ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 658.264

Дослідження роботи газового водогрійного котла у ситемі комбінованого теплопостачання об'єктів житлового комунального сектору

В.І. Шевчук[1]✉, Г.В. Лужанська[2], В.В. Чиченін[3], О. О. Паламарчук[4], П.О. Шилов[5]
[1-5]Національний університет «Одеська політехніка», просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна
✉ e-mail: [1]v_i_shevchuk@ukr.net
ORCID: [1]http://orcid.org/0009-0005-6537-1704; [2]https://orcid.org/0000-0002-3784-5926; [3]https://orcid.org/0000-0001-7772-7142; [4]https://orcid.org/0009-0003-7886-0692; [5]https://orcid.org/0009-0007-7400-701X

Одним із можливих шляхів зниження навантаження та реконструкції систем теплопостачання є застосування комбінованого теплопостачання з використанням альтернативних джерел енергії (сонячних колекторів, теплових насосів). При цьому головним елементом такої системи, який працює в піковий годинник найбільшого теплоспоживання, є котел. На сьогоднішній день широко застосовують водогрійні опалювальні котли, які використовують газове паливо. У вітчизняній та зарубіжній науково-технічній літературі зустрічаються публікації та наведена інформація за результатами випробувань парових та водогрійних котлів. Однак неповні дані, що наводяться в цих джерелах, за результатами випробувань котельних установок не дозволяють оцінити їх коректність. У статті авторами наведена принципова схема випробувань водогрійного котла Viessmann VITOPEND 100-W та представлена методика теплового розрахунку. Цей газовий турбірований котел відноситься до двоконтурних котлів малої потужності. Його теплова потужність складає 24 кВт. Експериментальні випробування проводять при сталому, тобто стаціонарному режимі роботи водогрійного котла. Основною метою дослідження є аналіз ефективності застосування газового котла при різних режимах роботи у системі комбінованого теплопостачання з альтернативними джерелами енергії. Визначення ентальпії продуктів згоряння відбувалось при різних значеннях коефіцієнта витрати (надлишка) повітря. Для визначення коефіцієнта надлишку повітря використовувалися різноманітні формули: вуглекислотна, киснева та азотна. Аналізуючи отримані в результаті виконаного дослідження результати, найточнішою є «азотна» формула для неповного згоряння газового палива. Отриманий результат визначення коефіцієнта корисної дії газовго турбірованого котла VITOPEND 100-W відповідає паспортним даним 90…93,1 % заводу-виробника фірми Viessmann (Німеччина) при номінальному тепловому навантаженні на комбіновану систему теплопостачання з використанням альтернативніх джерел енергії.
Ключові слова: *Газовий водогрійний котел; Комбінована система теплопостачання; Коефіцієнт корисної дії*

doi: https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3334

© The Author(s) 2025. This article is an open access publication
This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

1. Вступ

Питання енергозбереження у всьому світі, особливо зараз, коли як ніколи відчувається криза паливно-енергетичних ресурсів, особливо актуальні. Основними споживачами теплової енергії в Україні є системи теплопостачання, які досить часто вимагають ремонту та модернізації. Одним із можливих шляхів зниження навантаження та реконструкції систем теплопостачання є застосування комбінованого теплопостачання з використанням альтернативних джерел енергії (сонячних колек-

торів, теплових насосів). При цьому головним елементом такої системи, який працює в піковий годинник найбільшого теплоспоживання, є котел. На сьогоднішній день широко застосовують водогрійні опалювальні котли, які використовують газове паливо.

У вітчизняній [1-3] та зарубіжній науково-технічній літературі [4-8] зустрічаються публікації та наведена інформація за результатами випробувань парових та водогрійних котлів. Однак неповні дані, що наводяться в цих джерелах, за результатами випробувань котельних установок не дозволяють оцінити їх коректність.

Водогрійні котли класифікуються за групами відповідно до певних діапазонів потужностей-малої потужності, середньої та великої.

