

УДК 621.18

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.166.2016.92945>

## МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ТВЕРДОПАЛИВНОГО КОТЛА НЕВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ

Д-р техн. наук А. П. Фалендиш, асист. О. В. Клецька, Є. А. Бітюра

## МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ТВЕРДОТОПЛИВНОГО КОТЛА НЕБОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Д-р техн. наук А. П. Фалендыш, ассист. О. В. Клецкая, Е. А. Битюра

## MODEL CALCULATION SOLID FUEL BOILERS LOW POWER

Ph.D. prof. A. P. Falendysh, assist. O. V. Kletska, E. A. Bityura

*У даній статті зроблений аналіз різних видів розрахунків котлів для опалення приміщень, який показав, що в основному розрахунки котлів виконують Нормативним методом. В роботі доведена неефективність використання даного методу для розрахунку котлів невеликої потужності, його можна використовувати лише для котлів великої потужності. Аналіз відомої літератури показав, що методам розрахунку котлів невеликої потужності уваги приділяється недостатньо. Таким чином, була запропонована модель розрахунку твердопаливного котла потужністю до 100 кВт, яка базується на Нормативному методі розрахунку, але має свої особливості.*

**Ключові слова:** *твердопаливний котел, перевірочний, аеродинамічний, метод розрахунку, топка.*

*В данной статье сделан анализ различных видов расчетов котлов для отопления помещений, который показал, что в основном расчеты котлов выполняют Нормативным методом. В работе доказана неэффективность использования данного метода для расчета котлов небольшой мощности, его можно использовать только для котлов большой мощности. Анализ известной литературы показал, что методам расчета котлов небольшой мощности внимания уделяется недостаточно. Таким образом, была предложена модель расчета твердоотопливного котла мощностью до 100 кВт, которая базируется на Нормативном методе расчета, но имеет свои особенности.*

**Ключевые слова:** *твердотопливный котел, поверочный, аэродинамический, метод расчета, топка.*

*In this paper, an analysis of various types of calculations boilers for space heating, which showed that most settlements boilers perform standard method. The work proved inefficient use of the method for calculating boiler low power, it can only be used for high power boilers. Analysis of the known literature showed that the method of calculation boilers emphasis on low power enough. High urgency of using solid fuel boilers for heating small spaces and methods of calculation clearly evidenced by the large number of articles and scientific papers presented in the technical periodicals. Verification calculation can be done one of the following methods: normative method, pryblyzhen serial, parallel calculations and counter calculation boiler. But all these methods are used to calculate the high power boilers. Therefore, the development model calculation of solid fuel boilers is a low-power objective and timely manner aktualnoyu. Takym proposed a model calculation of solid fuel boilers up to 100 kW, which is based on the standard method of calculation, but has its own peculiarities.*

**Keywords:** *solid fuel boiler, verification, aerodynamic, the method of calculation, furnace.*

**Вступ.** Аналіз витрат Укрзалізниці на потреби котелень за період з 1997 р. по нині показує тенденцію до зменшення споживання вугілля, мазуту і природного газу. Зокрема це відбувається за рахунок багатьох факторів, серед яких один з найважливіших – це впровадження модульних котелень в житлово-комунальне господарство. Аналіз структури площ будівель підприємств Укрзалізниці та промислових підприємств показав, що близько 30 % приміщень можуть опалюватися джерелами теплопостачання малої потужності. При прогнозуванні вартості енергоресурсів на виробництво теплової енергії стає зрозумілим, що при збільшенні вартості 1 Гкал теплової енергії від котелень, які використовують різні види палива, використання дров як енергоресурсу є найбільш економічно вигідним [1].

Все вищесказане підтверджує актуальність використання твердопаливних котлів невеликої потужності не тільки на залізничному транспорті, а і в інших галузях народного господарства.

Застосування різноманітних методів розрахунку котлів для забезпечення потреб підприємств залізничного транспорту та промислових підприємств є важливою складовою процесу вдосконалення галузі в цілому. Тому необхідно розробити нові, сучасні, методи розрахунку твердопаливних котлів невеликої потужності. Це дозволить в значній мірі зменшити витрати на потреби підприємств залізничного транспорту та промислових підприємств в тепловій енергії.

