття, що складає не більше одного опалювального сезону. Обстеження трубної частини через сезон

експлуатації показало, що на значній поверхні труб покриття було відсутнє.

У роботі [7] автори, використовуючи пакет прикладних програм PHOENICS V 3.6 [8], провели дослідження інтеграції пальника ГБГМ-0,85 НД у топковий простір котла НИИСТУ-5. Результати розрахунку показали, що встановлення такого пальника в об'єм котла можливе за умови захисту заднього екрану топки котла. У відповідності до результатів комп'ютерного моделювання при реконструкції топкового простору котла його нижня частина була закладена вогнетривкою цеглою. На передній стінці котла перероблена плита для кріплення газового пальника ГБГМ-0,85 НД зі встановленням додаткової теплоізоляції. Випробування модернізованого котла показали збільшення ККД з 65 до 90%. Модернізація котлів НИИСТУ-5, що базується на оснащенні їх фронтальними блочними пальниками ГБГМ-0,85 НД дає змогу підвищити ККД котла до 90%. Однак, необхідна теплоізоляція заднього топкового екрану і частково бокових екранів не гарантує безаварійної експлуатації. Заміна подового пальника фронтальним призводить до суттєвого зменшення терміну служби топкових екранів котла.

В роботах [9, 10] наведено технічне рішення по вдо-

сконаленню водогрійного котла НИИСТУ-5, яке полягає у встановленні додаткової вертикальної теплообмінної водотрубною поверхні котла (рис. 5), чим забезпечується можливість інтенсифікації теплосуму в котлі.

На рис. 5 показано водогрійний котел у перетині. Водогрійний котел складається з корпусу 1, топки 2, радіаційної 3, та конвективної 4 поверхонь теплообміну, вікон 5, газоходів 7, додаткової поверхні теплообміну 8, яка обладнана теплообмінними трубами 6. Запропонований водогрійний котел працює таким чином: природний газ спалюється в топці котла 2. Продукти згоряння із топки через вікна 5 у верхній радіаційній поверхні поступають у газоходи 7 конвективних шахт з установленими в них трубами 6, які складають додаткову поверхню теплообміну 8, після чого – в димову трубу.

При відносній відстані від труб додаткової конвективної поверхні до труб конвективної поверхні котла $l=l_1/L_1=0,35$ підвищується аеродинамічний опір проходу газів в газоході котла, в результаті погіршується теплообмін між вихідними газами і конвективними поверхнями котла та додатковою конвективною поверхнею. Відносна температура вихідних газів $T = T_1/T_{\text{макс}} = 0,979$, відносна питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти $m = m_1/m_{\text{макс}} = 0,973$; ККД = 84%

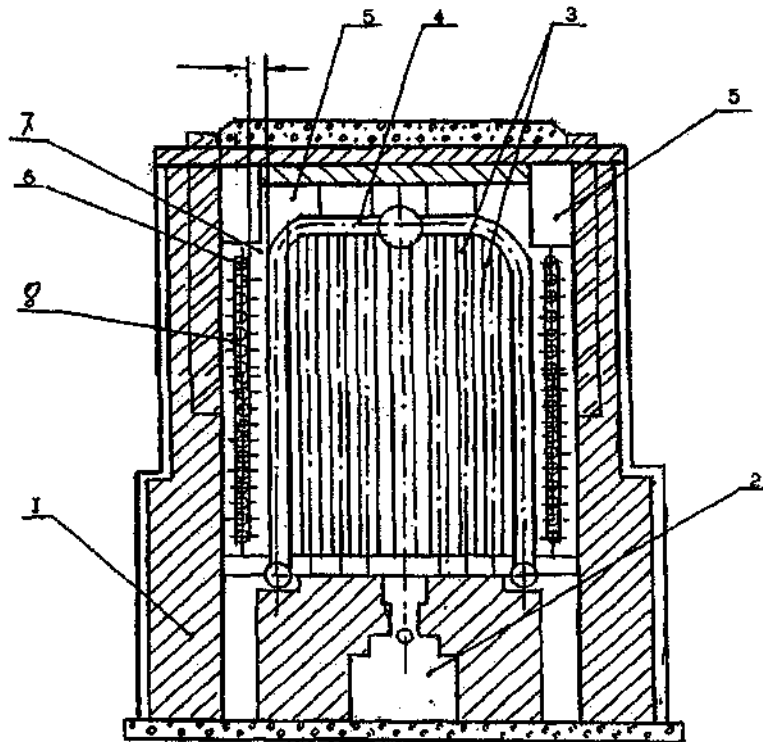


Рис. 5. Встановлення додаткової конвективної поверхні нагріву в газоходах котла НИИСТУ-5 [9, 10].

