

УДК662.614.2:504.064.4

Фіалко Н.М.<sup>1,2</sup>, Пресіч Г.О.<sup>1</sup>, Навродська Р.О.<sup>1</sup>, Гнедаш Г.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Інститут технічної теплофізики НАН України

<sup>2</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ  
КОТЛОАГРЕГАТІВ ДЛЯ ПІДІГРІВАННЯ І ЗВОЛОЖЕННЯ ДУТЬОВОГО ПОВІТРЯ

Розглянуто особливості послідовного удосконалення комплексної системи утилізації теплоти відхідних газів котлоагрегатів, призначеної для підігрівання і зволоження дуттьового повітря. Для максимального підвищення ефективності системи пропонується застосування теплового насоса.

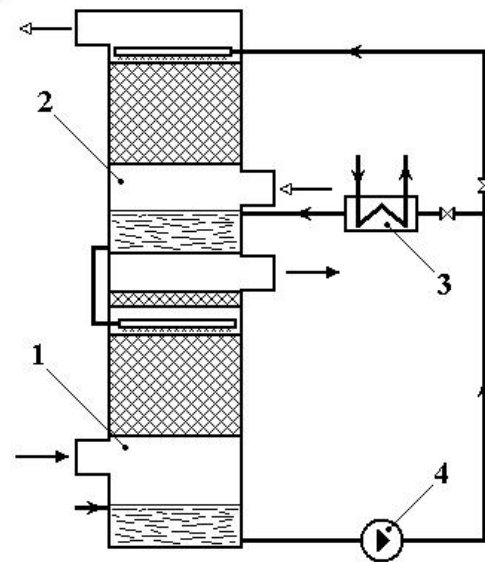
Рассмотрены особенности последовательного усовершенствования комплексной системы утилизации теплоты уходящих газов котлоагрегатов, предназначенной для подогрева и увлажнения дутьевого воздуха. Для максимального повышения эффективности системы предлагается применение теплового насоса.

Particular features of consecutive improvement of complex system intended for boiler units waste gases heat utilization with simultaneous combustion air heating and humidifying are considered. For providing with maximum rise of system efficiency heat pump application is proposed.

Однією з проблем теплоутилізації є забезпечення постійного споживання утилізованої теплоти. В цьому відношенні підігрівання дуттьового повітря газоспоживаючих котлоагрегатів за рахунок теплоти відхідних димових газів виявляється щонайдоцільнішим. Разом з тим, такий спосіб утилізації є не тільки економічним, але також створює можливість для поліпшення екологічних показників котельної установки. Це досягалося застосуванням теплоутилізаційної системи, що містить теплоутилізатор, зазвичай контактний, циркуляційний насос і контактний повітрозволожувач, включені в циркуляційний контур проміжного теплоносія – води (рис. 1).

Застосування такої системи забезпечує не тільки підігрівання, але і зволоження повітря, яке надходить до газопальникового пристрою котлоагрегату, що сприяє зменшенню викидів NO<sub>x</sub> в атмосферу. Проте така проста теплоутилізаційна система не є достатньо ефективною і має суттєві недоліки.

Першим заходом з удосконалення теплоутилізаційної системи, що розглядається, було зняття обмеження по температурі води на виході з теплоутилізатора шляхом виконання його поверхневим [1-3]. Крім того, для запобігання конденсації вологи з охолоджених димових газів при подальшому переміщенні



**Рис. 1. Принципова схема контактнo-контактного теплоутилізаційного агрегату для підігрівання та зволоження дуттьового повітря: 1 – контактний водопідігрівач (теплоутилізатор); 2 – контактний повітрозволожувач; 3 – водоводяний теплообмінник зовнішнього споживача; 4 – циркуляційний насос.**