Котли малої потужності характеризуються найнижчими експлуатаційними вимогами. Це означає, що проектуючи систему комбінованого теплопостачання з котлом такого типу, відпадає необхідність передбачати додатковий захист від занадто великого зниження температури води в котлі. Так, наприклад, котли малої потужності фірми Viessmann, незалежно від виду палива (природний газ, рідке паливо), мають однакову нижню межу температури. Враховуючи невисоку ймовірність виникнення конденсації в котлах цього типу, роботу із системами невеликого водяного об'єму та низькі вимоги до захисту за мінімальною температурою котлової води, цілком достатньо здійснювати захист котла лише за рахунок роботи пальника [9]

Основною метою дослідження є аналіз ефективності застосування газового котла Viessmann VITOPEND 100-W при різних режимах роботи у системі комбінованого теплопостачання з альтернативними джерелами енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

– проаналізувати конструкцію газового котла VITOPEND 100-W;

– визначити ефективність робобти газового котла при визначенні коефіцієнту витрати повітря різними засобами;

– дослідити ККД котла за прямим та зворотним балансом, порівняти з паспортими значеннями при номінальному навантаженні котельного агрегату.

2. Матеріали та методи досліджень

Котел турбований газовий Vitopend 100-W – це настінний теплогенератор з двома контурами, призначеними для нагріву теплоносія для системи опалення та гарячого водопостачання, номінальної потужності 24 кВт. Котел з повною автоматизацією всіх процесів. Розріз водогрійного котла (ВК) Vitopend 100-W наведений на рис. 1.

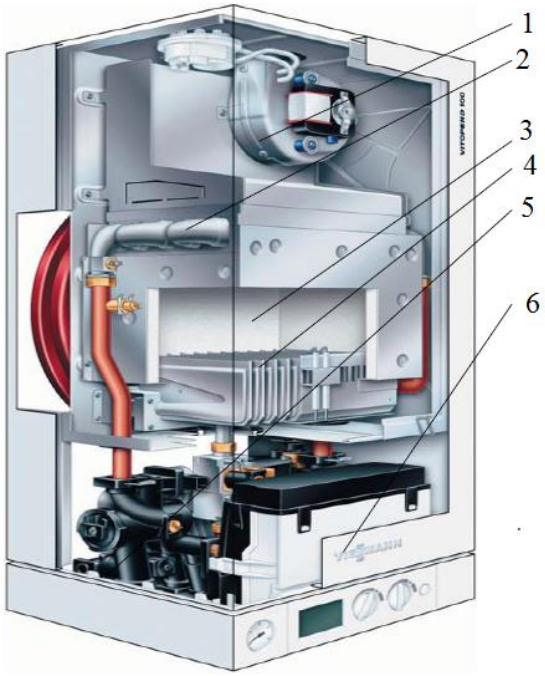

Рисунок 1 *– Розріз водогрійного котла VITOPEND 100-W: 1 – Вентилятори зі зниженим рівнем шуму; 2 – Високоефективний основний теплообмінник; 3 – Велика камера згоряння; 4 – Модульований пальник; 5 – Гідравлічна система Aqua-Block з мультиштекерними з'єднаннями Multi-Stecksystem; 6 – Регулятор із рідкокристалічним дисплеєм для режиму роботи з забором повітря для згоряння ззовні («турбо»).*

У котел Vitopend 100-W вбудована автоматика, що дозволяє керувати котлом в режимі роботи з постійною температурою подачі. Також котел оснащений інтегрованою функцією захисту від замерзання і системою діагностики, яка за допомогою кодів на РК-моніторі інформує про робочий і сервісний режими роботи котла, а також про аварійний режим роботи [10].

Принципова схема випробувань водогрійного котла VITOPEND 100-W наведена на рис. 2. Експериментальні випробування проводять при сталому, тобто стаціонарному режимі роботи водогрійного котла. Для цього котел виводять на певне навантаження, наприклад номінальну потужність, і витримують на цій навантаженні 10 хвилин, стежачи за показаннями КВП і А.

За допомогою лічильника, встановленого на

трубопроводі подачі води в котел здійснюють вимірювання витрати води через котел.

Вимірювання температури води на вході *t'* та виході з котла *t''* виконують за допомогою термометрів, встановлених за місцем – на трубопроводах води. Там же встановлені манометри для визначення надлишкового тиску води в трубопроводах.

