

УДК 621

Можливості використання нормативного методу «Тепловий розрахунок котельних агрегатів» для розрахунку жаротрубно-димогарних котлів

П. М. Гламаздін¹, М. А. Криворук², Р. Шварценбергер³

¹к.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, sib.kiev@gmail.com

²студ. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, maristepanenko18@gmail.com

³ген.директор, фірми BBS GmbH, м. Фрайберг, Німеччина

Анотація. Останні роки в системах централізованого теплопостачання міст України набула поширення практика використання жаротрубно-димогарних водогрійних котлів при заміні водогрійних котлів у опалювальних котельнях після завершення строку експлуатації. При цьому жаротрубні котли можуть бути використані як імпорتنі, так і вітчизняні. Проектування котельних з такими котлами і, особливо, їхнє конструювання часто вимагає проведення теплового розрахунку котла, перевірного або конструктивного. При цьому виникає проблема. Чинний в Україні нормативний документ «Тепловий розрахунок котельних агрегатів» не містить вказівок щодо розрахунку жаротрубно-димогарних котлів. Він дає настанови з розрахунку водогрійних та парових котлів, до того ж тільки з потужністю більше 75 т/год. Такі настанови не завжди можна використати напряму, безпосередньо. Наприклад, для жаротрубно-димогарних котлів використовуються жарові труби з хвилястою поверхнею стінок. Такий випадок не передбачений в нормативному документі. Серед іншого, виникають труднощі щодо визначення параметру M , який враховує характер розподілу температури за висотою жарової труби та залежний від відносного місцезнаходження максимальної температури полум'я. Наявність таких проблем обумовлює необхідність розроблення спеціального нормативного документу з рекомендаціями щодо виконання теплового розрахунку жаротрубно-димогарних котлів або додатку до чинного нормативного документу, присвяченого вирішенню цієї проблеми. Сформульовано опис основних проблем, які виникають при виконанні теплового розрахунку жаротрубно-димогарних котлів за допомогою чинного в Україні нормативного документу «Тепловий розрахунок котельних агрегатів», і показаний шлях їхнього вирішення.

Ключові слова: жаротрубно-димогарні котлі, тепловий розрахунок, коефіцієнт теплообміну.

Вступ. Останні роки при влаштуванні групових або квартальних опалювальних котелень малої та середньої потужності систем централізованого теплопостачання або при реконструкції чи розширенні котелень, що експлуатуються, переважно використовуються жаротрубно-димогарні котли, які мають певні переваги в діапазоні малих потужностей (близько до 30 МВт) перед водотрубними котлами, якими оснащені діючі опалювальні котельні [1].

При проектуванні котельні для обґрунтованого визначення необхідної потужності (теплопродуктивності) котлів необхідно провести перевірений тепловий розрахунок для прогнозування робочих параметрів котла, в тому числі ККД і, відповідно, питомої витрати палива в умовах нестационарних, змінних в широкому діапазоні навантажень, що характерно для систем теплопостачання.

Однак, у чинній нормативній базі, зокрема в нормативному методі «Тепловий розрахунок котельних агрегатів», жаротрубно-димогарні котли не розглядаються.

Актуальність дослідження. Відсутність нормативної інженерної методики теплового розрахунку жаротрубно-димогарних водогрійних котлів призводить при проектуванні

опалювальних теплогенеруючих установок до завищення потужності прийнятих до установки котлів. У результаті котли працюють не в паспортних режимах, що веде до завищення питомої витрати палива та до скорочення їхнього життєвого циклу і, відповідно, до завищення капітальних вкладень і експлуатаційних витрат. Таким чином, актуальною є задача розроблення доповнень до нормативного методу «Тепловий розрахунок котельних агрегатів» для його використання в тепловому розрахунку жаротрубно-димогарних котлів [2].