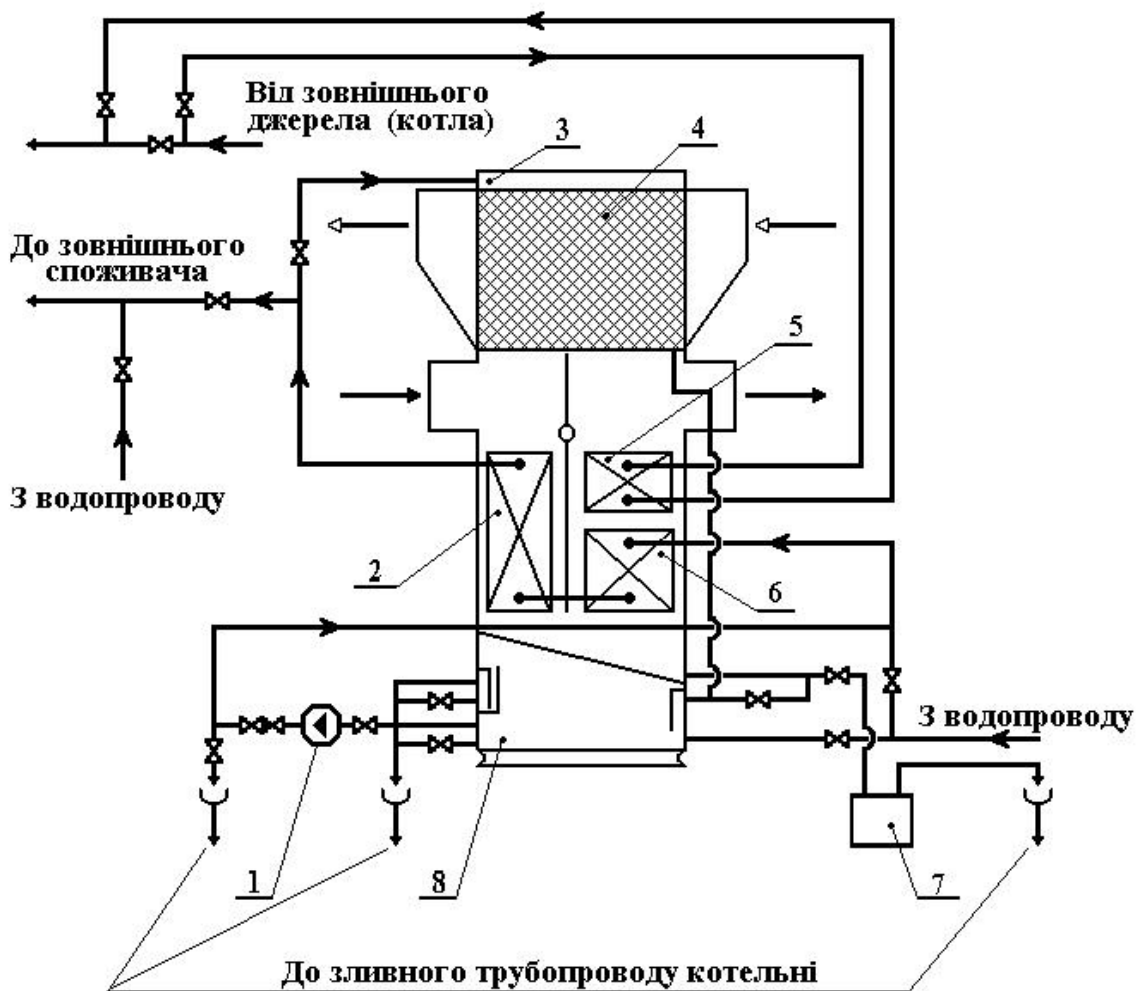
їх в газовідвідному тракті котельної установки на виході з теплоутилізатора розміщено поверхневий теплообмінник – газопідігрівач,

який підключено до контура теплоносія, що нагрівається в котлоагрегаті (рис. 2).

Заміна контактного водогрійного теплоутилізатора поверхневим забезпечує можливість вилучення з системи водоводяного теплообмінника зовнішнього споживача. В цьому випадку передбачено відгалуження від циркуляційного контура системи, через яке частина води може подаватися до зовнішнього споживача, а також патрубок для підведення води від джерел водопостачання.

Ефективність такої системи суттєво залежить від наявності і навантаження споживача

частини води, що проходить через циркуляційний контур системи. Разом з тим, система забезпечує власні потреби в теплоенергії на осушування газів на виході з теплоутилізатора за рахунок споживання енергії високопотенційного теплоносія. Цей недолік усунуто в автономній теплоутилізаційній системі завдяки вилученню зовнішнього споживання гарячої води і забезпеченню власних потреб використанням не зовнішнього високопотенційного теплоносія, а частини утилізованої теплоти. Таке удосконалення здійснено завдяки введенню в систему додаткових елементів



**Рис. 2. Принципова схема поверхнево-контактного теплоутилізаційного агрегату для підігрівання та зволоження дуттьового повітря:**

- 1 – циркуляційний насос; 2 – суха частина поверхневого водопідігрівача; 3 – водорозподільник; 4 – контактна камера повітрязволожувача; 5 – газопідігрівач; 6 – мокра частина поверхневого водопідігрівача; 7 – нейтралізатор; 8 – водозбірник.**

і відповідного їх з'єднання між собою та з існуючими елементами [4-6].