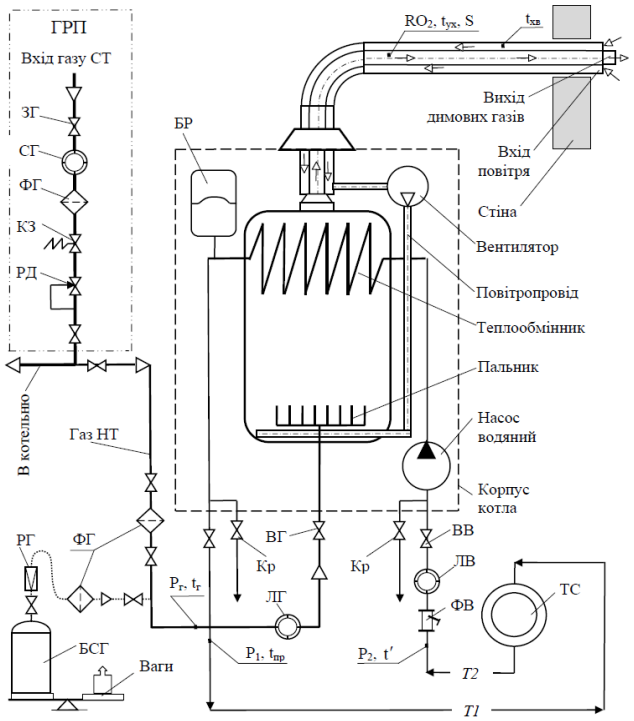

Рисунок 2 *– Принципова схема котельні установки з ВК VITOPEND 100-W: ГРП – газорегулюючий пункт; ЗГ – засувка газова; ЛГ – лічильник газовий; ФГ – фільтр газовий; КЗ – клапан запобіжний; РД – регулятор тиску газу; ТС – тепловий споживач; БСГ – балон скрапленого газу; РГ – редуктор газовий; ЛВ – лічильник водяний; ВВ – вентиль водяний; Кр – кран зливний; ФВ – фільтр водяний; $P_г$, $t_г$ – тиск і температура газу; P_1, $t_{пр}$ - вимірювання тиску і температури гарячої води на виході з котла; RO_2, $t_{вих}$, S – склад продуктів згоряння, температура відхідних газів і розрядження за котлом; P_2, t' – вимірювання тиску і температури води на вході в котел; $t_{хп}$ – точка вимірювання температури холодного повітря; T_1, T_2 – загальноприйняте позначення трубопроводів прямої та зворотної води*

Для визначення об'ємної витрати газового палива V необхідно знати який газ спалюють в котлі. При використанні балонного скрапленого газу можливе вимірювання витрати по лічильнику з перерахунком об'єму на нормальні умови, або визначають масову витрату при безпосередньому зважуванні балона з газом на початку і в кінці випробувань. При спалюванні природного газу об'ємну витрату визначають за допомогою лічильника газу з перерахунком на нормальні умови.

Визначення вмісту продуктів повного згоряння RO_2 і O_2 в складі газів на виході з котла здійснюють за допомогою газоаналізатора типу ГХП-3М, а горючих газів CO, H_2, CH_4 – за допомогою хроматографічних газоаналізаторів. Використовуючи дані газового аналізу розраховують коефіцієнт витрати (надлишку) повітря α.

Склад газового палива, що згоряє в ході виконанного дослідження у котлі VITOPEND 100-W наведено у таблиці 1.

