

УДК 621.182

ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЛІВ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ ДИЗЕЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

Д-р техн. наук А. П. Фалендиш, асист. О. В. Клецка,
магістри Т. С. Катеренюк, О. О. Кривонос

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ КОТЛОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Д-р техн. наук А. П. Фалендыш, ассист. О. В. Клецкая,
магистры Т. С. Катеринюк, Е. О. Кривонос

FORECASTING PARAMETERS OF SOLID-FUEL BOILERS FOR HEATING THE DIESEL LABORATORY

Doctor of technical sciences A. P. Falendysh, assistant O. V. Kletska,
master T. S. Katerinyuk, O. O. Krivonos

У даній статті на основі розробленої моделі виконані розрахунки основних техніко-економічних параметрів твердопаливного котла для опалення приміщення дизельної лабораторії університету. Результати розрахунків перевірені за даними експериментальних досліджень на твердопаливному піролізному котлі. Зроблений аналіз стану твердопаливних котлів, які є на ринку України. Для визначених параметрів котла з використанням кваліметричного підходу запропонований тип котла та його виробник.

Ключові слова: котел, опалення, баланс, рівень, модель.

В данной статье на основе разработанной модели выполнены расчеты основных технико-экономических параметров твердотопливного котла для отопления помещения дизельной лаборатории университета. Результаты расчетов проверены по данным экспериментальных исследований на твердотопливном пиролизном котле. Сделан анализ состояния твердотопливных котлов, которые есть на рынке Украины. Для определенных параметров котла с использованием квалиметрического подхода предложен тип котла и его производитель.

Ключевые слова: котел, отопление, баланс, уровень, модель.

In the paper, on the basis of the developed model, calculations of the parameters of the solid fuel boiler for heating the premises of the diesel laboratory were performed. The results of the calculations were verified according to experimental data. For the specified boiler parameters using the qualimetric approach, it was proposed a boiler type and its manufacturer. In Ukraine, there is a huge choice of solid fuel boilers, working on different solid fuels, both domestic and foreign production. Application of various methods of choosing boilers to meet the needs of enterprises and the residential sector is an important part of the process of improving the heating and hot water supply systems in general. Therefore, it is necessary to develop new, modern, methods of selecting solid fuel boilers to provide heat for small premises of enterprises, which will take into account both their design, as well as technical level and cost indicators. This will greatly reduce the cost of the needs of enterprises and the residential sector in thermal energy.

The theoretical calculations of the characteristics of the boiler were performed and determined during the field experiments on the pyrolysis boiler. The obtained values after the calculation had an experimental difference by no more than 12 %, which can be explained by the accuracy of measurements and not fully taking into account influential factors, which shows adequacy of the mathematical model. The developed method for assessing the technical level of heating boilers based on the comprehensive assessment of their technical characteristics information on the technical level of boilers according to the degree of their compliance with modern requirements and best world analogues.

Key words: boiler, heating, balance, level, model.

Вступ. Реалії сьогодення змушують все більшу кількість людей не тільки замислюватися над питанням економії на опаленні, а й починати діяти в цьому напрямку, а саме вести активний пошук альтернативних систем енергозбереження та опалення. На сьогодні найбільш доступним способом заощадження й забезпечення теплом є твердопаливні котли тривалого горіння. Твердопаливні котли становлять окрему групу обладнання для опалення приміщень. Найчастіше вони використовуються як додаткове джерело обігріву, але останнім часом їх популярність значно зросла. Централізована система газифікації є не скрізь, і підключитися до неї коштує досить

дорого. До того ж, ціни на електроенергію і газ постійно підвищуються.

Тому твердопаливний котел може стати альтернативою звичному для нас електричному або газовому обладнанню.

В Україні є великий вибір твердопаливних котлів, що працюють на різному твердому паливі, як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Застосування різноманітних методів вибору котлів для забезпечення потреб підприємств і житлового сектора є важливою складовою процесу вдосконалення систем опалення і гарячого водопостачання в цілому. Тому необхідно розробити нові, сучасні методи вибору твердопаливних котлів для забезпечення теплом невеликих приміщень підприємств, які будуть враховувати як їх

конструкцію, так і технічний рівень та вартісні показники. Це дозволить в значній мірі зменшити витрати на потреби підприємств і житлового сектора в тепловій енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність теми використання твердопаливних котлів для опалення невеликих приміщень яскраво підтверджується наявністю великої кількості статей та наукових праць, поданих в періодичних виданнях технічного характеру [1-18].