Останні дослідження та публікації. Оскільки жаротрубно-димогарні водогрійні котли не були традиційними для котелень систем централізованого теплопостачання і не вироблялися масово (крім водогрійних котлів серії КСВ малої потужності – до 3,16 МВт), то процеси теплообміну та гідродинаміки викликають інтерес дослідників на пострадянському просторі. Досліджувалися процеси в топках подібних котлів [3], особливо реверсивних (тупикових), в димогарних трубах, що є конвективною частиною жаротрубно-димогарних котлів [4], зокрема з метою інтенсифікації теплообміну в них [5]. Однак, інформації, присвяченої розробленню узагальненої методики теплового розрахунку жаротрубно-димогарних

котлів у доступних авторам джерелах знайдено не було.

Тепловий розрахунок будь-якого котла згідно з нормативним методом складається з пов'язаних між собою в певній послідовності окремих розрахунків. Більша частина цих розрахунків не може бути використана напряму для жаротрубно-димогарних котлів і потребує уточнень і змін.

При визначенні об'ємів продуктів згорання зайвина повітря не змінюється по всьому газовому тракту і залишається постійною, визначеною в паспорті пальника. При розрахунку втрати з димовими газами q_2 зайвина повітря на виході з котла α_{yx} залишається рівною її значенню на пальнику α_n .

При розрахунку теплового балансу втрата в навколишнє середовище q_5 не може бути визначена в тій формі, що пропонує нормативний метод. Ця витрата може бути розрахована за допомогою формули для тепловіддачі природною конвекцією [6]:

$$Nu = c \cdot Gr^m \cdot Pr^n \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}} \right)^k. \quad (1)$$

Наступний блок розрахунків – розрахунок теплообміну в топці. В цей розрахунок необхідно ввести декілька змін.

Кутовий коефіцієнт екрану χ приймаємо рівним одиниці для стінки жарової труби, площа екранування якої дорівнює її площі. Задній екран відсутній ($\chi = 0$), передній екран також можемо прийняти як відсутній, але за необхідності уточнювальних розрахунків площа екранування визначається як площа фронтальної стіни за мінусом площі пальника.

У нормативному методі коефіцієнт забруднення екранів пропонується приймати для природного газу $\xi = 0,65$. Забруднення внутрішньої стінки жарової труби має бути набагато меншим, і цей коефіцієнт можна приймати на рівні $0,8 \div 0,85$.

Найбільш проблемна зміна – це визначення параметра M в критерії Больцмана Bo . Параметр M призначений для визначення ступеня однорідності температурного поля в топці котла і визначається згідно з нормативним методом за положенням зони з найбільшою температурою, яка, в свою чергу, визначається за положенням пальників на стінках котла. Але конструкції котлів, для яких розроблявся нормативний метод, передбачає вертикальне компонування топки і через це вертикальний розвиток факелу. У нашому ви-

падку топка розташована горизонтально, тобто факел також розвивається горизонтально. Тому використання напряму способу визначення параметра M за нормативним методом вносить велику похибку в розрахунки. Пошук вирішення цієї проблеми в літературних джерелах виявив одне джерело, де розглядається подібна проблема для котлів серії ДВ та ДКВР, в топках яких факели розвиваються горизонтально [7]. На відміну від пропозиції нормативного методу, розраховувати параметр M слід за залежністю:

$$M = f \left(x_m = \frac{H_n}{H_m} \right), \quad (2)$$

де x_m – відносне положення максимуму температури полум'я до висоти жарової труби; H_n – висота осі пальника, м; H_m – висота топки, м.

При спалюванні газу в [1] пропонується залежність:

$$M = 0,54 - 0,2 \cdot x_m. \quad (3)$$

У [7] відносне положення максимуму температури полум'я пропонується приймати для горизонтально розташованої топки і факелу рівним $x_m = 0,3$ м. Однак, в котлах серії ДКВР та ДЕ топки мають форму більше або менше витягнутого паралелепіпеда на відміну від циліндричної жарової труби.