Теоретично необхідний обсяг повітря для спалювання природного газу:

$$V^o = 0{,}0476\,[\sum(m + 0{,}25\cdot n)\cdot C_mH_n^п + 0{,}5(CO^п + H_2^п) + + 1{,}5\,H_2S^п - O_2^п] \quad (1)$$

$$V^o = 0{,}0476\,[\sum (1+0{,}25\cdot 4)95{,}93 + (2 + 0{,}25\cdot 6)\,2{,}20 + + (3 + 0{,}25\cdot 8)0{,}69 + (4+0{,}25\cdot 10)0{,}21 + (5 + 0{,}25\cdot 12)0{,}06 + 0{,}5\,(0 + 0) +1{,}5\cdot 0 - 0] = 9{,}751\ м^3/м^3$$

Теплота згоряння нижча за сухий об'єм газу:

$$Q_{ср} = 0{,}01\sum(Q_{xi}\cdot X_i) \quad (2)$$

$$Q_{ср} = 0{,}01\sum(35820\cdot 95{,}93 + 63751\cdot 2{,}20 + 91256\cdot 0{,}69 + + 118651\cdot 0{,}21 + 146084\cdot 0{,}06 = 36731\ кДж/м^3$$

Об'єм сухих триатомних газів, $м^3/м^3$:

$$V_{RO2} = 0{,}01(\sum m\cdot C_mH_n^п + CO_2^п + CO^п + H_2S^п) \quad (3)$$

$$V_{RO2} = 0{,}01(1\cdot 95{,}93 + 2\cdot 2{,}20 + 3\cdot 0{,}69 + 4\cdot 0{,}21 + +5\cdot 0{,}06 + 0{,}17 + 0 + 0) = 1{,}037$$

Теоретичний об'єм азоту, $м^3/м^3$:

$$V^o_{N2} = 0{,}79V^o + 0{,}01N_2^п \quad (4)$$

$$V^o_{N2} == 0{,}79\cdot 9{,}751 + 0{,}01\cdot 0{,}74 = 7{,}711$$

Таблиця 1 *– Склад газу за об'ємом, %*

CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	CO	CO_2	H_2S	H_2	N_2
95,93	2,20	0,69	0,21	0,06	–	0,17	–	–	0,74

Теоретичний об'єм водяної пари, м³/м³:

$$V^{o}_{H2O} = 0{,}01(\sum 0{,}5n \cdot C_m H_n^{п} + H_2S^{п} + {+}H_2^{п} + 0{,}124\, d_г) + 0{,}0161 V^{o} \quad (5)$$

$$V^{o}_{H2O} = 0{,}01(\sum 0{,}5 \cdot 4 \cdot 95{,}93 + 0{,}5 \cdot 6 \cdot 2{,}20 + 0{,}5 \cdot 8 \cdot 0{,}69 + 0{,}5 \cdot 10 \cdot 0{,}21 + 0{,}5 \cdot 12 \cdot 0{,}06 + 0 + 0 + {+}\, 0{,}124 \cdot 10{,}1) + 0{,}0161 \cdot 9{,}751 = 2{,}196$$

де $d_г$ = 10,1 г/м³ приймаємо при t = 10 °С.

Безрозмірна характеристика газового палива:

$$\beta = \frac{0{,}209N_2^{п} + 0{,}395CO^{п} + 0{,}396H_2^{п} + 1{,}584CH_4^{п} + 2{,}389C_mH_n^{п} - 0{,}791O_2^{п}}{CO_2^{п} + 0{,}994CO^{п} + 0{,}995CH_4^{п} + 2{,}001C_mH_n^{п}} - 0{,}791 \quad (6)$$

$$= \frac{0{,}209 \cdot 0{,}74 + 1{,}584 \cdot 95{,}93 + 2{,}389(2{,}20 + 0{,}69 + 0{,}21 + 0{,}06)}{0{,}17 + 0{,}994 \cdot 95{,}93 + 2{,}001(2{,}20 + 0{,}69 + 0{,}21 + 0{,}06)} - 0{,}791 = 0{,}777$$

3. Результати досліджень

Наукові випробування ВК VITOPEND 100-W відбувалися протягом Δτ = 70 хв = 4200 с.

Дослідемо кількість витратиа природного газу, необхідного для ефективної роботи водогрійного котла :

$$V = \frac{V_к - V_п}{\Delta\tau} = \frac{26{,}732 - 24{,}567}{4200} = 0{,}0005155 \text{ м}^3/\text{с} \quad (7)$$

де $V_к$, $V_п$ – кінцеві та початкові показання газового лічильника, м³.