Інститутом технічної теплофізики НАН України розроблено теплоутилізаційну систему, реалізація якої у вигляді агрегатованого обладнання забезпечує зменшення висоти теплоутилізаційної установки, що досягається шляхом застосування компактного поверхневого водопідігрівача і перехреснотокowego контактного повітрозволожувача. В останньому за рахунок нагрівання циркулюючої води до більш високої температури забезпечується більш високий ступінь зволоження дуттьового повітря і відповідне зменшення утворення оксидів азоту в топковій камері котла.

На основі розробленої системи створено теплоутилізаційний агрегат ПДП-1,5 для котлів теплопродуктивністю 0,63 МВт. В корпусі агрегату розміщені поверхні теплообміну з оребрених труб (сталева основа і алюмінієве оребрення), включені у водяний циркуляційний контур, і контактна камера повітрозволожувача. Робочою насадкою повітрозволожувача є пакет з 6 блоків гофрованих ПП листів типу 12 габаритами 890×300×300 мм кожний (виготовлювач – ЗАТ „СП БРОТЕП-ЕКО”, м. Бровари Київської обл.). Загальний габарит пакета 600×890×900 мм.

Теплоутилізаційний агрегат ПДП-1,5 було введено в експлуатацію за паровим котлом Е-1,0-9Гн-2 в одній з котельень Філіалу „Житлопеленерго Київенерго”. На рис. 3 наведено принципову схему котельної установки з теплоутилізаційним агрегатом ПДП-1,5.

Новими елементами системи стали повітронагрівач і повітродогрівач. За ходом повітря повітронагрівач розміщено перед контактним повітрозволожувачем, а повітродогрівач – за останнім. Частина підігрітої в теплоутилізаторі води (до 25 %) проходить через газопідігрівач і спрямовується у повітродогрівач, з нього – у повітронагрівач і далі – у водозбірник. Основна частина підігрітої в теплоутилізаторі води подається у контактний повітрозволожувач, де відбувається підігрівання і зволоження дуттьового повітря, після чого охолоджена вода,

як і вода, що виходить з повітронагрівача, надходить до водозбірника. З водозбірника вода забирається циркуляційним насосом і подається у водогрійний теплоутилізатор, і далі цикл повторюється.

Таке рішення забезпечує:

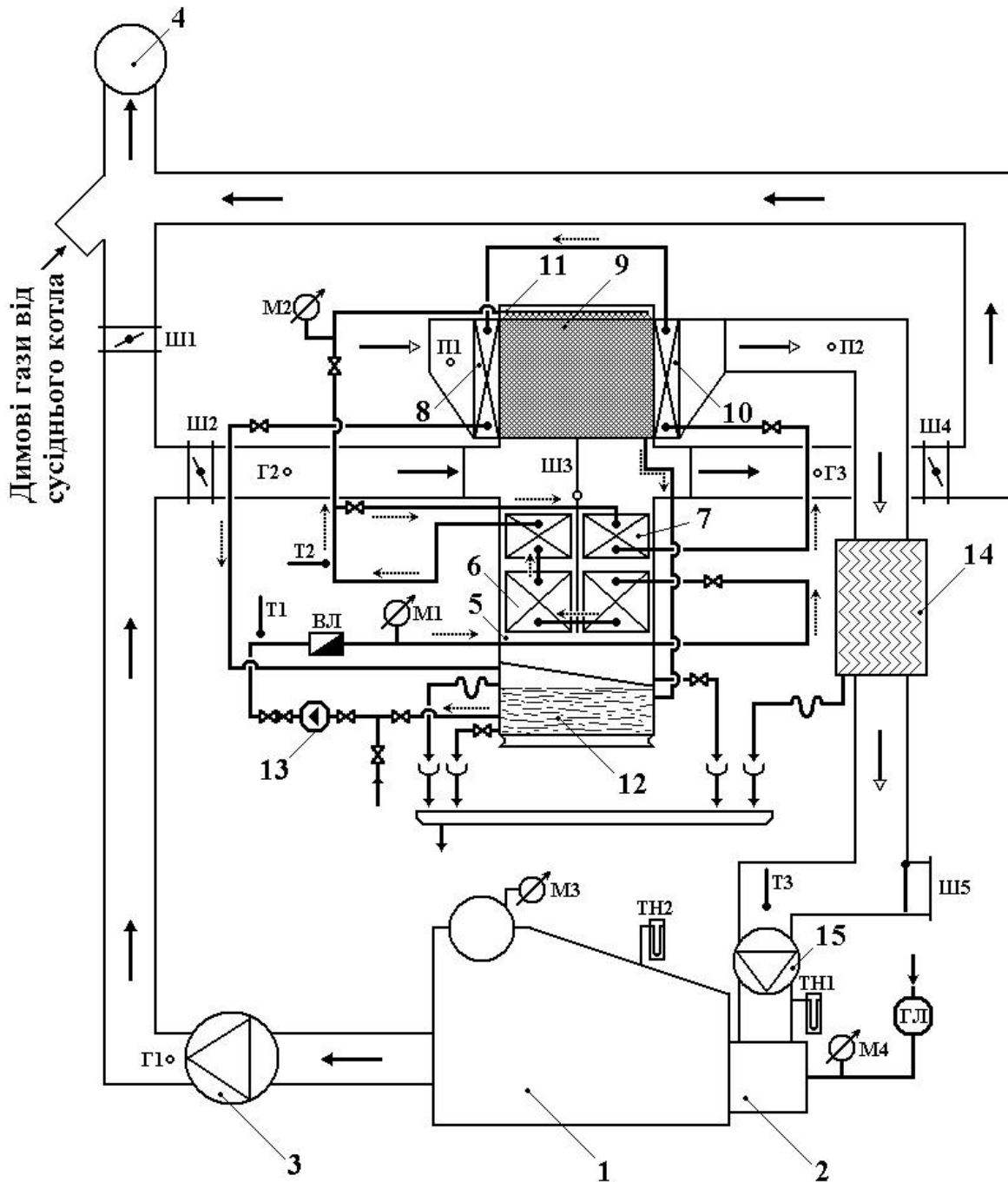
- підвищення температури повітря перед входом в контактний повітрозволожувач;
- підвищення температури зволоженого повітря після контактного повітрозволожувача.

Завдяки підвищенню температури повітря, тобто збільшенню його вологоємності перед контактним повітропідігрівачем, збільшується споживання останнім теплової енергії і підвищується екологічна ефективність котельної установки за рахунок зменшення утворення NO<sub>x</sub> в топковій камері котла. Підвищення температури повітря на виході з контактного повітрозволожувача запобігає конденсації у повітроводі, що з'єднує теплоутилізаційний агрегат і газопальниковий пристрій.

В зв'язку з наявністю в повітряному тракті установки контактного повітрозволожувача для попередження потрапляння з повітрям дисперсної вологи в пальниковий пристрій установка оснащена водоуловлювачем. В корпусі водоуловлювача типу ВУ-1,5 розміщено 2 блока з 8 профільних ПВХ елементів типу ВП-160, які поставляє ЗАТ „СП БРОТЕП-ЕКО”. Загальний габарит пакета з двох блоків 333×333×320 мм.

Випробування котельної установки з теплоутилізаційним агрегатом ПДП-1,5 проводилося в реальних умовах експлуатації котла при його навантаженні 53 % в режимі малого горіння. Результати випробувань наведені у табл. 1.

Результати випробувань котельної установки з теплоутилізаційним агрегатом підтвердили високу теплову і екологічну ефективність застосування підігріву та зволоження дуттьового повітря. Так збільшення ККД котла при роботі в режимі малого горіння становить 2,8 %, а вміст оксидів азоту в димових газах за котлом зменшується в 4,5 рази – від 41 до 9 ppm, тобто зменшення становить 78 %. При цьому визна-



**Рис. 3. Принципова схема котельної установки з теплоутилізаційним агрегатом ПДП-1,5:**  
 1 – котел; 2 – паликовий пристрій; 3 – димосос; 4 – димова труба; 5 – теплоутилізатор ПДП-1,5; 6 – теплообмінні поверхні водопідігрівача, 7 – газопідігрівач, 8 – повітрянагрівач, 9 – контактний повітрязволожувач, 10 – повітродогрівач, 11 – водорозподільник, 12 – водозбірник; 13 – циркуляційний насос теплоутилізаційної установки; 14 – водоуловлювач; 15 – вентилятор; Ш1-Ш5 – заслінки на газоходах та повітроводах; ВЛ – водяний лічильник; ГЛ – газовий лічильник; М1-М4 – манометри; Т1-Т3 – термометри; ТН1, ТН2 – тягонапороміри; Г1-Г3 – точки вимірювань параметрів відхідних газів; П1, П2 – точки вимірювань параметрів повітря.