Основна частина. Для уточнення способу задання параметра M автори провели чисельне дослідження впливу його значення на критерій Больцмана та через нього на температуру продуктів згорання на виході з топки котла. Розглянуто чотири варіанти (рис. 1) визначення відносного положення максимуму температури. Був прорахований варіант $x_m = D_m = 1,7$ м. Отримані дані вдалося порівняти з реальними даними, що мають місце в котлі НКВ потужністю 18 МВт фірми BBS (Німеччина). Найбільш близьким результатом розрахунків до реального значення виявився параметр M на рівні $x_m = 0,4$ м. Це попередній результат, його треба ще перевірити для інших конструкцій жаротрубно-димогарних котлів.

Отже, з графіку (рис. 2) видно, що чим менше відносне положення максимуму температури, тим більше значення параметра M , а отже, й температура на виході з жарової труби буде меншою.

Отримана температура димових газів на ви-

ході з жарової труби не повинна відрізнятися від раніше прийнятої на ± 100 °С, якщо умова дотримана, то розрахунок теплообміну жарової труби вважається закінченим. З чотирьох прорахованих варіантів у тепловому розрахунку жаротрубно-димогарного котла найкращим був четвертий варіант, де параметр M найбільший серед усіх, а отримана температура на виході з жарової труби відрізнялася від раніше прийнятої менше ніж на ± 100 °С. Тому розрахунок теплообміну жарової труби вважався закінченим

Розрахунок поворотної камери можна прийняти за пропозицією нормативного методу.

Нарешті, розрахунок теплообміну в димогарних трубах повинен докорінно відрізнятися від того, що пропонує нормативний метод, через різну конструкцію котлів. Нормативний метод розроблений для котлів, у яких продукти згоряння омивають ззовні шахові або коридорні пучки труб повітропідігрівачів або економайзерів, розташованих горизонтально у вертикальних конвективних шахтах. У жаротрубно-димогарних котлах все навпаки – димові гази рухаються всередині горизонтально розташованих у водяному об'ємі димогарних труб. Тому всі залежності для розрахунку конвективної тепловіддачі, що наведені в нормативному методі, стають недейсними для жаротрубно-димогарних котлів. Теплообмін у них описується за залежностями конвективного теплообміну з зовнішнім спонуканням [8]:

$$St = \frac{\dot{\alpha}_n}{\omega_n \cdot \rho \cdot c_p}, \quad (4)$$

де ω_n – швидкість потоку оточення, віднесена до одиничної площі поверхні нагріву стінок; ρ та c_p – густина та середня теплоємність оточення; $\dot{\alpha}_n$ – коефіцієнт тепловіддачі.

При цьому може виявитися, що для труб другого та третього ходу рух газів буде не тільки турбулентним, але й перехідним до ламінарного на виході з димогарних труб.

Висновки. Аналіз можливості пристосування нормативного методу «Тепловий розрахунок котельних агрегатів» для розрахунків жаротрубно-димогарних котлів показав, що не дивлячись на суттєві відміни конструктивних рішень водотрубних та жаротрубно-димогарних котлів, таке пристосування можливе, але для цього треба внести в чинний нормативний метод описані вище зміни.

Перспективи подальших досліджень. Для верифікації та уточнення запропонованих доповнень до нормативного методу «Тепловий розрахунок котельних агрегатів» необхідно провести ряд натурних еколого-теплотехнічних випробувань діючих водогрійних жаротрубно-димогарних котлів різної конструкції. За результатами цих випробувань слід внести уточнення і поправки до запропонованих доповнень, що можуть з'явитися, після чого починати процедуру надання офіційного статусу на рівні доповнення «Настанови» з теплового розрахунку жаротрубно-димогарного котлів