Тиск (надлишковий) газу перед лічильником (середнє) $P_{над}$ = 0,2 бар.

Абсолютний тиск газу перед лічильником $P = P_{над} + P_{атм}$ = 0,2 + 1,0 = 1,2 бар.

Температура газу перед лічильником $t_г$ = 10 °С.

Абсолютна температура газу перед лічильником $T = t_г + 273{,}16 = 10 + 273{,}16 = 283{,}16$ К.

Витрата газу, наведена до нормальних умов:

$$V_o = 269{,}65 \cdot \frac{P}{T} \cdot V =$$

$$= 269{,}65 \cdot \frac{1{,}2}{283{,}16} \cdot 0{,}0005155 = 0{,}0005891 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (8)$$

Знайдемо необхідний об'єм мережної води, що пройшла через котел під час експериментальних досліджень:

$$\Delta V_в = V_{вк} - V_{вп} = 35{,}578 - 34{,}569 = 1{,}009 \text{ м}^3, \quad (9)$$

де $V_{вк}$, $V_{вп}$ – кінцеві та початкові показання лічильника води, м³. При t' = 41 °С знаходимо густину води ρ = 991,84 кг/м³.

Витрата мережної води:

$$G = \rho \frac{V_{вк} - V_{вп}}{\Delta\tau} = 991{,}84 \frac{35{,}578 - 34{,}569}{4200} = 0{,}2383 \text{ кг/с} \quad (10)$$

Теплова потужність котла:

$$N = G \cdot c(t'' - t') = 0{,}2383 \cdot 4{,}187(61 - 41) = 19{,}955 \text{ кВт} \quad (11)$$

де t'', t'– температура мережевої води на виході та вході в котел, °С.

Коефіцієнт корисної дії котла брутто за прямим балансом:

$$\eta = 100 \cdot \frac{N}{V \cdot Q_р^р} = 100 \cdot \frac{19{,}955}{0{,}0005891 \cdot 36731} = 92{,}22\ \% \quad (12)$$

Визначення ККД котла брутто за зворотним балансом:

$$\eta = 100 - \sum_{i=2}^{3} q_i = 100 - (q_2 + q_3 + q_5) \quad (13)$$

де q_2, q_3, q_5 – відносні теплові втрати з вихідними газами, хімічним недопалом і через обмуровку котла, %.

Визначення відносної теплової втрати q_2

Температура холодного повітря $t_{хп}$ = 10 °С і вихідних газів $t_{вих}$ = 125 °С. Ентальпія холодного повітря за температури $t_{хп}$ = 10 °С при α= 1:

$$H^{o}_{хп} = c \cdot t_{хв} \cdot V^{o} = 1{,}323 \cdot 10 \cdot 9{,}751 = 129 \text{ кДж/м}^3 \quad (14)$$

Розраховуємо ентальпії теоретичного об'єму повітря та продуктів згоряння при α = 1 для двох температур: 100 і 200 °С наведено у таблицях 2, 3.

Таблиця 2 *– Ентальпії теоретичного об'єму повітря при α = 1*

t, °С	$(ct)_п$, кДж/м³	Розрахунок
100	132,3	$H^{o}_{п} = (ct)_{п100}\, V^{o}$ = 132,3 · 9,751 = 1290 кДж/м³.
200	266,3	$H^{o}_{п} = (ct)_{п200}\, V^{o}$ = 266,3 · 9,751 = 2597 кДж/м³.

Таблиця 3 *– Ентальпії продуктів згоряння при α = 1*

t, °C	$H^o_г = V_{RO_2}(ct)_{RO_2} + V^o_{N_2}(ct)_{N_2} + V^o_{H_2O}(ct)_{H_2O}$
100	$H^o_{г100}$= 1,037·170 + 7,711·129,8 + + 2,196·150,7 = 1508 кДж/м^3.
200	$H^o_{г200}$= 1,037·357,6 + 7,711·260,0 + + 2,196·304,4 = 3044 кДж/м^3.

Складемо H-t таблицю для визначення ентальпії газів для температур 100 і 200 °С при α= 1,401 (таблиця 4).