Табл. 1. Технічні характеристики котельної установки з котлом Е-1,0-9Гн-2 і теплоутилізаційним агрегатом ПДП-1,5

Найменування параметру, розмірність	Значення
Теплопродуктивність котла, МВт	0,4
Витрата газу, м <sup>3</sup> / год ( 8342 ккал/м <sup>3</sup> )	49
Температура холодного повітря, °С	25
Вологовміст холодного повітря, кг/кг с.п.	0,014
Температура підігрітого повітря, °С	55
Вологовміст підігрітого повітря, кг/кг с.п.	0,080
Температура димових газів за котлом, °С	226
Коефіцієнт надлишку повітря за котлом	1,89
Вологовміст димових газів за котлом, кг/кг с.г.	0,164
Витрата води, що циркулює, т/год	2,05
Температура води на вході у водопідігрівач, °С	56,1
Температура води на виході з водопідігрівача, °С	82,3
Температура димових газів за агрегатом, °С	125
ККД котла без агрегату	81,6
ККД котла з агрегатом	84,4

чено заощадження палива, яке мало бути витрачене на забезпечення зволоження дуттьового повітря без застосування теплоутилізаційної системи:

$$\Delta b_{зв} = \frac{Q_{зв}}{Q_k} \cdot 100, \%,$$

де  $Q_{зв}$  – кількість теплоти, що отримує повітря на зволоження, кВт;

$Q_k$  – теплопродуктивність котла, кВт.

За результатами випробувань значення величини  $\Delta b_{зв}$  становить 13,1 %.

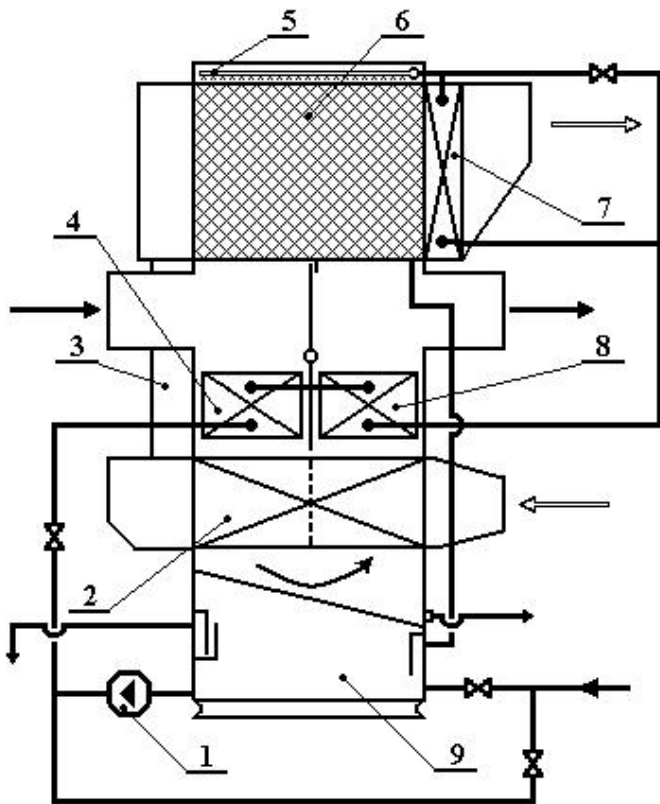
Подальшим удосконаленням теплоутилізаційної системи було виконання теплоутилізатора повітрогрійним і розміщення його в газовому тракті між водопідігрівачем і газопідігрівачем [7]. Принципова схема теплоутилізаційного агрегату з повітрогрійним теплоутилізатором наведена на рис. 4.

У водяний циркуляційний контур послідовно за ходом води включені: водозбірник, циркуляційний насос, водопідігрівач, газопідігрівач, повітродогрівач, контактний повітро-

зволожувач, водозбірник. Повітряний тракт містить послідовно розміщені за ходом повітря повітрогрійний теплоутилізатор, контактний повітрозволожувач і повітродогрівач. Оскільки в повітрозволожувач надходить підігріте повітря від теплоутилізатора, повітронагрівач вилучено з системи.

