

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ

УДК 621.18-9

DOI 10.31649/2311-1429-2022-1-73-78

Ю. К. Припотень
В. В. Котенко
С. І. Башинський
І. А. Піскун

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ КОРИСНОЇ ДІЇ ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЛІВ РІЗНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

Державний університет «Житомирська політехніка»

В даній роботі наведено експериментальні дослідження експлуатаційної ефективності п'яти конфігурацій котлів: котла прямого горіння з природною та механічною тягою, котла тривалого горіння з природною та на механічною тягою і піролізного котла. Було визначено, що порівняно високий коефіцієнт корисної дії здатні забезпечити лише котли піролізного типу. Ефективність використання котлів прямого спалювання та тривалого горіння є низькою.

Ключові слова: твердопаливний котел, котел прямого горіння, котел тривалого горіння, піролізний котел.

Вступ

Виходячи з умов сьогодення, під час яких відбувається постійне зростання вартості природного газу все більш актуальним стає питання пошуку альтернативних пристроїв для генерування тепла. Одним з потенційних варіантів таких пристроїв є твердопаливні котли. Впродовж останніх років спостерігається активне застосування даного типу котлів на територіях північних та північно-західних районів України. Такі тенденції розповсюдження пояснюються перш за все доступністю та відносною дешевизною лісоматеріалів у цих районах, які застосовуються в якості палива для твердопаливних котлів. Найчастіше, даний тип опалення застосовується для обігріву приватних будинків незначної площі (до 500 м²).

Оскільки даний тип опалення набуває все більшого попиту та стає широко розповсюдженим (наразі ведеться розробка конструктивних рішень направлених на імplementацію даного типу устаткування в умовах підприємств комунальної та промислової теплоенергетики України в національних масштабах), постає питання необхідності дослідження параметрів його роботи з метою їх раціоналізації та забезпечення максимальної ефективності використання палива. На шляху до цього, важливим є розуміння того, яка саме конфігурація твердопаливних котлів дозволяє забезпечити максимальні показники енергоефективності, адже згідно даних Держкомстату, експлуатаційне значення коефіцієнту корисної дії твердопаливних котлів малої та середньої потужності наразі не перевищує 70-80%, що зумовлено недостатністю вивчення параметрів їх роботи і відсутністю теоретичного обґрунтованого досвіду їх експлуатації [1].

Метою даної статті є проведення ряду експериментальних досліджень для встановлення експлуатаційного (дійсного) значення коефіцієнту корисної дії твердопаливних котлів різних конфігурацій (котлів прямого горіння, котлів тривалого горіння та піролізних котлів).

Методика досліджень та аналіз одержаних результатів

В ході виконання експериментального дослідження було порівняно п'ять типів котлів, серед яких: котел прямого спалювання з природною тягою «АТОН ТТК Multi 20» (виробник ДП «Красилівський агрегатний завод», Україна); котел прямого спалювання з механічною тягою Heiztechnik Q HIT Plus 25 (виробник ТОВ «Heiztechnik», Польща); котел тривалого горіння Candle 35 окремо протестований на природній та на механічній тязі (виробник ТОВ «Candle», Україна); піролізний котел Atmos DC 50S (виробник ТОВ «Atmos», Чехія). Матеріально-дослідна база була забезпечена ТОВ «Магія комфорту», яке виконує облаштування систем тепло- та водопостачання. Методика виконання досліджень полягала у визначенні кількісних та якісних показників палива, кількості продукovanого котлом тепла та співставленні отриманих значень із теоретично

розрахованими значеннями теплотворності палива. Задля визначення кількості тепла яку продукує котел, в систему опалення було вмонтовано відповідний лічильник [2].

Одним з найпростіших за принципом дії типів котлів є котли прямого горіння (рис. 1). Паливом для даного типу котлів можуть слугувати як дрова, так і вугілля, торф'яні брикети, або ж паливні брикети виготовлені з деревини чи залишків сільськогосподарської продукції. Тепло, яке генерується під час згоряння палива передається теплоносію, який циркулює по складових елементах системи опалення [3].

