

УДК 62-97/-98

д.т.н., проф. Пуховий І.І.,
к.т.н., доц. Барабаш П.О., Барабаш В. П.
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛА ВІДХІДНИХ ГАЗІВ КОНДЕНСАЦІЙНОГО КОТЛА В КОМПЛЕКСІ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Запропонована схема використання тепла відхідних газів конденсаційного котла у теплообміннику і тепловому насосі та проведений її розрахунок при різних температурах навколишнього повітря і зміні норми витрати гарячої води для потреб гарячого водопостачання. Проведено розрахунок економії природного газу при застосуванні даної схеми.

Ключові слова: Конденсаційний котел, тепловий насос, утилізація тепла, гаряче водопостачання, опалення.

Актуальність теми. Конденсаційні котли відносяться до класу нагрівальних апаратів, в яких використовується прихована теплота конденсації водяної пари, яка утворилася при згоранні природного газу. Конденсаційні котли бувають поверхневого, контактного та контактено-поверхневого типів. Для досягнення максимальної ефективності роботи конденсаційного котла, температура відхідних газів останнього повинна бути якомога меншою від температури точки роси продуктів згорання [1].

Відомо багато схем утилізації тепла відхідних газів теплогенеруючого обладнання, які успішно використовуються вже багато років [2]. Для утилізації тепла відхідних газів використовують теплообмінники поверхневого, або контактеного типів, в яких димові гази охолоджуються до температури нижче температури точки роси продуктів згорання палива, за рахунок чого підвищується коефіцієнт корисної дії установки (ККД). Теплота димових газів може бути відведена до холодної води системи гарячого водопостачання (ГВП), або інших технологічних потреб.

Також, відомі схеми для підвищення ефективності роботи водогрійних котлів з використанням теплонасосних установок. В [4] наведено схему, де частина димових газів від водогрійного котла з температурою 130°C надходить в контактний економайзер, в якому контактує з охолоджуючою водою. В результаті охолодження димових газів та за рахунок теплоти конденсації водяної пари, яка утворилася в димових газах під час згорання палива, охолоджена вода підігрівається до 50°C. Охолоджені до 65°C димові гази після контактеного економайзера відводяться в димову трубу. Нагріта в контактеному економайзері вода насосом перекачується через випарник теплонасосної

установки, де охолоджується до $30 \div 35$ °С і подається до контактного економайзера. Підігріта в конденсаторі теплонасосної установки мережна вода подається в систему тепlopостачання.

Конденсаційні котли також відносяться до енергозберігаючих технологій і мають досить високий коефіцієнт корисної дії в порівнянні з звичайними котлами, але при низьких температурах навколишнього повітря, коли в системах опалення піднімають температуру отриманого теплоносія, температура зворотної води може бути суттєво вищою за температуру точки роси продуктів згорання природного газу, що в свою чергу призводить до збільшення температури відхідних газів. Із збільшенням температури останніх вище температури точки роси, ефективність конденсаційного котла поверхневого типу стає майже на рівні зі звичайним жаротрубним котлом, а ефективність роботи контактного чи контактно-поверхневого котла взагалі стає низькою за рахунок випаровування води в контактній камері останнього [6]. Тобто, утилізація теплоти відхідних газів конденсаційних котлів при низьких температурах навколишнього повітря є досить актуальною задачею.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності роботи конденсаційного котла. Задачею дослідження є розрахунок запропонованої схеми утилізації теплоти відхідних газів котла в теплообміннику і у випарнику теплового насосу (ТН) та визначення оптимальних умов роботи системи утилізації димових газів.

Схема підвищення ефективності роботи конденсаційного котла.

Конденсаційний котел забезпечує потреби опалення та гарячого водopостачання. Теплова схема представлена на рис.1. Зворотна мережна вода з системи опалення по трубопроводу Т2 надходить в конденсаційний котел 1. В останньому вона нагрівається до необхідної температури, та за допомогою мереженого насосу 8 потрапляє в систему опалення, частина води надходить в теплообмінник 7 другого ступеня ГВП. Відхідні димові гази конденсаційного котла з температурою 68 °С (при максимальній потужності котла та при температурі навколишнього повітря близько мінус 25 °С) потрапляють в теплообмінник 2 першого ступеня ГВП, де охолоджуються орієнтовно до температури 30 °С і далі надходять в випарник 4 теплового насосу 3, на виході з якого остаточно температура падає до температури близької до 0 °С і відводяться в димову трубу. За рахунок охолодження димових газів нижче температури точки роси, відбувається конденсація майже всієї водяної пари, яка утворилася при згоранні природного газу. Завдяки цьому коефіцієнт корисної дії системи значно зростає.