Така система забезпечує постійне охолодження димових газів холодним дуттьовим повітрям, що дозволяє понизити температуру газів перед газопідігрівачем, тобто підвищити теплову ефективність системи. При цьому за рахунок зниження температури точки роси димових газів внаслідок додаткового виділення з них конденсату зменшується втрата теплоти на власні потреби системи в газопідігрівачі та збільшується витрачання теплоти на осушування зволоженого повітря для запобігання конденсатуутворенню у повітроводі і газопальниковому пристрої котлоагрегату.

Наступним удосконаленням комплексної системи утилізації теплоти відхідних димових газів котлоагрегатів для підігрівання і зволоження дуттьового повітря стало застосування в



**Рис. 4. Принципова схема теплоутилізаційного агрегату з повітрогрійним теплоутилізатором:**  
 1 – циркуляційний насос;  
 2 – двоходовий повітрогрійний теплоутилізатор; 3 – повітровід;  
 4 – водопідігрівач; 5 – водорозподільник;  
 6 – контактна камера повітрозволожувача;  
 7 – повітродогрівач; 8 – газопідігрівач;  
 9 – водозбірник.

системі теплового насоса [8]. На рис. 5 наведена принципова схема системи.

Оснащення теплоутилізаційної установки тепловим насосом з розміщенням випарника в газоході між поверхневим повітропідігрівачем і газопідігрівачем забезпечує зниження температури димових газів і відповідне підвищення теплової ефективності системи. Включення конденсатора у водяний циркуляційний контур між повітродогрівачем і контактним повітрозволожувачем забезпечує підвищення температури води на вході в повітрозволожувач і, відповідно, температури і вологовмісту дут-

твового повітря на виході з установки, а отже і на вході в топкову камеру котлоагрегата.

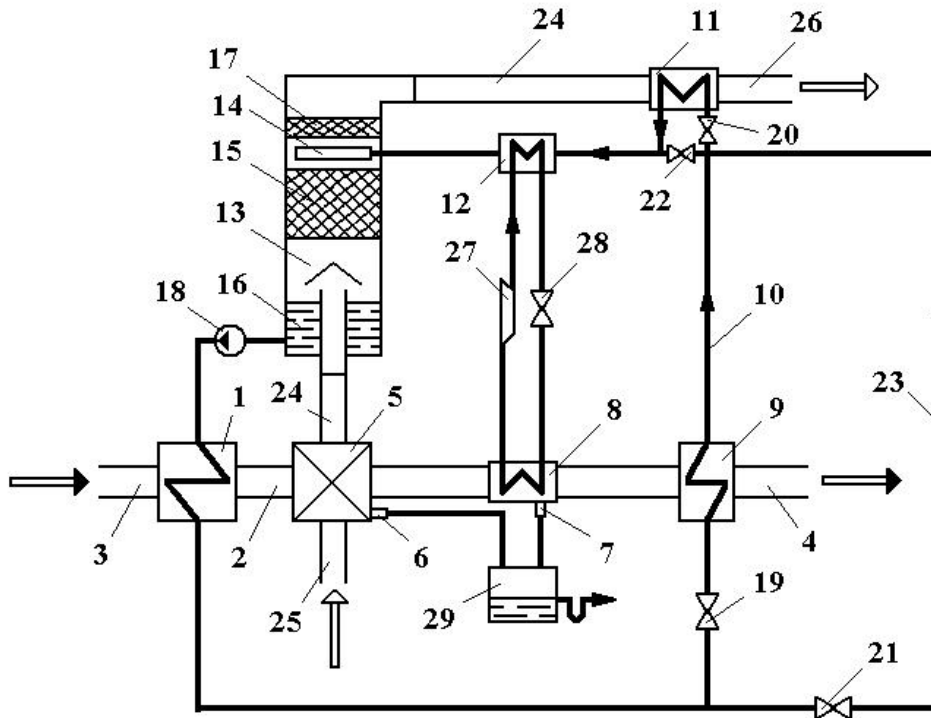
Заключним заходом з удосконалення теплоутилізаційної системи з тепловим насосом (рис. 5) було додаткове оснащення останнього охолоджувачем конденсату робочої речовини і розміщення його в повітрогрійному тракті котельної установки між поверхневим повітропідігрівачем і контактним повітрозволожувачем. Завдяки цьому досягається додатковий підігрів повітря перед його надходженням до повітрозволожувача, що забезпечує підвищення температури і вологовмісту зволоженого повітря та відповідне зменшення викидів оксидів азоту в атмосферу. Застосування такої системи за результатами розрахунків забезпечує збільшення ККД котельної установки на 2,5...3,0 % і зменшення вмісту оксидів азоту в димових газах на 80...85 %, та заощадження палива на зволоження 11...12 %.