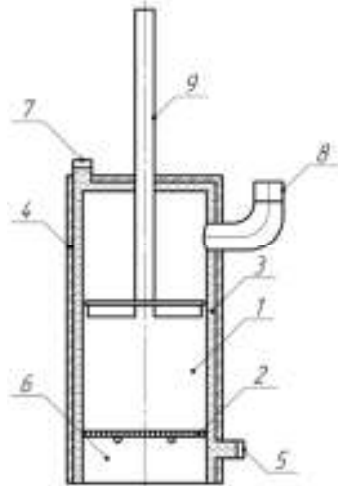


Рисунок 1 – Будова котла прямого горіння: 1 – топка; 2 – колесникова решітка; 3 – водяна рубашка; 4 – корпус котла; 5 – патрубок зворотної подачі; 6 – зольник; 7 – патрубок подачі; 8 – димохід; 9 – труба для подачі повітря

У ході виконання дослідження було виконано оцінку двох котлів прямого спалювання, а саме «АТОН ТТК Multi 20» (з природною тягою) та Heiztechnik Q HIT Plus 25 (з механічною тягою). Результати, одержані в ході дослідної експлуатації цих двох видів котлів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати дослідної експлуатації котлів прямого спалювання «АТОН ТТК Multi 20» (з природною тягою) та Heiztechnik Q HIT Plus 25 (з механічною тягою)

№ з/п	Параметр	Значення		Одиниці виміру
		«АТОН ТТК Multi 20»	Heiztechnik Q HIT Plus 25	
1	Тип палива	Дрова ясеневі та дубові	Дрова дубові	-
2	Маса палива	36	25,8	кг
3	Вологість палива	18-20	8-12	%
4	Середня температура вхідного теплоносія	40	28	°С
5	Середня температура вихідного теплоносія	70	75	°С
6	Початкові дані теплового лічильника	0,000	4,132	Гкал
7	Кінцеві дані теплового лічильника	0,076	4,179	Гкал
8	Середня теплова потужність за час дослідження	10,4	17	кВт
9	Кількість теплової енергії одержаної при спалюванні 1 кг палива	2101	1820	ккал/кг
10	Теплота згоряння 1 кг палива заданої вологості	2900	2900	ккал/кг

Особливістю котла «АТОН ТТК Multi 20» є невеликий об’єм топки, через що доводиться поповнювати його паливом кожні 2-4 години. Середня потужність даного котла складає 10,7 кВт, максимальна заявлена – до 16 кВт може бути досягнута лише зі зменшенням ККД.

Коефіцієнт корисної дії для опалювальних котлів визначався шляхом співставлення кількості теплової енергії одержаної в результаті спалювання 1 кг палива та теплоти згоряння одиниці маси палива виміряної вологості:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_p} \cdot 100\% \tag{1}$$

де Q_1 – кількість теплової енергії одержаної в результаті спалювання 1 кг палива (ккал/кг); Q_p –

теплота згоряння одиниці маси палива вимірної вологості (ккал/кг).

Для котла АТОН ТТК Multi 20» розраховане значення ККД дорівнює 72,4 %.

Якщо ж говорити про результати експлуатації котла Heiztechnik Q HIT Plus 25 (з механічною тягою), то в ході його дослідження було отримано порівняно низьке значення калорійності, що було зумовлено втратами не тільки у самому котлі, а й в системі обв'язки, яка була виконана за допомогою сталевих оцинкованих труб діаметром 27 мм без застосування утеплення. Відповідно, за результатами дослідження було одержано ККД у 62,8 %. При приведенні експерименту до попередніх умов, було отримано ККД у 70,2 %.

Доцільним буде відмітити, що якість згоряння палива в даному котлі потребує подальших досліджень задля оптимізації даного процесу. Такий висновок було зроблено в результаті застосування аналізатора димових газів при роботі котла, який показав, що у складі диму присутня надмірна кількість кисню – 12 %, разом з тим, завищеними були і значення показників CO, які становили близько 4000 ppm. Ймовірною причиною цьому є недосконалість системи перемішування паливно-повітряної суміші.

Котли тривалого горіння вирізняються з поміж інших значно більшим об'ємом палива, яке можуть бути перероблене за один цикл та способом спалювання. При використанні котлів даного типу паливо щільно укладається в вертикальну колону та підпалюється у верхній частині, при цьому, подача повітря виконується через повітророздатний пристрій, який по мірі згоряння палива повільно опускається донизу (рис. 2). Тривалість одного циклу спалювання при використанні таких котлів займає від 6 до 8 годин, іноді і більше [4].