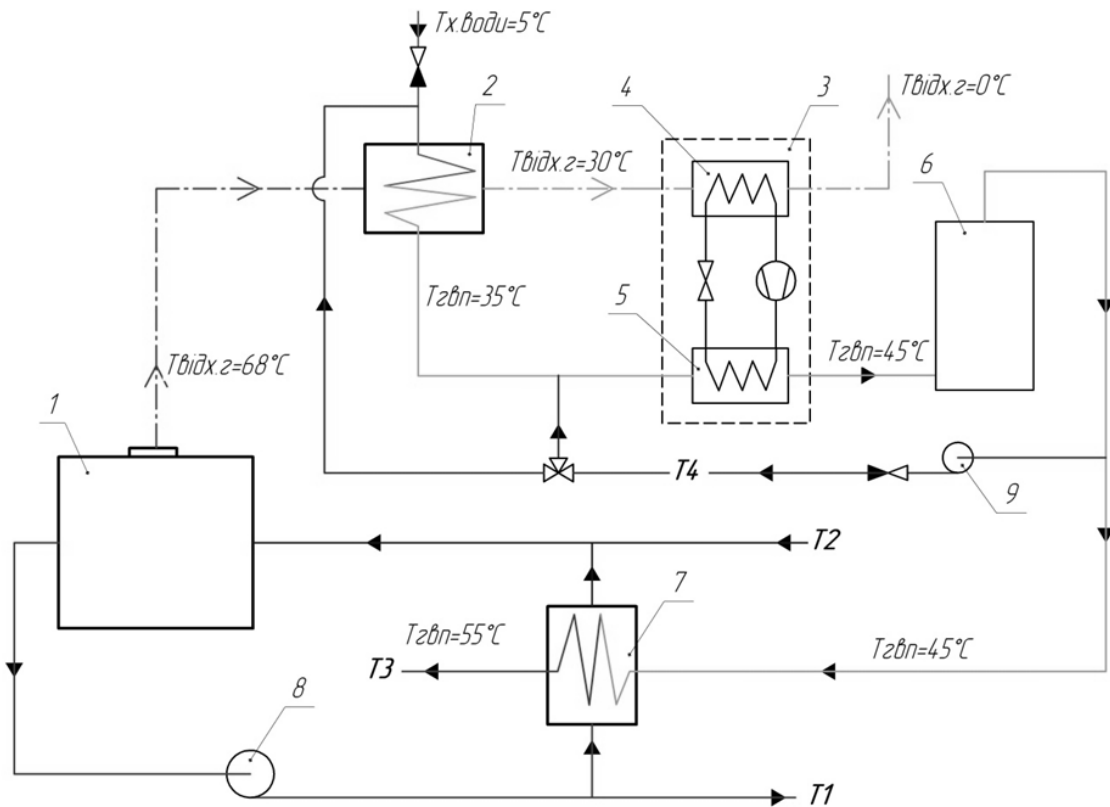


Рис. 1 – Схема утилізації тепла відхідних газів конденсаційного котла:

1 - конденсаційний котел; 2-теплообмінник першого ступеня ГВП; 3-тепловий насос; 4-випарник теплового насосу; 5-конденсатор теплового насосу; 6- бак акумулятор ГВП; 7-теплообмінник другого ступеня ГВП; 8-мережевий насос; 9-насос рециркуляції ГВП; T1-прямий трубопровід опалення; T2-зворотний трубопровід опалення; T3 – трубопровід гарячої води ГВП; T4 – рециркуляційний трубопровід ГВП.

Холодна вода системи ГВП з температурою 5°C поступає в теплообмінник 2 першого ступеня ГВП, де нагрівається до температури 35°C , далі вода надходить в конденсатор теплового насосу 5, де догрівається до температури 45°C , яка достатня для всіх потреб побутових споживачів. При необхідності вода може бути догріта до більш високої температури в теплообміннику 7 другого ступеня ГВП до 55°C .

В системі передбачено бак акумулятор 6 системи ГВП, та рециркуляційний насос 9, який забезпечує циркуляцію води ГВП через теплообмінник 2, конденсатор 5 та бак акумулятор ГВП 6.

Матеріал дослідження. Для розрахунку теплової схеми було прийнято, що вона забезпечує потреби опалення та ГВП будинку чи квартири площею 100 м^2 , в якому проживає 3 людини. При збільшенні площі і кількості жителів достатньо це врахувати простим множенням.