Таблиця 4 *– Ентальпії продуктів згоряння при α =1,401*

t, °C	$H^o_п$, кДж/м^3	$H^o_г$, кДж/м^3	$H_г = H^o_г + (\alpha - 1)H^o_в$, кДж/м^3
100	1290	1508	$H_{г100}$= 1508+(1,575-1)1290 = 2250
200	2597	3044	$H_{г200}$=3044+(1,575-1)2597 = 4537

Ентальпія вихідних газів при α = 1,575 і $t_{вих}$ = 125 °С:

$$H_г = H_{100} + \frac{t_{вих} - 100}{200 - 100}\cdot(H_{200} - H_{100}) =$$

$$= 2250 + \frac{125 - 100}{200 - 100}\cdot(4537 - 2250) = 2822 \text{ кДж/м}^3 \quad (15)$$

Результати газового аналізу: RO_2 = 7,10 %; O_2 = 8,30 %; CO = 0,08 %

Знайдемо вміст азоту у продуктах згоряння:

$$N_2 = 100 - (RO_2 + O_2 + CO) = \quad (16)$$
$$N_2 = 100 - (7,10 + 8,30 + 0,08) = 84,52\ \%$$

Визначимо характеристику газового палива:

$$RO_2^{max} = \frac{21}{1+\beta} = \frac{21}{1+0,777} = 11,82\ \% \quad (17)$$

Розрахунковий вміст оксиду вуглецю в продуктах згоряння:

$$CO = \frac{21 - \beta\cdot RO_2 - (RO_2 + O_2)}{0,605 + \beta} =$$

$$= \frac{21 - 0,777\cdot 7,10 - (7,10 + 8,30)}{0,605 + 0,777} = 0,06\ \% \quad (18)$$

Об'єм сухих продуктів згоряння:

$$V_{с.г} = \frac{\sum m\cdot C_m H^т_n + CO^т_2 + CO^т + H_2S^т}{RO_2 + CO} =$$

$$\frac{96,93 + 2\cdot 2,20 + 3\cdot 0,69 + 4\cdot 0,21 + 5\cdot 0,06 + 0,17 + 0 + 0}{7,10 + 0,08} =$$

$$= 14,584\ м^3/м^3 \quad (19)$$

Використовуючи вуглекислотну, кисневу та азотні формули, розраховуємо коефіцієнт витрати (надлишку) повітря, результат зведемо у табл. 5.

Аналізуючи, отримані в ході виконаного дослідження результати, які наведені у таблиці 5, можно зробити висновок, що найточнішою є «азотна» формула для неповного згоряння палива.

Відносна теплова втрата з вихідними газами:

$$q_2 = \frac{100\left(H_{вих} - \alpha_{вих}\cdot H^o_{вих}\right)}{Q^p_p} =$$

$$\frac{100\left(2822 - 1,584\cdot 129\right)}{36731} = 7,127\% \quad (20)$$

Відносна втрата теплоти з хімічним недопалом:

$$q_3 = 100 V_{сг} 126,4\cdot CO/Q^p_р =$$

$$= 100\cdot 14,584\cdot 0,08\cdot 126,4/36731 = 0,401\ \% \quad (21)$$

Таблиця 5 *– Коефіцієнт витрати (надлишку) повітря*

Формула	Розрахунок
Вуглекислотна	$\alpha = \frac{RO_2^{max}}{RO_2} = \frac{11,82}{7,10} = 1,665\cdot$
Киснева	$\alpha = \frac{21}{21 - O_2} = \frac{21}{21 - 8,30} = 1,654\cdot$
Азотна	$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{79(O_2 - 0,5CO)}{21(N_2 - N^т_2/V_{с.г})}} =$ $= \frac{1}{1 - \frac{79(8,30 - 0,5\cdot 0,08)}{21(84,52 - 0,74/14,584)}} = 1,582\cdot$