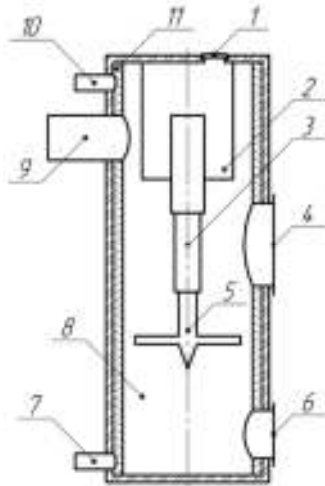


Рисунок 2 – Будова котла тривалого горіння:
 1 – повітряна заслінка; 2 – камера для підігріву повітря; 3 – труба для подачі повітря; 4 – дверці для закладення дров; 5 – розподільвач повітря; 6 – дверці для видалення попелу; 7 – патрубок зворотної подачі; 8 – топка; 9 – димохід; 10 – патрубок подачі; 11 – водяна рубашка

В рамках виконання дослідження було проаналізовано роботу котла тривалого горіння Candle 35, який працював на природній та на механічній тязі. Результати дослідження наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати дослідної експлуатації котла тривалого горіння Candle 35, який працював на природній та на механічній тязі

№ з/п	Параметр	Значення		Одиниці виміру
		при роботі на природній тязі	при роботі на механічній тязі	
1	Тип палива	Дрова букові	Дрова букові	-
2	Маса палива	94,5	90	кг
3	Вологість палива	25-30	25-30	%
4	Середня температура вхідного теплоносія	49	52	°С
5	Середня температура вихідного теплоносія	70	65	°С
6	Початкові дані теплового лічильника	1,701	1,937	Гкал
7	Кінцеві дані теплового лічильника	1,872	2,114	Гкал
8	Середня теплова потужність за час дослідження	15,7	14,5	кВт
9	Кількість теплової енергії одержаної при спалюванні 1 кг палива	1650	1787	ккал/кг
10	Теплота згоряння 1 кг палива заданої вологості	2650	2650	ккал/кг

За результатами дослідження, було встановлено, що коефіцієнт корисної дії котла тривалого горіння Candle 35 при роботі на природній тязі становить 62,3%, а при роботі на механічній тязі 67,4%. Під час спостережень за роботою даного котла було відмічену низьку якість згорання палива, з виділенням значної кількості угарного газу (CO) у складі продуктів згорання в обох режимах роботи. Це може свідчити про низькі показники згорання палива з хімічної точки зору. Робота котла нерівномірна, спостерігаються постійні зупинки та запуски вентилятора в результаті яких відбувається розбалансування його роботи.

Результати дослідження піролізного котла Atmos DC 50S наведені в таблиці 3. Особливість котлів даного типу полягає в тому, що вони мають дві камери, одна з яких призначена для завантаження палива, а інша для спалювання. З метою захисту від впливу високих температур стінки цих камер облицьовують шамотною цеглою, нею також вимощують дно камери завантажування, залишаючи невелику щілину, яка виконує роль форсунки, через яку в камеру згорання буде потрапляти піролізний газ. В задній частині котла знаходиться трубчастий теплообмінник (рис.3).

Таблиця 3

Результати дослідної експлуатації піролізного котла Atmos DC 50S

№ з/п	Параметр	Значення	Одиниці виміру
1	Тип палива	Колода соснова діаметром 10-20 см	-
2	Маса палива	70	кг
3	Вологість палива	12-15	%
4	Середня температура вхідного теплоносія	40	°С
5	Середня температура вихідного теплоносія	85	°С
6	Початкові дані теплового лічильника	0,000	Гкал
7	Кінцеві дані теплового лічильника	0,186	Гкал
8	Середня теплова потужність за час дослідження	30-35	кВт
9	Кількість теплової енергії одержаної при спалюванні 1 кг палива	2657	ккал/кг
10	Теплота згорання 1 кг палива заданої вологості	2900	ккал/кг

Принцип роботи піролізного котла базується на тому, що після розгорання дров, кількості первинного повітря починає не вистачати, завдяки чому з дров виділяються піролізні гази, які складаються з оксиду вуглецю CO, діоксиду вуглецю CO₂ та метану CH₄. За рахунок роботи димососу або тяги димової труби піролізні гази поступають в другу камеру, в яку подається і вторинне повітря. В цій камері відбувається змішування повітря з піролізним газом, за рахунок чого забезпечується підпалювання та якісне згорання утвореної газової суміші [5].