Для визначення основних технічних параметрів котлів використовують в основному нормативний метод, в основу якого покладено емпіричні залежності, що отримані при випробуваннях великих енергетичних котлів. Але теплообмін в топках малих котлів істотно відрізняється від них. Тому при розрахунку теплообміну в топках котлів малої потужності використання нормативного методу, що враховує тільки теплове випромінювання, призводить до суттєвих помилок [1-3].

Аналіз відомої літератури та робіт провідних вчених в цій галузі [4-10] показав недостатність інформації щодо теплових та аеродинамічних розрахунків інтенсифікованого теплообміну в жаротрубних котлах малої потужності, а також недостатню кількість даних про дослідження показників роботи котлів малої потужності з інтенсифікацією теплообміну. Тому в роботі [11] запропоновано модель розрахунку твердопаливного котла малої потужності. Але розрахунки за згаданою моделлю та порівняння їх з результатами випробувань не проводилися. Тому робота в цьому напрямку являє не лише науковий, але й практичний інтерес.

Наступним кроком після визначення параметрів котла є вибір його типу та виробника. На основі багатьох способів вибору котлів [12-17] в роботі [18] запропонована модель вибору на основі кваліметричного підходу. Тому апробація даної моделі вибору твердопаливного котла

для опалення невеликих приміщень з урахуванням не тільки його основних характеристик, а й технічного рівня та вартості протягом життєвого циклу є своєчасним і актуальним завданням.

Мета та завдання дослідження. Метою статті є наукове обґрунтування вибору типу твердопаливного котла для опалення дизельного приміщення в холодний період року. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання: виконати розрахунок основних параметрів твердопаливного котла; провести експерименти на котлі та порівняти отримані результати з розрахунковими; на основі кваліметричного методу за розробленою раніше моделлю вибрати тип котла та його виробника для опалення дизельної лабораторії університету.

Основний матеріал. Твердопаливний котел невеликої потужності складається з теплообмінних пристроїв, які залежать один від одного, та служить для передачі тепла від згорання палива до води. Вихідним носієм енергії для отримання підігрітої води може бути будь-яке тверде паливо. При цьому виділяють два основні елементи робочого процесу: процес згорання палива та процес теплообміну між продуктами згорання або самого палива, що горить, з водою [19].

Розрахунки параметрів котла виконуватимемо за запропонованою моделлю повірного теплового розрахунку [11], яка базується на Нормативному методі. У загальному вигляді модель записується таким чином:

$$P_k(P_{k_пов}; P_{k_кон}) \rightarrow optimum,$$

де $P_{k_пов}$ – масив показників, які визначаються при повірному розрахунку;

$P_{k_кон}$ – масив показників, які визначаються при конструктивному розрахунку.

Модель має обмеження, які представляють собою масив обмежень $P_{об}$,

$$P_{об} = (P_{об_нав.сер}; P_{об_констр}; P_{об_теп}),$$

де $P_{об_нав.сер}$ – масив обмежень за параметрами навколишнього середовища (температура, тиск, вологість тощо);

$P_{об_констр}$ – масив обмежень параметрів, що викликаний конструкцією котла або котельні в цілому;

$P_{об_теп}$ – масив обмежень параметрів, що викликаний техніко-економічними вимогами до котла.

Визначимо основні параметри котла для опалення частини відгородженої дизельної лабораторії кафедри. Для проведення теплотехнічних досліджень в дизельній лабораторії з використанням брезентових тентів була виділена ділянка загальною площею 120 м². Висота перекриття складала 4,5 м. Для підтримання комфортних умов роботи згідно з розрахунками необхідний котел потужністю в межах 15 кВт.

За прототип взятий твердопаливний котел піролізного типу потужністю 18 кВт (рисунок) з основними характеристиками, що наведені в табл. 1.



Рис. Котел піролізного типу

Основні результати розрахунку за параметрами даного котла за запропонованою моделлю [11] подано в табл. 2.

Таблиця 1

Основні характеристики твердопаливного котла

Показник	Значення
Номінальна потужність, кВт	18
ККД, %	85
Тривалість робочого циклу, год	8-12
Габаритні розміри, мм	
- довжина (глибина)	1009
- ширина	630
- висота	1192
Маса, кг	240
Робочий тиск, бар	1,5
Об'єм води в котлі, л	72

Котел був виготовлений та встановлений в лабораторії кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. У період з 2016 по 2017 роки на ньому проводились випробування,

основні результати яких наведені в табл. 2. Отримані значення розрахунковим шляхом та експериментально відрізняються не більше ніж на 12 %, що можна пояснити точністю вимірів та неповним урахуванням факторів, що впливають.