Відносна втрата теплоти від зовнішнього охолодження котла $q_5^н$ = 0,1 %, при номінальному навантаженні. При поточному навантаженні відносна вітрата теплоти від зовнішнього охолодження буде складатиме:

$$q_5 = q_5^н \cdot N_н/N = 0,10\cdot 24,0/19,955 = 0,120\ \% \quad (22)$$

Коефіцієнт корисної дії котла за зворотним ба-

лансом:

$$\eta = 100 - \sum_{i=2}^{3} q_i = 100 - (q_2 + q_3 + q_5) \quad (23)$$

$$\eta = 100 - (7{,}127 + 0{,}401 + 0{,}120) = 92{,}352\ \%$$

Визначимо розбіжність значень ККД за прямим і зворотним балансами за наступним емперичним виразом:

$$\Delta\eta = 92{,}352 - 92{,}220 = 0{,}132\ \%$$

Відносна похибка визначення ККД складе:

$$100\Delta\eta / \eta = 100 \cdot 0{,}132/92{,}22 = 0{,}143\ \%$$

4. Висновки

Під час експериментальних досліджень ефективної роботи газового двухконтурного турбірованого котлу Viessmann VITOPEND 100-W у системі комбінованного теплопостачання житло-комунального сектора були отримані наступні показники:

- при визначенні коефіцієнта надлишка повітря найточнішою, в ході виконаних розрахунків, виявилася азотна формула;
- отриманий результат визначення ККД котла відповідає паспортним даним 90…93,1 % заводу-виробника фірми Viessmann (Німеччина) при номінальному тепловому навантаженні;
- невелика різниця отриманих значень ККД за прямим і зворотним балансами свідчить про те, що водогрійний котел під час проведення випробувань перебував у стаціонарному режимі та всі вимірювання параметрів, а також обробка експериментальних даних випробувань та відповідні обчислення були виконані коректно.

Особистий внесок авторів CRediT

Шевчук В.І.: проведення обробки даних за обраною методикою. **Лужанська Г.В.:** аналіз отриманих результатів. **Чиченін В.В.:** складання теплового балансу. **Паламарчук О.О.:** опрацювання даних котлу з технічної документації. **Шилов П.О.:** аналіз літературних джерел.

Література

1. **Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л. А.** Котельні установки: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 185 с.
2. **Горобець В.Г.** Теплоенергетичні установки і системи: навчальний посібник. – К.: ЦП «Компринт», 2018. – 380 с.
3. **Степанов Д. В., Корженко Є.С., Боднар Л. А.** Котельні установки промислових підприємств: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 120 с.
4. **D. Karimi, R. Hassanzadeh.** Numerical investigation of double-flame hot-water boilers under steady-state operation // International Journal of Thermofluids. – 2024. – Vol. 22. – P. 100701.
5. **M. Tognoli, S. Keyvanmajd, B. Najafi, F. Rinaldi.** Simplified finite volume-based dynamic modeling, experimental validation, and data-driven simulation of a fire-tube hot-water boiler // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2023. – Vol. 58. – P. 103321
6. **P. Madejski, P. Żymełka.** Calculation methods of steam boiler operation factors under varying operating conditions with the use of computational thermodynamic modeling // Energy. – 2020. – Vol. 197. – P. 117221.
7. **I.O. Ohijeagbon, M.A. Waheed, S.O. Jekayinfa.** Methodology for the physical and chemical exergetic analysis of steam boilers // Energy. – 2013. – Vol. 53. – P. 153-164.
8. **A. Behbahaninia, S. Ramezani, M. Lotfi Hejrandoost.** A loss method for exergy auditing of steam boilers // Energy. – 2017. – Vol. 140(1). – P. 253-260.
9. **A. Mirowski, G. Lange, I. Jeleń.** Materiały do projektowania kotłowni i nowoczesnych systemów grzewczych. Wydanie I. – Viessmann sp. z o.o., 2004. – 311s.
10. Газовий водогрійний котел Vitopend 100-W. Технічний паспорт. – К.: Viessmann Group ООО «Віссманн», 2017. – 16 с.