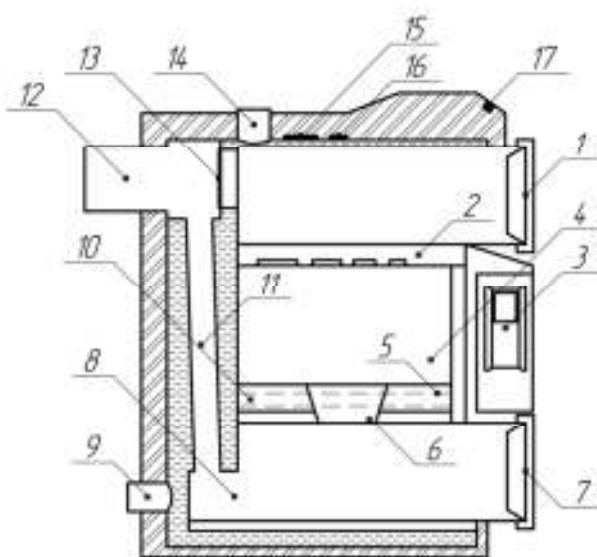


Рисунок 3 – Будова піролізного котла: 1 – дверці для завантаження; 2 – канал подачі повітря; 3 – вентилятор; 4 – топка; 5 – водяний теплообмінник; 6 – форсунка; 7 – дверці для очищення котла; 8 – камера спалювання піролізних газів; 9 – патрубок зворотної подачі води; 10 – канал подачі вторинного повітря; 11 – канал відведення диму; 12 – боров; 13 – дросель димоходу; 14 – патрубок подачі води; 15 – датчик температури; 16 – датчик тиску; 17 – регулятор температури

За результатами дослідження було встановлено, що коефіцієнт корисної дії піролізного котла становить 91,6%. Порівняльна характеристика одержаних значень ККД при дослідній експлуатації котлів різної конфігурації наведена на рис. 4.

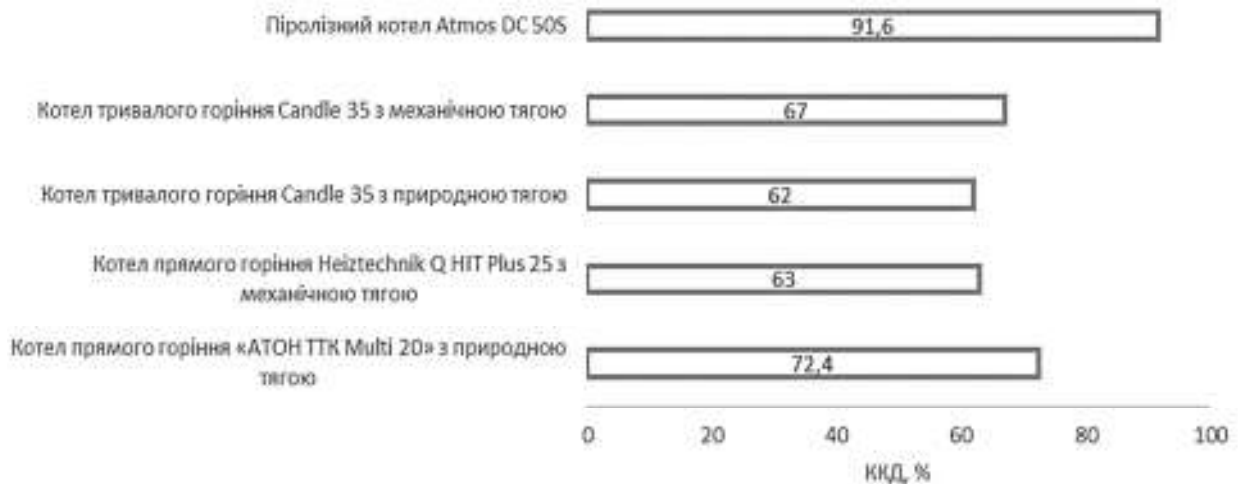


Рисунок 4 – Порівняння одержаних значень ККД при експлуатації котлів різної конфігурації