За визначеними основними параметрами котла за розробленою моделлю в роботі [18] був виконаний вибір котла.

На першому етапі експертним методом були вибрані 10 основних техніко-

економічних показників опалювальних котлів (табл. 3). Наступним кроком було визначення їх раціональності.

Таблиця 2

Результати розрахунку

Показник	Значення параметра	
	розрахункове	експериментальне
Температура води, °C		
на вході	75	74,4
на виході	50	51,9
Дрова, кг		
завантаження	15	15
залишок / зола	0/1,4	0,01/1,45
Витрата палива, кг/год	2,98	3,12
Витрата води, кг/год	340	322
ККД котла	0,71	0,67
Потужність, кВт	9,8	8,9

Таблиця 3

Результати визначення техніко-економічних показників, які характеризують опалювальні котли

Показник	Позначення	Раціональність показника	Ваговий коефіцієнт
Потужність, кВт	N	Раціональний	0,1
Опалювальна площа, м ²	S	Раціональний	0,15
ККД, %	η	Раціональний	0,2
Об'єм завантажувальної камери, м ³	V _{топ}	Раціональний	0,1
Об'єм теплоносія у котлі, м ³	V _в	Раціональний	0,05
Час горіння, год	t	Раціональний	0,2
Максим. тиск, бар	P _{max}	Ірраціональний	0,05
Площа перерізу димоходу, мм ²	S _{дим}	Ірраціональний	0,05
Коефіцієнт універсальності котла	Кун	Раціональний	0,05
Маса котла, кг	m	Ірраціональний	0,05

На третьому етапі виконується вибір методу розрахунку технічного рівня. У нашому випадку для розрахунків експертним методом був обраний метод вагових коефіцієнтів, що має свої переваги та недоліки. До переваг даного методу відноситься простота в порівнянні з іншими методами, він легко піддається комп'ютерній обробці, дозволяє провести

комплексне порівняння аналогічних об'єктів з урахуванням різних видів показників. Недоліком є те, що цей коефіцієнт не має фізичного змісту

$$K_{т.р.} = \frac{\sum_{i=1}^{i=s} k_i \varphi(i)}{\sum_{i=1}^{i=s} \varphi(i)}, \quad (1)$$

де $K_{т.р.}$ – коефіцієнт технічного рівня; $\varphi(i)$ – вага i -го показника; k_i – питомий показник;

$$k_i = P_{in} / P_{ібаз}, \quad (2)$$

де P_{in} – значення i -го показника, обраного котла; $P_{ібаз}$ – значення i -го показника, базового котла.

На четвертому етапі експертним методом було виконано ранжування параметрів котлів та розраховано значення їх вагових коефіцієнтів (табл. 3).

За критерієм потужності опалювальні котли були розділені на групи за номінальною потужністю: до 10 кВт; від 10 до 20 кВт; від 20 до 30 кВт; від 30 до 50 кВт; від 50 до 90 кВт; від 90 до 99 кВт. Наш котел потрапив до другої групи, базовим зразком для якої був вибраний котел.

Коефіцієнт технічного рівня розраховувався за формулою (1). У результаті розрахунків для опалення виділеного приміщення в дизельній лабораторії пропонуються такі серії опалювальних котлів: Kalvis 5; DAKON KP PYROF; Buderus Logano S121-2 WT.

Висновки

1. Проведені розрахунки основних параметрів твердопаливного котла потужністю до 100 кВт за запропонованою моделлю, яка базується на Нормативному

методі розрахунку, але має свої особливості. Для опалення відокремленої частини дизельного приміщення (площею 120 м²) необхідний котел потужністю 15 кВт.

2. Для проведення теоретичних розрахунків характеристик котла та натурних експериментів використовувався піролізний котел. Отримані значення розрахунковим шляхом та експериментально відрізняються не більше ніж на 12 %, що пояснюється точністю вимірювань та неповним урахуванням впливових факторів, що демонструє непогану адекватність отриманої математичної моделі.

3. За розробленою методикою оцінки технічного рівня опалювальних котлів на основі комплексного оцінювання їх технічних характеристик отримана інформація про технічний рівень опалювальних котлів за ступенем їх відповідності сучасним вимогам та кращим світовим аналогом.