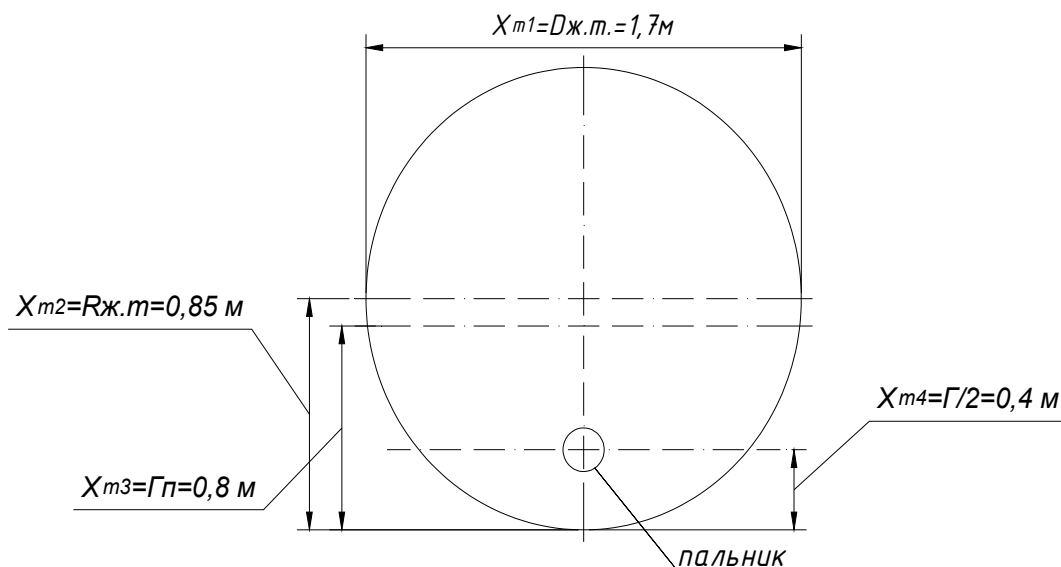


Рис. 1. Визначення відносного положення максимуму температури

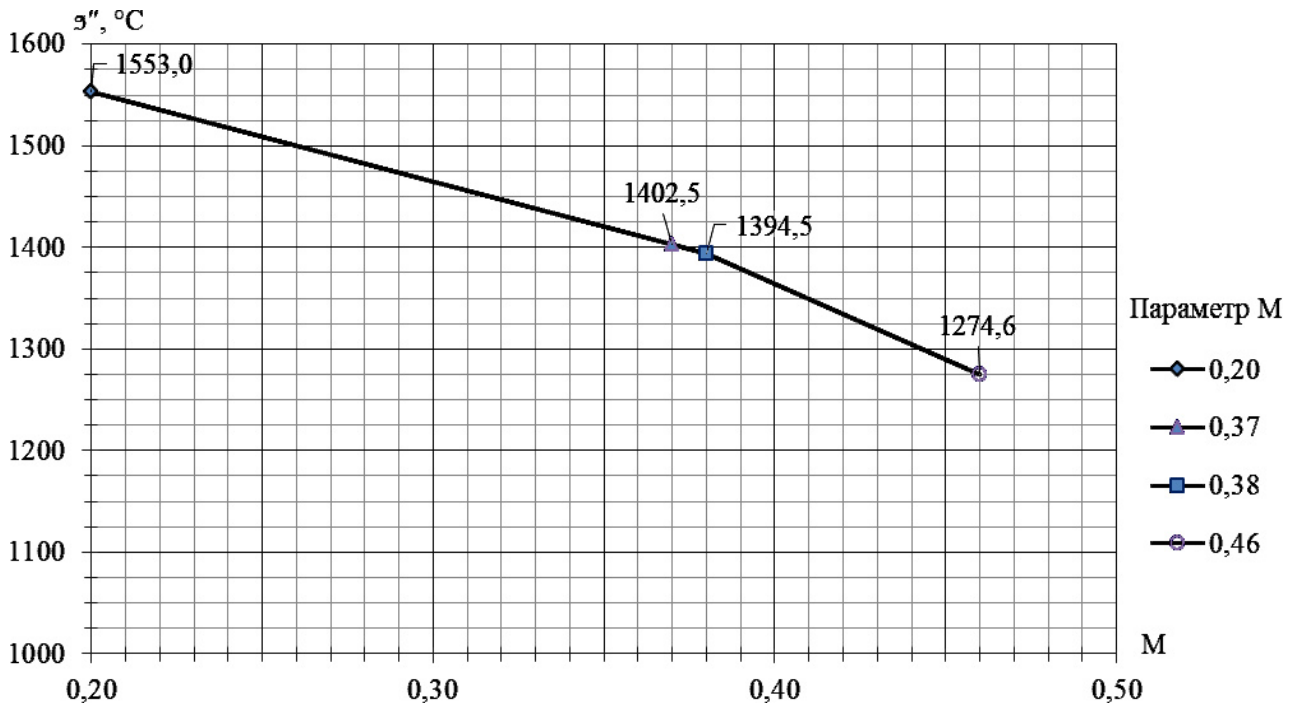


Рис. 2 – Графік залежності температури на виході з жарової труби від параметру М
де: \blacklozenge – при $x_m = 1,7$ м; \blacktriangle – при $x_m = 0,85$ м; \blacksquare – при $x_m = 0,8$ м; \ominus – при $x_m = 0,4$ м

Література

1. Хаванов П. А. Водогрейные котлоагрегаты малой мощности. Теплотехнические особенности применения / П. А. Хаванов // АВОК. – 2011. – № 5. – С. 66-76.
2. Тепловой расчёт котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н. В. Кузницова и др., Москва: «Энергия», 1973. – 256 с.
3. Верес А. А. О расчете теплообмена в топках жаротрубных паровых и водогрейных котлов / А. А. Верес, О. Г. Сапунов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011 – Т. 73. – № 5. – С. 58-60.
4. Хаустов С. А. Численное исследование процессов в жаротрубной топке с реверсивным факелом / С. А. Хаустов, А. С. Загорин, Р. Н. Фисенко // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 4. – С. 43-47.
5. Степанов Д. В. Експериментальні дослідження теплообміну в жаротрубному водогрійному котлі / Д. В. Степанов, С. І. Ткаченко, Л. А. Боднар // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 1. – С. 43-45.
6. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Изд. 2-е. / М. А. Михеев. – Москва: «Энергия», 1977. – 344 с.
7. Щеголев М. М. Котельные установки / М. М. Щеголев, Ю. Л. Гусев, М. С. Иванова. – Изд-во литературы по строительству, 1972. – 384 с.
8. Шорин С. Н. Теплопередача / С. Н. Шорин. – Издательство «Высшая школа», 1964. – 491 с.

References

1. Khavanov P. A. "Vodogreinye kotloagregaty maloi moshchnosti. Teplotekhnicheskie osobennosti primeneniia." AVOK, № 5, 2011.
2. Teplovoi raschet kotelnykh agregatov (Normativnyi metod), Energiia, 1973.
3. Veres A. A., Sapunov O. G. "O raschete teploobmene v topkakh zharotrubnykh parovykh i vodogreinykh kotlov." Energoberezhenie i vodopodgotovka, vol. 73, № 5, 2011.
4. Khaustov S. A., Zavorin A. S., Fisenko R. N. "Chislennoe issledovanie protsessov v zharotrubnoi topke s re-versivnym fakelom." Izvestiia Tomskogo politekhnichnogo universitets, vol. 322, № 4, 2013.
5. Stepanov D. V., Tkachenko S. I., Bodnar L. A. "Eksperymentalni doslidzhennia teploobminu v zharotrubnomu vodogriinomu kotli." Visnyk Vinnytskogo politekhnichnogo instytutu, № 1, 2008.
6. Mikheev M. A. Osnovy teploperedachi. Energiia, 1977.
7. Shchegolev M. M., Gusev, Yu. L., Ivanova M. S. Kotelnye ustanovki. Izd-vo literatury po stroitelstvu, 1972.
8. Shorin S. N. Teploperedacha. Vysshaia shkola, 1964.