Отримана в редакції 24.10.2025, прийнята до друку 28.11.2025

Research of the operation of a gas water-heating boiler in a combined heat supply system of residential and communal sector facilities

Volodymyr Shevchuk[1]✉, Ganna Luzhanska[2], Vadym Chychenin[3] ,Oleh Palamarchuk[4], Pavel Shylov[5]
[1-5]National University "Odesa Polytechnic", 1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

✉ e-mail: [1]v_i_shevchuk@ukr.net
ORCID: [1]http://orcid.org/0009-0005-6537-1704; [2]https://orcid.org/0000-0002-3784-5926; [3]https://orcid.org/0000-0001-7772-7142; [4]https://orcid.org/0009-0003-7886-0692; [5]https://orcid.org/0009-0007-7400-701X

One of the possible ways to reduce the load and reconstruct heat supply systems is to use combined heat supply using alternative energy sources (solar collectors, heat pumps). At the same time, the main element of such a system, which operates during peak hours of the greatest heat consumption, is the boiler. Today, water-heating boilers that use gas fuel are widely used. In domestic and foreign scientific and technical literature, there are publications and information based on the results of tests of steam and water-heating boilers. However, the incomplete data provided in these sources based on the results of tests of boiler installations do not allow assessing their correctness. In the article, the authors present a schematic diagram of the tests of the Viessmann VITOPEND 100-W water-heating boiler and present a thermal calculation method. This gas-turbine boiler belongs to low-power double-circuit boilers. Its thermal power is 24 kW. Experimental tests are carried out at a stable, i.e. stationary mode of operation of the water heating boiler. The main purpose of the study is to analyze the efficiency of using a gas boiler at different operating modes in a combined heat and power system with alternative energy sources. The determination of the enthalpy of combustion products was carried out at different values of the coefficient of flow (excess) of air. Various formulas were used to determine the coefficient of excess air: carbon dioxide, oxygen and nitrogen. Analyzing the results obtained as a result of the study, the most accurate is the "nitrogen" formula for incomplete combustion of gas fuel. The obtained result of determining the coefficient of useful action of the gas turbocharged boiler VITOPEND 100-W corresponds to the passport data of 90…93.1% of the manufacturer Viessmann (Germany) at the nominal heat load on the combined heat and power system using alternative energy sources.

Keywords: *Gas water-heating boiler; Combined heat and power system; Efficiency*

References

1. **Tkachenko, S. Y., Stepanov, D. V., Bodnar L. A.** (2016) Boiler plants: a textbook. *Vinnytsia: VNTU, 185.*

2. **Gorobets, V. G.** (2018) Heat power plants and systems: a textbook. *Kyiv: CP "Komprint", 380.*

3. **Stepanov, D. V., Korzhenko, E. S., Bodnar, L. A.** (2011) Boiler plants of industrial enterprises: a textbook. *Vinnytsia: VNTU, 120.*

4. **Karimi, D., Hassanzadeh, R.** (2024) Numerical investigation of double-flame hot-water boilers under steady-state operation. *International Journal of Thermofluids. – 2024. – Vol. 22. – P. 100701.*

5. **Tognoli, M., Keyvanmajd, S., Najafi, B., Rinaldi, F.** (2023) Simplified finite volume-based dynamic modeling, experimental validation, and data-driven simulation of a fire-tube hot-water boiler. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 58, 103321*

6. **Madejski, P., Żymełka, P.** (2020) Calculation methods of steam boiler operation factors under varying operating conditions with the use of computational thermodynamic modeling. E*nergy, 197, 117221.*

7. **Ohijeagbon, I.O., Waheed, M.A., Jekayinfa, S.O.** (2013) Methodology for the physical and chemical exergetic analysis of steam boilers. *Energy, 53, 153-164.*

8. **Behbahaninia, A., Ramezani, S., Hejrandoost, M. Lotfi.** (2017) A loss method for exergy auditing of steam boilers. *Energy, 140(1), 253-260.*

9. **Mirowski, A., Lange, G., Jeleń, I.** (2004) Materials for the design of boiler rooms and modern heating systems, 1st edition. *Viessmann sp. z o.o., 311.*

10. (2017) Gas water-heating boiler Vitopend 100-W. Technical data sheet. *K.: Viessmann Group LCC "Viessmann", 16.*

Received 24 October 2025
Approved 28 November 2025
Available in Internet 30 December 2025