Тим не менше, в котельнях з водогрійними котлами така ефективність може бути підвищена шляхом додаткового включення в циркуляційний контур теплового насоса водогрійного охолоджувача конденсату робочої речовини, в якому здійснюється підігрівання зворотної тепломережної води перед надходженням її до котлоагрегату (рис. 6).

Таким чином, в комплексну теплоутилізаційну систему котельної установки включається додатковий внутрішній споживач теплової енергії, що виробляється тепловим насосом за рахунок більш повного використання теплового потенціалу відхідних димових газів. При застосуванні такої системи забезпечується збільшення ККД котельної установки на 8...10 %.

### Висновки

Аналіз конструкційних властивостей та ефективності розглянутих комплексних систем утилізації теплоти відхідних газів водогрійних котлоагрегатів для підігрівання та зволоження дуттвового повітря показав, що найбільш ефективною є двоцільова теплоутилізаційна система з тепловим насосом, в якій, крім підігрі-



**Рис. 5. Принципова схема комплексної системи утилізації теплоти відхідних газів котлоагрегату для підігрівання і зволоження дуттьового повітря з тепловим насосом**  
**1 – поверхневий теплоутилізатор – водопідігрівач; 2 – газохід; 3,4 – патрубки відповідно входу і виходу димових газів; 5 – поверхневий повітропідігрівач; 6,7 – патрубки відведення водяного конденсату; 8 – випарник; 9 – газопідігрівач; 10 – основний контур циркуляції води; 11 – повітродогрівач; 12 – конденсатор; 13 – контактний повітрозволожувач; 14 – зрошувач; 15 – насадковий пакет; 16 – водозбірник; 17 – бризкоуловлювач; 18 – циркуляційний насос; 19 – 22 – регулювальні вентиля; 23 – байпасний трубопровід; 24 – повітровід; 25,26 – патрубки відповідно входу і виходу повітря; 27 – компресор; 28 – дросельний клапан; 29 – конденсатозбірник.**

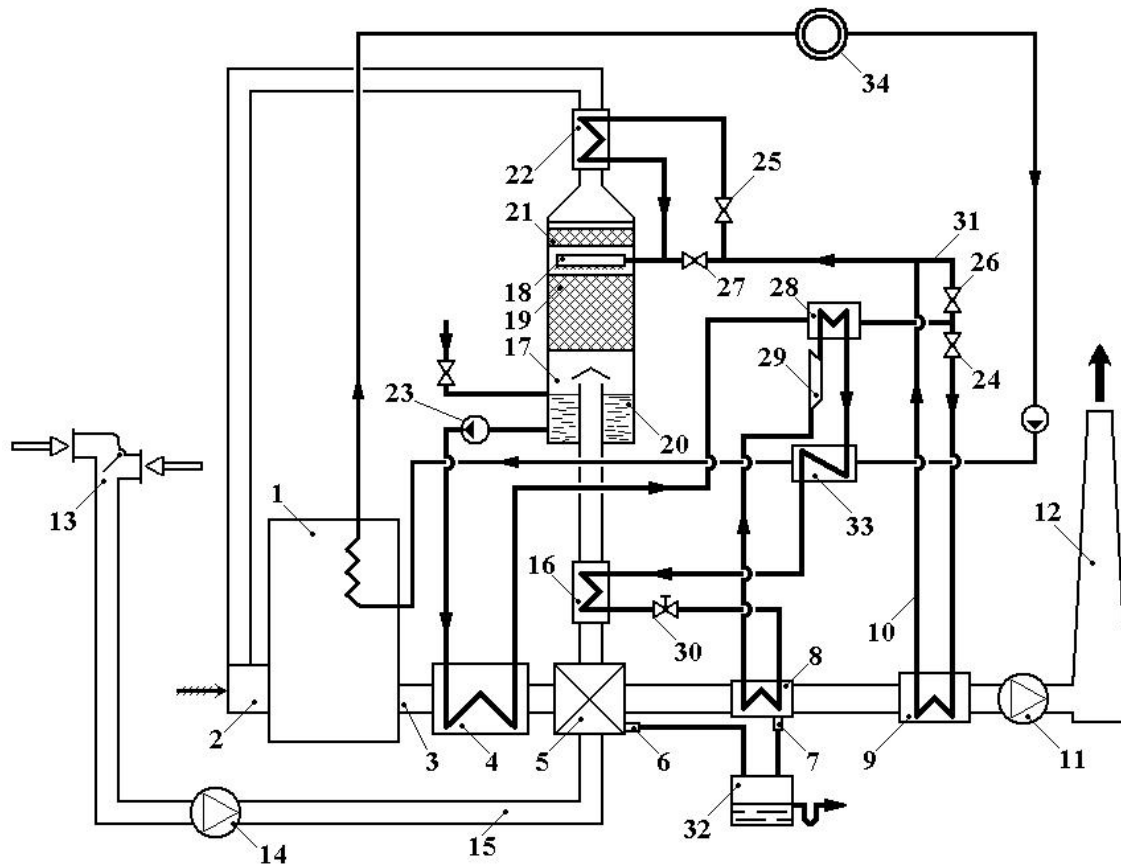
вання і зволоження дуттьового повітря, здійснюється підігрівання зворотної тепломережної води перед надходженням її до котлоагрегату.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Фіалко Н.М., Пресіч Г.О., Навродська Р.О, Сингаєвська С.І. Технологічна схема котельної установки з підігріванням і зволоженням дуттьового повітря // Матеріали науково-практичної конференції «Мала енергетика: шляхи та перспективи розвитку і безпеки навколишнього середовища». – Київ, 1999, 17-19 травня. – С. 51-52.  
 2. Фіалко Н.М., Пресіч Г.А., Навродская Р.А.