(рис. 6, крива 1).

При відносній відстані від труб додаткової конвективної поверхні до труб конвективної поверхні котла $l = 0,625 \dots 0,833$, відносна температура вихідних газів на вході в димову трубу $T = 0,817$, відносна питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти складає $m = 0,893$; ККД = 92 % (рис. 6, крива 2).

При відносній відстані від труб додаткової конвективної поверхні до труб конвективної поверхні котла $l = 0,92$ відносна температура вихідних газів $T = 0,939$, відносна питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти $m = 0,953$; ККД = 86% (рис. 6, крива 3).

Експериментально визначено оптимальну відстань між трубами додаткової конвективної поверхні і основної конвективної поверхні, яка складає 20 мм і забезпечує максимальну інтенсифікацію теплообміну в газоходах котла.

Дана модернізація котла дозволить знизити температуру вихідних газів, зменшити питому витрату природного газу на одиницю виробленої теплоти і підвищити ККД котла до 92%. Основним показником ефек-

тивності модернізації котла є збільшення його ККД, що показано на рис. 7.

Висновки

Котел НИИСТУ-5 має ряд суттєвих недоліків: газоспрямовуючі перетинки екранних труб мають щілини, через які частина продуктів згорання проходить в газохід, що знижує рівень теплообміну в топці; в котлі недостатньо розвинута теплообмінна поверхня, що негативно впливає на ККД котла, який коливається в межах 75...82 %.

Проведений аналіз ефективності модернізації котла НИИСТУ-5 довів, що:

- модернізація котла НИИСТУ-5 по технології Звягінцева В.Л. [1] дозволяє збільшити ККД до 89%. При цьому збільшується аеродинамічний опір і теплоємність конструктиву;

- модернізація котла НИИСТУ-5 по технології Таранцева А.А. [2] дозволяє більш ефективно використовувати теплову енергію димових газів, але кардинально не змінює систему теплот'єму від продуктів спалювання;