**Мета статті.** Розробка моделі розрахунку твердопаливного котла невеликої потужності, яка буде враховувати як його конструкцію, так і вид твердого палива.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для теплового розрахунку котлів використовується нормативний метод, в основу якого покладено емпіричні залежності, отримані при випробуваннях великих енергетичних котлів [2]. Теплообмін в топках малих котлів має

істотну відмінність від аналогічних процесів в топках енергетичних котлів, це пов'язано з їх малими розмірами та відмінностями в режимних параметрах роботи, що впливає на фізичні умови протікання процесу, призводить до зниження теплообміну випромінюванням і зростанням частки конвекції в складному теплообміні. Тому при розрахунку теплообміну в топках котлів малої потужності використання нормативного методу, що враховує тільки теплове випромінювання, призводить до суттєвих помилок [3].

Аналіз відомої літератури 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. Необхідно відзначити, що методологічною базою в цьому напрямку є дослідження таких вчених: В. М. Антуф'єв, М. В. Кірпічов, Е. В. Дубровський, В. К. Щукін, Е. К. Калінін, Л. М. Коваленко, В. К. Мігай, Виллу Варес, В. С. Альтшулер, Г. А. Дрейцер та ін.

Висока актуальність теми використання твердопаливних котлів для опалення невеликих приміщень та методів їх розрахунків яскраво підтверджується наявністю великої кількості статей та наукових праць, поданих у періодичних виданнях технічного характеру [4-10]. В роботі [11] розглядається математичне моделювання теплових та аеродинамічних процесів в елементах водогрійних котлів малої потужності та сучасні методики теплового та аеродинамічного розрахунку опалювального обладнання малої потужності.

Зроблений аналіз показує, що при розрахунку котла виконують спочатку перевірочний тепловий розрахунок котла, а потім конструктивний тепловий розрахунок котла.

Перевірочний розрахунок можна виконати одним із таких методів: нормативним методом, методом послідовних наближень, методом паралельних розрахунків та зустрічним розрахунком котла [12-14]. Але

всі ці методи використовуються для розрахунку котлів великої потужності. Тому розробка моделі розрахунку твердопаливного котла невеликої потужності є завданням своєчасним та актуальним.

**Основний матеріал.** На сьогоднішній день виробники твердопаливних котлів переважно спираються на технічні рішення, використані у закордонних аналогах. Тобто швидкий темп виробництва не підкріплений науково-обґрунтованими розробками, не має точних методів розрахунку тепломасообмінних процесів в елементах котла та методів оцінки ефективності такого обладнання.

Твердопаливний котел невеликої потужності являє собою комплекс

агрегатів, які необхідні для отримання гарячої води. Він 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 є тверде паливо. Можна виділити два основні елементи робочого процесу: процес згорання палива та процес теплообміну між продуктами згорання або самого палива, що горить, з водою [15].

Методика теплового розрахунку котла, що наведена в Нормативному методі, включає перевірочний і конструктивний розрахунки котлів. Якщо виділити основні етапи розрахунків, то умовно можна їх поділити на наступні складові (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм розрахунку теплового балансу згідно з Нормативним методом

Як бачимо, в моделі розрахунку теплового балансу, згідно з Нормативним методом, наявна велика кількість складових, які в конструкції твердопаливного котла малої потужності відсутні, такі, наприклад, як водяний економайзер, повітропідігрівач та ін. Враховуючи конструкцію таких котлів, як твердопаливний котел тривалого горіння або піролізний котел, можна зробити висновок, що даний метод недостатньо

враховує особливості конструкції та режиму роботи котлів малої потужності.

В моделі перевірконого теплового розрахунку твердопаливного котла малої потужності можна використовувати, окрім Нормативного методу, ще такі методи: метод послідовних наближень; метод паралельних розрахунків; зустрічний розрахунок котла. Запропонована модель (рис. 2) перевірконого теплового розрахунку базується на Нормативному методі, як на найбільш досліджену і коректну.