Поверхностно-контактная теплоутилизационная установка для газопотребляющих котлов // Сб. материалов международной научно-практической конференции «Региональные проблемы энергосбережения в децентрализованной теплоэнергетике. – Киев, 2000, 23-26 октября. – С. 141-143.

3. Пат. 45766 Україна, МПК F28C 3/06. Теплоутилізатор / Пресіч Г.О., Фіалко Н.М., Навродська Р.О. // Бюл. 2004, №8.  
 4. Фіалко Н.М., Пресіч Г.О., Навродська Р.О, Гнедаш Г.О. Автономна теплоутилізаційна система підвищеної теплопродуктивності для газозоспоживаючих котлів // Пром. теплотехника. – 2003, т. 24, № 4 –С. 74-76.



**Рис. 6. Принципова схема удосконаленої комплексної системи з тепловим насосом:**  
 1 – котлоагрегат; 2 – газопальниковий пристрій; 3 – газохід; 4 – поверхневий теплоутилізатор-водопідігрівач; 5 – поверхневий повітронідігрівач; 6, 7 – патрубки відведення водяного конденсату; 8 – випарник; 9 – газопідігрівач; 10 – трубопровід основного контура циркуляції води; 11 – димосос; 12 – димова труба; 13 – повітрозабірний короб; 14 – вентилятор; 15 – повітровід; 16 – повітрогрійний охолоджувач конденсату робочої речовини; 17 – контактний повітрозволожувач; 18 – зрошувач; 19 – насадковий пакет; 20 – водозбірник; 21 – бризкоуловлювач; 22 – повітродогрівач; 23 – циркуляційний насос; 24-27 – регулювальні вентилялі; 28 – конденсатор; 29 – компресор; 30 – дросельний клапан; 31 – байпасний трубопровід; 32 – конденсатозбірник; 33 – водогрійний охолоджувач конденсату робочої речовини; 34 – споживач теплової енергії.

5. Пат. 56591 Україна, МПК F28C 3/06. Теплоутилізатор / Пресіч Г.О., Фіалко Н.М., Навродська Р.О. // Бюл. 2005, № 7.

6. Фіалко Н.М., Пресіч Г.О., Навродська Р.О., Гнедаш Г.О. Екологічно ефективний теплоутилізатор – підігрівач дуттьового повітря // Матеріали ХІХ міжнародної конференції «Проблеми екології и експлуатації об'єктів енергетики». – Ялта, 2009, 8-12 июня. – С. 149-151.

7. Пат. 78177 Україна, МПК F28C 3/06. Теплоутилізатор / Пресіч Г.О., Фіалко Н.М., Навродська Р.О. // Бюл. 2007, № 2.

8. Пат. 90381 Україна, МПК F24H 4/00. Теплоутилізаційна установка / Пресіч Г.О., Фіалко Н.М., Навродська Р.О. // Бюл. 2010, № 8.

Получено 06.09.2011 г.