Розрахунки теплової схеми проводились в діапазоні температур навколишнього повітря від мінус 25 до $+5^{\circ}\text{C}$ при температурному графіку

системи опалення 80/60 °С. Опалювальну характеристику будівлі прийняли $q_v=0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^3\text{°С})$ [3]. Норму витрати гарячої води g на одного мешканця змінювали від 25 до 125 л/добу [3].

В результаті розрахунків було визначено: теплові втрати будинку $Q_{\text{оп}}$ [3]; витрату теплоти на гаряче водопостачання, $Q_{\text{ГВП}}$ [3]; потужність конденсаційного котла $Q_{\text{к}}=Q_{\text{оп}}+Q_{\text{ГВП}}$ при розрахунковій температурі довкілля мінус 25 °С; ККД конденсаційного котла за зворотним балансом [1]; потужності теплообмінника першого ступеня ГВП $Q_{\text{ГВП1}}$ [7]; потужність конденсатора ТН $Q_{\text{ТН}}$, та електричну потужність компресора [5]; потужність системи утилізації $Q_{\text{ут}} = Q_{\text{ГВП1}} + Q_{\text{ТН}}$; витрати газу на котел без схеми утилізації відхідних газів (немає теплообмінника ГВП першого ступеня та теплового насосу), та зі схемою утилізації.

Результати розрахунку теплової схеми. Результати розрахунків теплової схеми представлені на рис. 2 і 3.

На осі абсцис показана температура навколишнього повітря °С, а на осі ординат показано відношення потужностей ($Q_{\text{ГВП}}$, $Q_{\text{ут}}$, $Q_{\text{ГВП1}}$, $Q_{\text{ТН}}$) до потужності котла $Q_{\text{к}}$ у відсотках.

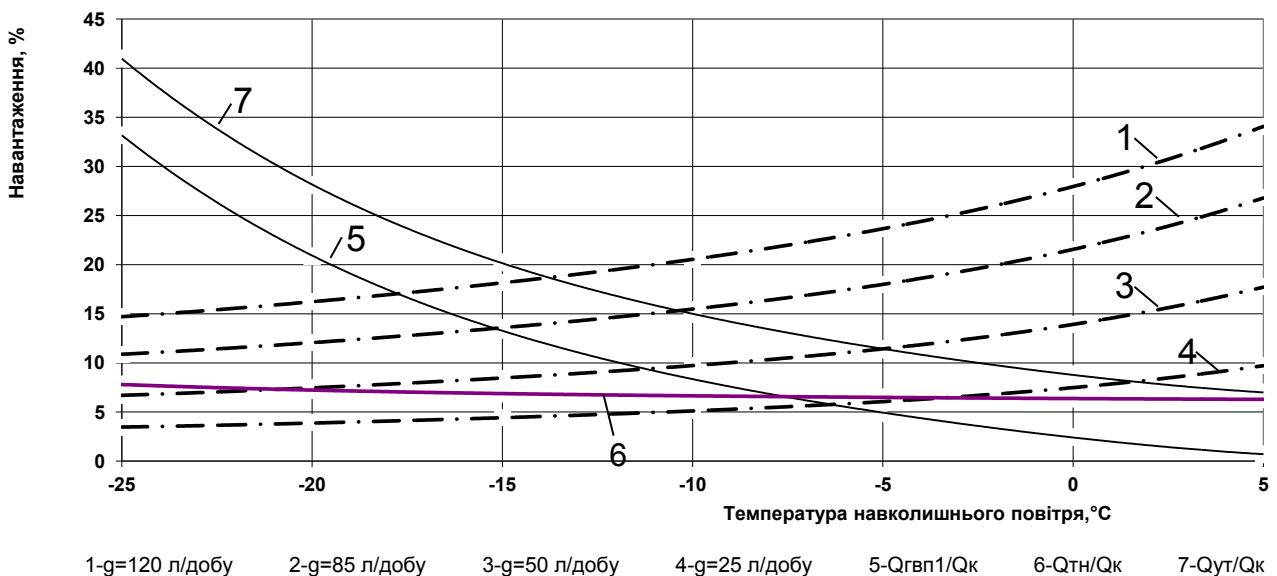


Рис. 2 - Залежність ($Q_{\text{ГВП}}$, $Q_{\text{ут}}$, $Q_{\text{ГВП1}}$, $Q_{\text{ТН}}$) віднесена до $Q_{\text{к}}$ від температури навколишнього повітря при $q_v=0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^3\text{°С})$ і при нормі витрати гарячої води на людину від $g=120$ до 25 л/добу.