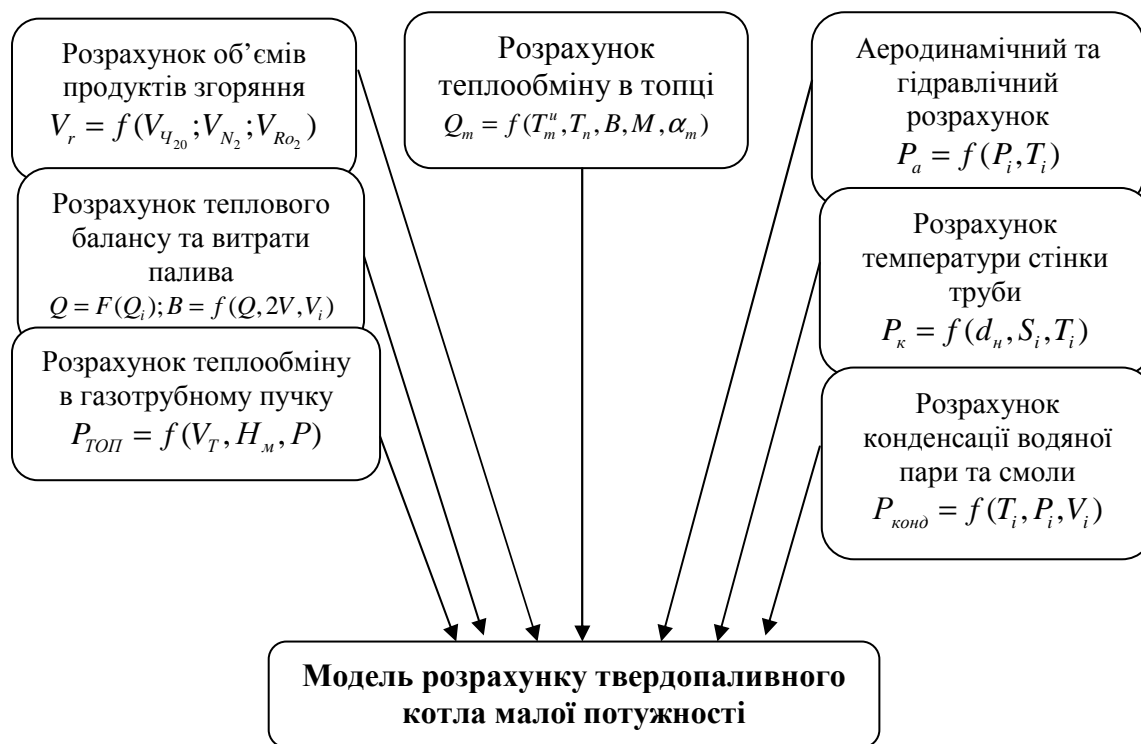


Рис. 2. Структура моделі теплового розрахунку твердопаливного котла малої потужності

Дана модель призначена для:

- визначення параметрів котла за заданими конструктивними параметрами;
- оцінки економічності і надійності котла при роботі на заданому паливі;
- розроблення необхідних реконструктивних заходів вибору допоміжного обладнання котла.

В загальному вигляді модель можна записати в такому вигляді:

$$P_k(P_{к_пов}; P_{к_кон}) \rightarrow optimum,$$

де  $P_{к_пов}$  – масив показників, які визначаються при перевірконому розрахунку;

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

Модель має обмеження, які являють 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 і т.д.);

$P_{об\_констр}$  – масив обмежень параметрів, що викликані конструкцією котла або котельні в цілому;

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

Вихідні дані до розрахунку являють собою масив вихідних даних  $P_{вд}$ ,

$$P_{вд} = (P_{вд\_кон}; P_{вд\_нав}; P_{вд\_пал}),$$

де  $P_{вд\_кон}$  – масив даних конструктивних розмірів твердопаливного котла;

$P_{вд\_нав}$  – масив даних заданого навантаження котла;

$P_{вд\_пал}$  – масив даних по паливу, яке використовується у котлі.

В результаті розрахунку за запропонованою моделлю визначаються параметри, які являють масив розрахункових параметрів  $P_{роз}$ :

$$P_{роз} = (P_{роз\_ті}; P_{роз\_ккд}; P_{роз\_пал}; P_{роз\_Qvi}),$$

де  $P_{роз\_ті}$  – масив отриманих температур (води, пари, повітря та газів) на границях між окремими поверхнями нагріву;

$P_{роз\_ккд}$  – коефіцієнт корисної дії;

$P_{роз\_пал}$  – витрата палива;

$P_{роз\_Qvi}$  – масив витрат та швидкості пари, повітря, димових газів.