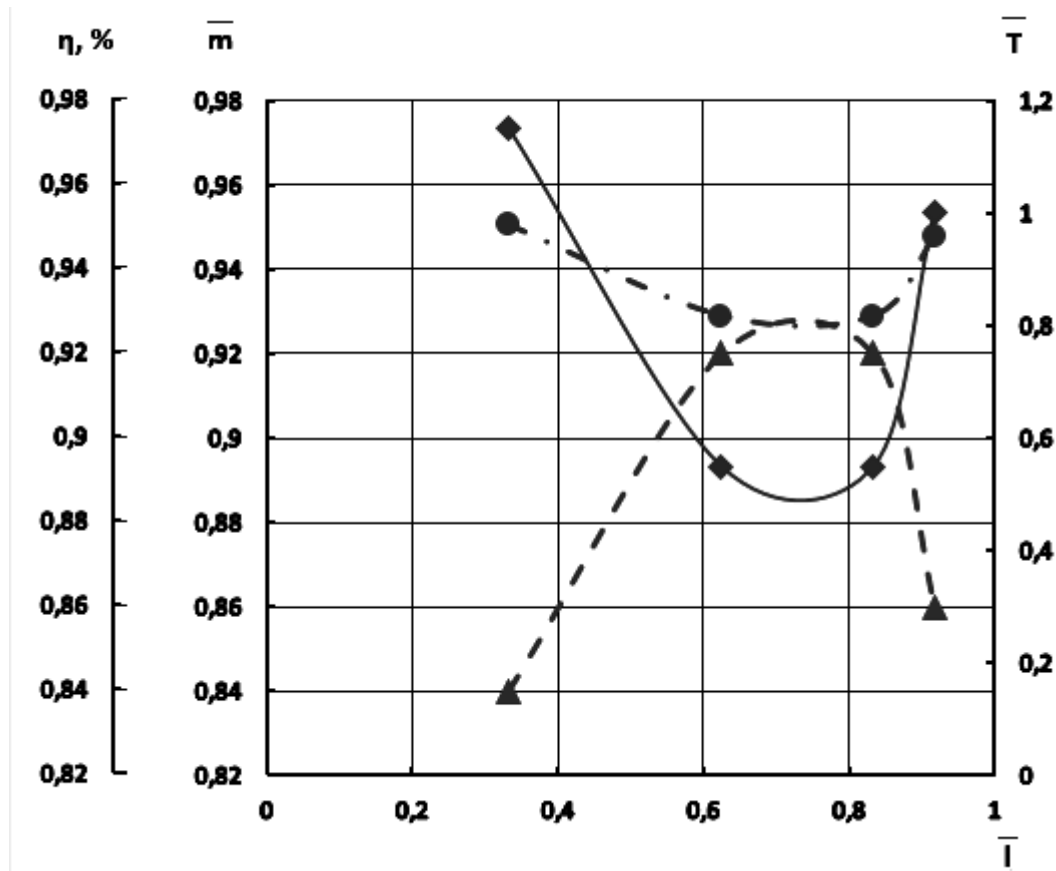


Рис. 6. Оптимізація установки додаткової конвективної поверхні:

▲ – $\eta, \%$, ■ – T , ● – m .

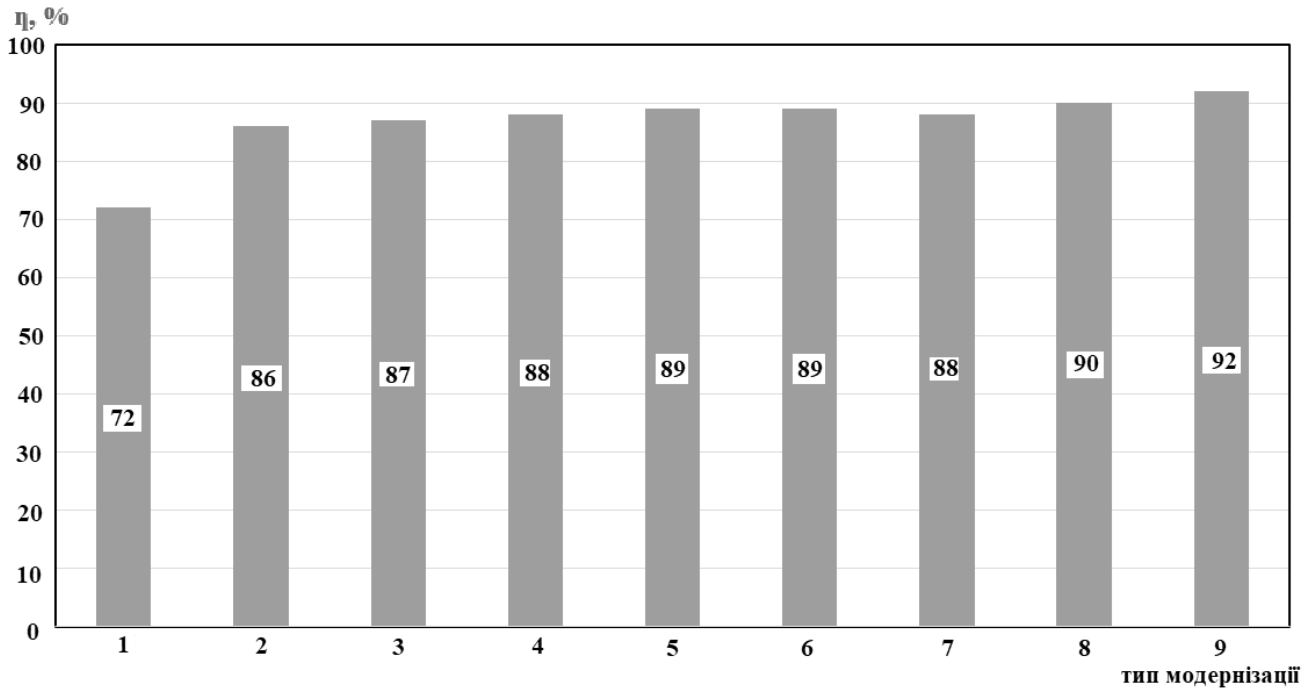


Рис. 7. Збільшення ККД котла НІИСТУ-5 у відповідності до використання різних технологій його модернізації:
1 – НІИСТУ-5, термін експлуатації більше 20 років, 2 – НІИСТУ-5 паспортний, 3 – [1], 4 – [2], 5 – [3, 4], 6 – [5], 7 – [6], 8 – [7, 8], 9 – [9, 10].