З рис. 2 видно, що при нормі витрати гарячої води на людину $g=120$ л/добу (лінія 1) – теплообмінник відхідних газів першого ступеня ГВП та тепловий насос (лінія 7) можуть забезпечити навантаження ГВП тільки в діапазоні температур навколишнього повітря від мінус 25 до мінус 14 °С. При $g=25$ л/добу (лінія 4) – навантаження ГВП може бути забезпечено майже у всьому діапазоні температур навколишнього повітря в опалювальний сезон.

Потужності одного теплообмінника відхідних газів першого ступеня ГВП (без ТН) – лінія 5, або теплового насоса (без теплообмінника) – лінія 6, недостатньо для забезпечення навантаження на ГВП, тому їх поєднання дає бажаний результат.

При температурі навколишнього повітря нижче мінус 8°C (рис. 2) – теплообмінник відхідних газів першого ступеня ГВП працює ефективніше теплового насоса (забезпечує більше потужності). Однак при температурі атмосфери більшій мінус 8 °C тепловий насос стає більш ефективний ніж теплообмінник відхідних газів, потужність останнього при цьому значно знижується (лінія 5), а потужність теплового насоса (лінія 6) залишається майже незмінною у всьому діапазоні температур довкілля.

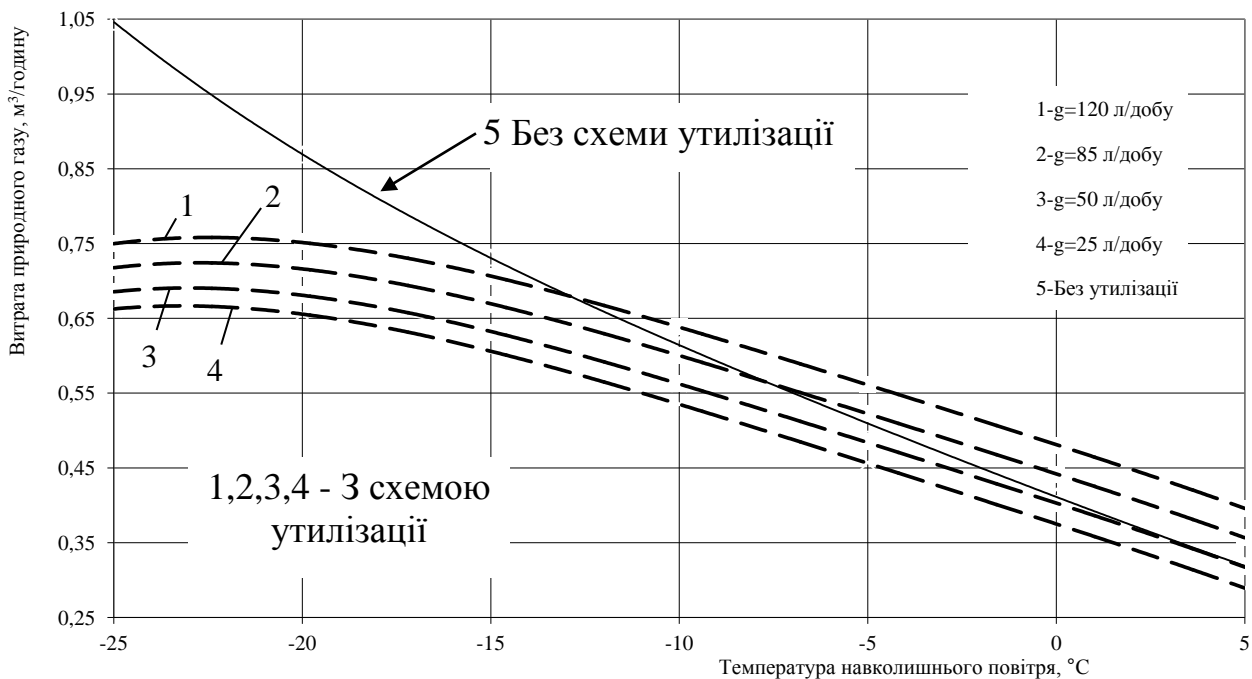


Рис. 3 – Залежність витрати природного газу конденсаційного котла без утилізації відхідних газів та з утилізацією від температури навколишнього повітря при нормі витрати гарячої води на людину від $g=120$ до 25 л/добу.