4. У подальшому необхідно зробити розрахунки за запропонованою моделлю й визначити номенклатуру твердопаливних котлів, які раціонально використовувати для опалення приміщень в залежності від різних видів палива та динаміки зміни температури навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. Целесообразность использования твердотопливных котлов на предприятиях железнодорожного транспорта [Текст] / А. П. Фалендиш, Л. А. Пархоменко, О. В. Клецка, П. В. Рукавишников // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 210-217.
2. Тепловой расчёт котельных агрегатов (нормативный метод) [Текст]. – Л.: НПО ЦКТИ, 1973. – 260 с.
3. Степанов, Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності [Текст]: монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, ГНК, 2010. – 250 с.
4. Wei Yang, Senlin Zhao, Research on the method of boiler thermal efficiency calculation [J], In Chinese, Power System Engineering, 1995.
5. Fangping Shen, Keyi Zhou, Research of Boiler Thermal Efficiency's Calculating Model and Development of Software [D], In Chinese, Southeast University, 2004.
6. Jianhua Wang, Chuanhua Jiao, Comparison to Thermal Efficiency Calculation of CFB Boiler based on ASME PTC—1998 Criteria and DL/T 964—2005 Criteria [J], In Chinese, INNER MONGOLIA ELECTRIC POWER, 2010.

7. Chunmei Zhu, Research on online boiler efficiency calculation model[J], In Chinese, Instrumentation. Analysis. Monitoring, 2010.
8. Junrui Li, Na Qin, Zhipeng Hao, The on-line calculation of coal-fired boiler thermal efficiency and the analysis of energy saving[J], In Chinese, GAS & HEAT, 2014.
9. Wei Yang, Senlin Zhao, Research on the method of boiler thermal efficiency calculation[J], In Chinese, Power System Engineering, 1995.
10. Haibo Wang, Xiang Li, Research on various heat loss of the boiler[J], In Chinese, Min Yin Ke Ji, 2015.
11. Фалендиш, А. П. Модель розрахунку твердопаливного котла невеликої потужності [Текст] / А. П. Фалендиш, О. В. Клецька, Є. А. Бітюра // Зб. наук. праць Укр. держ.ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 166. – С. 86-94.
12. Сравнительный анализ популярных твердотопливных котлов от 14 до 30 кВт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ktl.by/articles/50> (Дата обращения: 12.10.2017).
13. Корчевой, Ю. П. Сучасний стан вугільних електростанцій України і перспективи їхнього розвитку [Текст] / Ю. П. Корчевой, А. Ю. Майстренко // Екотехнології і ресурсозбереження. – 1996. – №3. – С. 38.
14. Долінський, А. А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики [Текст] / А. А. Долінський // Вісник НАН України. – 2006. – № 2. – С. 24-32.
15. Domestic heating by gas: boiler systems – guidance for installers and specifiers CE30 / Energy Saving Trust. Revised June 2008. – 64 p.
16. Выбор твердотопливного котла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kotel.prom.ua/a207404-raschet-dlitelnosti-goreniya.htm>. (Дата обращения: 03.08.2016).
17. Standards of Performance for Large Municipal Waste Combustors for Which Construction is Commenced After September 20, 1994, or for Which Modification or Reconstruction is Commenced After June 19, 1996,. 40 CFR 60, Eb, U.S. Environmental Protection Agency.
18. Фалендиш, А. П. Модель вибору твердопаливного котла для приміщень невеликої площі [Текст] / А. П. Фалендиш, О. В. Клецька, Т. С. Черненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. – №4. – С. 39-43.
19. Справочник потребителя биотоплива [Текст] / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллинн: Таллинский технический университет, 2005. –183 с.

Фалендиш Анатолій Петрович, д-р техн. наук, професор, завідуючий кафедрою теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: fap_hiit@ukr.net.
Клецька Ольга Віталіївна, асистент кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: gurao@ukr.net.
Катеринюк Тетяна Сергіївна, магістр кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: katerinjukT@ukr.net.
Кривонос Олена Олегівна, магістр кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: Lene_Kr@ukr.net.

Falendysh Anatoliy, doctor of technical sciences, Professor, Head of the Chair of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: fap_hiit@ukr.net.
Kletska Olga, assistant of the chair of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: gurao@ukr.net.
Katerinyuk Tatiana, master of the Department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: katerinjukT@ukr.net.
Krivonos Olena, master of the Department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: Lene_Kr@ukr.net.

Стаття прийнята 20.10.2017 р.