- встановлення проміжних випромінювачів максимально збільшує ефективність роботи топки котла, однак недовговічність експлуатації (менше 1 опалювального сезону) і відповідні додаткові витрати на повнення їх роботи зменшує економічну ефективність випромінювачів [3, 4];

- оснащення котла НІИСТУ-5 фронтальними блочними пальниками ГБГМ-0,85 НД [7], дає змогу підвищення ККД до 90%, однак вимагає теплоізоляції топкових екранів і призводить до швидкого зношення поверхонь нагріву.

Технічні рішення з удосконалення водогрійного котла НІИСТУ-5 розроблялися авторами статті у двох напрямках.

1. Підвищення інтенсивності теплообміну в топці:

- розроблення і встановлення подового пальника, а саме, пальник з повним попереднім змішуванням газу та повітря [5] дозволяє збільшити радіаційний теплообмін з відповідним підвищенням ККД котла на 2...3 %. Однак, для ефективної роботи пальника необхідно встановити вентилятор підвищеного тиску, що значно здорожчує модернізацію котла;

- нанесення теплопоглинаючого покриття на трубні топкові екрани, а саме, збільшення ступеню чорноти екранних поверхонь на 1,5...2 % досягається нанесен-

ням, розробленого авторами теплопоглинаючого покриття [6], що дозволяє збільшити ККД котла на 2%. Експериментально визначено, що максимальний термін експлуатації теплопоглинаючого покриття обмежується одним опалювальним сезоном. Негативним фактором використання покриття є нерівномірне зношення його на трубних екранах, що призводить до місцевого перегрівання труб.

2. Підвищення теплообміну у конвективній частині:

- встановлення додаткової конвективної поверхні в газоході котла забезпечує збільшення теплообмінної поверхні котла, тобто здійснюється збільшення ККД котла (в залежності від умов його експлуатації) на 2...4 %, а також підвищується ефективність використання природного газу. Експериментально визначено оптимальну відстань між трубами додаткової конвективної поверхні і основної конвективної поверхні, яка складає 20 мм і забезпечує максимальну інтенсифікацію теплообміну в газоходах котла.

ЛІТЕРАТУРА

1. Звягинцев В.Л. Котлы: без электрических насосов и дымососов // Мiське господарство України. - 2001. - № 1. - С. 16-17.

2. Авторское свидетельство СССР 1245814 А1. F24H 1/32. Водогрейный котел/ Таранцев А.А. и др. Заявл. 20.07.84. Оpubл. 23.07.86. Бюл. №27.
3. Реконструкция котла НИИСТУ-5 // XI конференция стран СНГ с международным участием "Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики". Тезисы докладов. – Севастополь 2001 – 181с.
4. Переоборудование существующих горелок котлов типа ДЕ и ДКВР с целью снижения расхода природного газа (особенно в осеннее-весенний период). Сборник трудов "Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики". Киев 2014, С. 203-204.
5. Власюк А.В., Кучин Г.П., Скрипко В.Я. Повышение эффективности работы отопительных котлов мощностью до 1 МВт // Энергетика и электрификация. - 2001. - № 3. - С.15-16.
6. Власюк А.В., Менайлов О.М., Гавриленко О.І., Кучин Г.П., Скрипко В.Я. та ін. Властивість покриття – його стійкість. // Міське господарство України: Всеукраїнський інформаційний технічний журнал /Державний комітет України по житлово-комунальному господарству.- Київ .- 2000.-№3.-С.16-17.
7. Долинский А.А., Халатов А.А. и др. Использование компьютерного моделирования при малозатратной модернизации котла НИИСТУ-5. Журн. Пром.теплотехника., 2007, т.29, №5.-С.80 – 91.
- 8 . PHOENICS Reference Guide Version 3.6 CHAM, London.-2004.
9. Кучин Г. П., Скрипко В. Я., Бикоріз Є. Й., Пузанов І. В. Розроблення технічних рішень для збільшення ресурсу роботи водогрійних газових котлів типу НИИСТУ-5. Сборник трудов "Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики". Киев 201,4 С. 104-106.
10. Пат. 56393 U України F24H 1/2. Котел/ Кучин Г.П. та ін. Заявл. 11.06.2010. Оpubл. 10.01.2011. Бюл. №1, 2011 р.