Висновки

Результати одержані в ході виконання дослідження підтвердили першопочаткову гіпотезу про те, що на шляху до економії за рахунок застосування твердопаливних котлів у складі систем опалення питання їх експлуатаційної ефективності стає другорядним. В ході дослідження було виміряно та проаналізовано параметри роботи п'яти конфігурацій твердопаливних зразків: котел прямого спалювання з природною тягою «АТОН ТТК Multi 20»; котел прямого спалювання з механічною тягою Heiztechnik Q HIT Plus 25; котел тривалого горіння Candle 35 окремо протестований на природній та на механічній тязі; піролізний котел Atmos DC 50S. З досліджених зразків лише один зміг забезпечити високий коефіцієнт корисної дії рівний 91,6 % - піролізний котел. При використанні котлів прямого спалювання вдалось досягти значення ККД у 70-75 %. Аналогічний показник котлів тривалого горіння становить 62-67 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики / [В.О. Артемчук, Т.Р. Білан, І.В. Блінов та ін.; за ред. А.О. Запорожця, Т.Р. Білан]. – Київ, 2017. – 312 с.
2. Теплотехніка / О.С. Бессараб, А.А. Долінський, А.В. Міщенко, О.В. Шеліванова (за ред. Б.Х. Драганова). – 2-е вид., перероб. і доп. – Київ: Фірма «ІНКОС», 2005. – 400 с.
3. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: Монографія / В.П. Бабак, В.С. Берегун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / - Київ, Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. – 352 с.
4. Капустянський А.О., Побігушка В.І. Шляхи підвищення надійності та економічності спалювання непроектного твердого палива // Науковий вісник НЛТУ України – 2013 – №23.1 – С. 172–176.
5. ДСТУ 2326-93. Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100 кВт. Загальні технічні умови – Держстандарт України, 1994. – 17 с.

REFERENCES

1. Theoretical and applied bases of economic, ecological and technological functioning of energy objects / [V.O. Artemchuk, TR Bilan, I.V. Blinov and others; for ed. A.O. Zaporozhets, TR Bilan]. – Kyiv, 2017. – 312 p.
2. Heat engineering / O.S. Bessarab, A.A. Dolinsky, A.V. Mishchenko, O.V. Shelivanov (edited by BH Draganov). – 2nd ed., Reworked. and ext. - Kyiv: INCOS Firm, 2005. – 400 p.
3. Hardware and software for monitoring the objects of generation, transportation and consumption of thermal energy: Monograph / V.P. Babak, V.S. Beregun and others; for ed. Corresponding Member NAS of Ukraine V.P. Babaka / – Kyiv., Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2016. – 352 p.
4. Ways to increase the reliability and efficiency of combustion of non-project solid fuel A.O. Kapustyansky, V.I. Runner // Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine – 2013 – №23.1 – P. 172–176.
5. DSTU 2326-93. Water heating boilers with heat output up to 100 kW. General technical conditions - State Standard of Ukraine, 1994. - 17 p.

Припотень Юлія Констянтинівна – к.т.н., доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім.

проф. Бакка М.Т., Державний університет «Житомирська політехніка», ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2671-8240>

Котенко Володимир Володимирович – к.т.н., доцент кафедри маркшейдерії, Державний університет «Житомирська політехніка», ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8764-1692>

Башинський Сергій Іванович – к.т.н., доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т., Державний університет «Житомирська політехніка», ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2945-7683>

Піскун Ігор Анатолійович – аспірант кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т., Державний університет «Житомирська політехніка» ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1658-5344>

V. Kotenko
S. Bashinsky
Y. Prypoten
I. Piskun

STUDY OF THE EFFICIENCY OF SOLID FUEL BOILERS OF DIFFERENT CONFIGURATION

State University "Zhytomyr Polytechnic"

This paper discusses experimental studies of the operational efficiency of five boiler configurations: a direct combustion boiler with natural and mechanical draft, a long-burning boiler with natural and mechanical draft, and a pyrolysis boiler. It was found that only pyrolysis boilers can provide a relatively high efficiency. The efficiency of using direct combustion and long-burning boilers is low.

Key words: solid fuel boiler, direct combustion boiler, long-burning boiler, pyrolysis boiler.

Prypoten Yuliya – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Development of Mineral Deposits. prof. Bakka M.T., State University "Zhytomyr Polytechnic", ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2671-8240>

Kotenko Volodymyr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Mine Surveying Department, State University "Zhytomyr Polytechnic", ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8764-1692>

Bashinsky Sergey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Development of Mineral Deposits named after prof. Bakka M.T., State University "Zhytomyr Polytechnic", ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2945-7683>

Piskun Ihor – post-graduate student of the Department of Development of Mineral Deposits. prof. Bakka M.T., State University "Zhytomyr Polytechnic" ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1658-5344>