Викладене дозволяє зробити наступні висновки.

1. Зроблений аналіз різних видів розрахунків котлів для опалення приміщень, який показав, що в основному розрахунки котлів виконують Нормативним методом. Але цей метод можна використовувати лише для котлів великої потужності. Методам розрахунку котлів невеликої потужності уваги приділяється недостатньо.

2. Запропонована в загальному вигляді модель розрахунку твердопаливного котла потужністю до 100 кВт, яка базується на Нормативному методі розрахунку, але має свої особливості.

3. В подальшому необхідно зробити розрахунки за розробленою моделлю розрахунку твердопаливного котла потужністю до 100 кВт та порівняти їх з результатами випробувань твердопаливного котла.

### Список використаних джерел

1. Тепловой расчёт котельных агрегатов (нормативный метод) [Текст]. – Л.: НПО ЦКТИ, 1973. – 260 с.
2. Степанов, Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності [Текст]: монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, ГНК, 2010. – С. 250.
3. Степанов, Д. В. Технічні та екологічні показники водогрійних котлів потужністю до 100 кВт [Текст] / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко І. Г. Чорна // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 1. – С. 114-117.
4. Степанов, Д. В. Залежності для теплових розрахунків в жаротрубних пучків котлів малої потужності [Текст] / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар, Т. Ю. Загаєцька // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. - № 2. – С. 31-40.
5. Степанов, Д. В. Математичне моделювання теплообмінних процесів у жаротрубному елементі водогрійного котла малої потужності [Текст] / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 2. – С. 76-79.

6. Степанов, Д. В. Експериментальні дослідження теплообміну в жаротрубному водогрійному котлі [Текст] / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 1. – С. 43-46.
7. Тарасенко, А. Н. Метод расчета тепловых характеристик трубчатых теплообменных аппаратов [Текст] / А. Н. Тарасенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2012. – №6/5 (36). – С.30-34.
8. Тарасенко, А. Н. Динамика пластинчатого теплообменного аппарата при прямоочном движении теплоносителей [Текст] / А. Н. Тарасенко, А. А. Шевелев // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХП», 2012. – №4. – С.57-63.
9. Сігал, І. Я. Аналіз стану котельного господарства України з метою модернізації, продовження ресурсу чи заміни котлів малої і середньої потужності [Текст] / І. Я. Сігал, Е. П. Домбровська // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 6. – С. 25-30.
10. Фалендыш, А. П. Целесообразность использования твердотопливных котлов на предприятиях железнодорожного транспорта [Текст] / А. П. Фалендиш, Л. А. Пархоменко, О. В. Клецька, П. В. Рукавишников // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 210-217.
11. Фалендиш, А. П. Оцінка ефективності опалювальних котлів [Текст] / А. П. Фалендиш, О. В. Клецька, А. Р. Кутня // Тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 160. – С. 56.
12. Nussbaumer T. Combustion and co-combustion of biomass: fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction / T. Nussbaumer // Journal Energy & Fuels. – 2003. – Vol. 17. – P. 1510–1521.
13. Yrjola J., Paavilainen J. Modelling and experimental studies on heat transfer in the convection section of a biomass boiler. Int. J. Energ. Res. 2006. Vol. 30 (12). P. 939–953.
14. Neshumayev D. Experimental investigation of various turbulator inserts in gas-heated channels / D. Neshumayev, A. Laid, T. Tiikma // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2004. – vol. 28(8). – P. 877-886.
15. Справочник потребителя биотоплива [Текст] / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллинн: Таллинский технический университет, 2005. – 183 с.

---

Фалендиш Анатолій Петрович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-1077.

Клецька Ольга Віталіївна, асистент кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-1078.

Бітюра Євген Анатолійович, магістр кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту.

Falendysh Anatoliy, PhD, Professor, Head of the Chair of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-1077.

Kletska Olga, assistant of the chair of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-1078.

Bityura Evgeniy, master of the Department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.