**FEATURES OF MODERNIZATION OF THE
BOILER NIISTU-5**

Sigal A.I., Bykoriz E.I., Puzanov I.V.

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,
2a, Zhelyabova Str., Kyiv, 03057, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.12>

Steel boiler NIISTU-5 with forced water circulation is simple and reliable in operation, it has high level of maintainability and designed to work in the heating systems and hot water supply of residential, administrative and industrial facilities. Some of the combustion products pass into the boiler flue through the slots that exist in the gas guide walls of the screen tubes, which leads to a decrease in the heat exchange rate in the furnace. In addition, the heat exchange process in the boiler has low efficiency, and as a result of this boiler efficiency is reduced to 75...82 % with a passport rating - 86%.

The aim of this work is development of technical solutions to improve the efficiency of existing boilers by extending the life of boiler equipment and reducing the natural gas consumption.

Technical solutions for the improvement of the water-heating boiler NIISTU-5 were developed by the authors in two directions.

1. Increasing the intensity of heat transfer in the furnace:
- development and installation of a bottom burner, namely, a burner with full preliminary mixing of gas and air, allows to increase radiation heat exchange with a corresponding increase in the efficiency of the boiler by 2...3 %;

- application of heat-absorbing coating on the tube furnace screens, which allows to increase the degree of blackness of the screen surfaces and the efficiency of the boiler by 1.5...2 %.

2. Increased heat transfer in the convective part

- installation of an additional convective surface in the boiler flue provides an increase in the heat exchange surface and efficiency of the boiler increases (depending on the operating conditions) by 2...4 %. It is experimentally definitely the optimal distance between the pipes of an additional convective surface and the main convective surface, which is 20 mm and ensures the maximum intensification of heat exchange in the gas ducts of the boiler.

References 10, figures 7.

Keywords: modernization, efficiency, boilers NIISTU-5, heat exchange, furnace.

1. *Zvyagintsev V.L.* Boilers: without electric pumps and exhausters // City economy of Ukraine. 2001. № 1. p. 16-17 (Ukr)

2. *USSR author's certificate* 1245814 A1. F24H 1/32. Water boiler / Tarantsev A.A. and others. 20.07.84. Publish. 23.07.86. Bull No. 27.

3. *Reconstruction of the boiler* NIISTU-5. // XI Conference of the CIS countries with international participation "Problems of ecology and operation of power facilities". Theses of reports. - Sevastopol 2001, 181p. (Ukr)

4. *Re-equipment of the existing* burners of boilers of type DE and DKVR in order to reduce the consumption of natural gas (especially in the autumn-spring period). Collection of works "Problems of ecology and operation of energy facilities". Kyiv. 2014. pp. 203-204 (Ukr)

5. *Vlasyuk A.B., Kuchin G.P., Skrypko V.Y.* Improving the efficiency of heating boilers with a capacity of up to 1 MW // Energy and electrification. 2001. № 3. P.15-16. (Ukr)

6. *Vlasyuk A.B., Menaylov O.M., Gavrilenko O.I., Kuchin G.P., Skrypko V.Y. and etc.* Properties of the coating - its stability. // Urban Economy of Ukraine: All-Ukrainian Information Technical Journal / State Committee of Ukraine on Housing and Communal Services. Kyiv. 2000. №3. P.16-17 (Ukr)

7. *Dolinsky A.A., Halatov A.A. et al.* Use of computer simulation in the low-cost modernization of the NIISTU-5 boiler. Industrial heat engineering. 2007, V.29, №5. P.80-91 (Ukr)

8. PHOENICS Reference Guide Version 3.6 CHAM, London.2004.

9. *Kuchin G.P., Skrypko V.Y., Bikoriz Y.Y., Puzanov I.V.* Development of technical solutions for increasing the life of the work of water-heating gas boilers of the type NIISTU-5. The collection of works "Problems of ecology and operation of objects of power engineering". Kyiv. 2014. P. 104-106 (Ukr)

10. *Patent Ukraine* 56393 F24H 1/2. Boiler / Kuchin G.P. etc. Declared 11/06/2010. Publish. 10.01.2011. Bull No. 1, 2011.

Отримано 11.12.2018

Received 11.12.2018