УДК 621

Возможности использования нормативного метода «Тепловой расчет котельных агрегатов» для расчета жаротрубно-дымогарных котлов

П. М. Гламаздин¹, М. А.Криворук², Р. Шварценбергер³

¹доц. Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, sib.kiev@gmail.com

²студ. Київського національного університету будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, mariastepanenko18@gmail.com

³ген. директор, фірми BBS GmbH, м. Фрайберг, Німеччина

Аннотация. Последние годы в системах централизованного теплоснабжения городов Украины получила распространение практика использования жаротрубно-дымогарных водогрейных котлов при замене отслуживших свой эксплуатационный срок водогрейных котлов в отопительных котельных. При этом жаротрубные котлы могут быть использованы как импортные, так и отечественные. Проектирование котельных с такими котлами и, особенно, их конструирование часто требует проведения теплового расчёта котла, или проверочного, или конструктивного. В этом случае возникает проблема. Действующий в Украине нормативный документ "Тепловой расчёт котельных агрегатов" не содержит указаний по расчёту жаротрубно-дымогарных котлов. Он даёт требования к расчёту водогрейных и паровых котлов, к тому же только с мощностью более 75 т/час. Такие требования не всегда можно использовать напрямую. Например, для жаротрубно-дымогарных котлов используются жаровые трубы с волнистой поверхностью стенок. Такой случай не предусмотрен в нормативном документе. Среди прочего, возникают трудности по определению параметра М, учитывающего характер распределения температуры по высоте жаровой трубы и зависящего от относительного местонахождения максимальной температуры пламени. Наличие таких проблем обуславливает необходимость разработки специального нормативного документа с рекомендациями по выполнению теплового расчёта жаротрубно-дымогарных котлов или дополнения к действующему нормативному документу, посвящённого решению этой проблемы. Сформулированы описание основных проблем, которые возникают при выполнении теплового расчёта жаротрубно-дымогарных котлов с помощью действующего в Украине нормативного документа «Тепловой расчёт котельных агрегатов» и показан путь их решения.

Ключевые слова: жаротрубно-дымогарные котёл, тепловой расчёт, коэффициент теплообмена.

UDC 621

Features of Using the Regulatory Method "Thermal Calculation of Boiler Units" for Firetube Boilers

P. Glamazdin¹, M. Kryvoruk², R. Schwarzenberger³

¹PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, sib.kiev@gmail.com

²student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, mariastepanenko18@gmail.com

³general director, BBS GmbH, Freiberg, Germany

Abstract. In recent years, the practice of using fire-tube and fire-fighting water-heating boilers in the replacement of service water heating boilers in boiler-houses has become commonplace in the district heating systems of the cities of Ukraine. In this case, fire-extinguishing boilers can be used both imported and domestic. Designing boiler houses with such boilers and especially their construction often requires a heat calculation boiler, either test or constructive, but there is a problem. The normative document "Heat Calculation of Boiler Units" operating in Ukraine does not contain any instructions on calculation of fire-tube and boiler boilers. He gives orders for the calculation of water heaters and steam boilers, in addition, only with a capacity of more than 75 t / h. These guidelines can not always be used directly, directly. For example, for fire-tube and fire-fired boilers, heat pipes with a wavy wall surface are used. Such a case is not provided in the Normative document. There are difficulties in determining the parameter M which takes into account the nature of the temperature distribution along the height of the flue pipe and depends on the relative location of the maximum flame temperature and some others. The presence of such problems necessitates the development of a special regulatory document with recommendations for the heat calculation of fire-fueled boiler boilers or an annex to the current normative document devoted to solving this problem. A description of the main problems that arise during the heat calculation of fire-tube and boiler boilers with the help of the normative document "Heat calculation of boiler units" in Ukraine is presented and the way of their solution is shown.

Keywords: fire-tube-smoke boiler, heat calculation, heat transfer coefficient.

Надійшла до редакції / Received 02.09.2018