З рис. 3 видно, що при нормі витрати гарячої води на людину $g=120$ л/добу (лінія 1) система утилізації тепла відхідних газів з теплообмінником першого ступеня ГВП та тепловим насосом споживає менше природного газу в порівнянні з конденсаційним котлом без схеми утилізації в діапазоні температур навколишнього повітря від мінус 25 до мінус 15 °C, що дуже важливо в піковий період опалення, коли газу не вистачає і падає тиск газу в магістралях через велике споживання. При нормі витрати гарячої води на людину $g=25$ л/добу (лінія 4) – конденсаційний котел з системою утилізації тепла відхідних газів споживає менше природного газу в порівнянні з конденсаційним котлом без

схеми утилізації у всьому діапазоні температур довкілля в опалювальний період.

Така схема дозволяє влітку використовувати тепловий насос на атмосферному повітрі для системи ГВП самостійно або як резервне джерело для сонячної системи гарячого водопостачання.

Висновки:

1. За заданих питомих теплових втрат будівлі 0,5 Вт на куб. м. при великій нормі витрати гарячої води на людину до 120 л/добу розглянута схема утилізації здатна забезпечити навантаження ГВП тільки в діапазоні температур навколишнього повітря від мінус 25 до мінус 14°C. При зменшені норми витрати гарячої води теплообмінник відхідних газів та тепловий насос забезпечують навантаження ГВП при більш високих температурах довкілля характерних для початку і закінчення опалювального сезону.

2. При застосуванні тільки одного теплообмінника відхідних газів, або тільки теплового насоса, утилізація тепла відхідних газів стає не ефективною, бо забезпечити навантаження ГВП можливо тільки при низьких температурах довкілля.

3. При температурі навколишнього повітря нижчих мінус 8°C теплообмінник відхідних газів має більшу теплову потужність чим тепловий насос, а при температурі навколишнього повітря вище мінус 8°C тепловий насос може забезпечити більше потужності ніж теплообмінник.

4. При зменшені норми витрати гарячої води на людину, конденсаційний котел з системою утилізації тепла відхідних газів споживає менше природного газу в порівнянні з конденсаційним котлом без схеми утилізації майже у всьому діапазоні температур навколишнього повітря в період опалювального сезону.

5. Конденсаційний котел з системою утилізації теплоти теплообмінником і тепловим насосом слід використовувати для теплопостачання лише в період опалювального сезону, а влітку ГВП може забезпечувати тепловий насос, використовуючи у випарнику теплоту атмосферного теплого повітря як самостійно, так і в комплексі з рідинними сонячними колекторами.

Перелік використаних джерел

1. Соснин Ю.П. Газовые контактные водонагреватели (пособие по расчету и проектированию). - М.: Стройиздат, 1967. - 268 с., ил.
2. Аронов И.З. Использование тепла уходящих газов газифицированных котельных – М.: Энергия, 1967. – 192 с.
3. О.М. Алабовський, М.Ф. Боженко, Ю.В. Хоренженко. Проектування котелень промислових підприємств. – К.: Вища шк., 1992.-207 с.:іл.

4. М.Н. Чепурной, С.И. Ткаченко, О.В. Куцак. // Повышение эффективности работы отопительных котельных при помощи контактных утилизаторов теплоты отходящих газов и теплонасосных установок/ Наукові праці ВНТУ, 2010, №2.

5. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. – М. : Энергоиздат, 1982. – 224 с.

6. Ткаченко С.Г., Пуховий І.І., Барабаш П.О., Барабаш В.П. Дослідження контактної – поверхневого водонагрівача при пікових режимах.// Вентиляція, освітлення та тепло газо постачання, науково – технічний збірник. –2012 р. №16.

7. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Под ред. Н. В. Кузнецова и др. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.

Аннотация

В статье представлена схема использования тепла отходящих газов конденсационного котла в теплообменнике и тепловом насосе и произведен ее расчет при разных температурах наружного воздуха и изменении нормы расхода горячей воды для нужд горячего водоснабжения. Произведен расчет экономии природного газа при использовании данной схемы.

Ключевые слова: Конденсационный котел, тепловой насос, утилизация теплоты, горячее водоснабжение, отопление.

Annotation

The paper presents a scheme for using waste heat boiler in condensing heat exchanger and heat pump and its calculation is made at different ambient temperatures, and the modification of the flow of hot water for domestic hot water. Calculated the cost of natural gas using the scheme.

Keywords: condensing boiler, heat pump, heat recovery, hot water and heating.