

О. В. ЄФІМОВ, В. Л. КАВЕРЦЕВ, В. О. ДЯГІЛЄВ

ВПЛИВ ОСОБЛИВОСТЕЙ АЕРОДИНАМІКИ ФАКЕЛА НА КОМПЛЕКСНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ МУЛЬТИПАЛИВНОГО КОТЛА

Метою даної статті є проведення аналізу щодо впливу аеродинаміки факела на комплексну ефективність роботи мультипаливного котла. До поняття комплексної ефективності входять: надійність, маневреність, екологічна безпека та економічність роботи котлів. Розглянуто залежність зазначених показників від особливостей аеродинамічної організації топкових процесів при використанні вихрових та плоскофакельних пальників. Наголошується на визначальній ролі аеродинамічної організації топкових процесів на ефективність роботи котлів при спалюванні всіх видів енергетичних палив.

Ключові слова: паровий котел, топка, пальниковий пристрій, факел, аеродинаміка, паливо.

O. EFIMOV, V. KAVERTSEV, V. DYAHILIEV

EFFECT OF THE SPECIFIC FEATURES OF THE TORCH AERODYNAMICS ON THE INTEGRATED EFFICIENCY OF THE MULTIFUEL BOILER

This scientific paper gives the literature review emphasizing that the overwhelming majority of the operated boilers are equipped with vortex burners. These burners are characterized by an increased NO_x formation, low operation reliability of screen tubes and convective heating surfaces, small maneuverability range and insufficient economical indicators. The defining role of the aerodynamic organization of the furnace processes affecting the operation efficiency of the boilers was shown for the case of the combustion of the energy fuels of a different type. Hence, the problems of an increased reliability, maneuverability, environmental safety and economical operation of the boilers are rather topical. The above problems faced by Ukraine today have been essentially exacerbated due to the fact that most boilers of the thermal power plants have a depleted resource and the production of new boilers (especially high power boilers) was actually stopped. The use of vortex burners with the traditional counter layout on the two opposite furnace walls is peculiar for the overwhelming majority of modern high power boilers in Ukraine and abroad. In this case, the central zone of the furnace is designed to provide the collision of the burner torches of opposite walls and a high-temperature burning core is created. In the case of gas-oil boilers, the availability of the high-temperature core results in an intensified formation of the thermal nitrogen oxides and a decreased operation reliability of the metal of furnace screens. The torch throw onto the side furnace walls during the combustion of fuel oil results in an essential decrease of the operation reliability of the screen tubes due to a high-temperature hydrogen sulfide corrosion. This paper highlights the issues of the effect of the specific features of the torch aerodynamics on the integrated efficiency of the boiler operation and the optimization of the layouts for the combustion of energy fuels in the multifurnace boilers for further reconstruction of the boilers to reduce the emission of harmful substances, increase reliability and economy of their operation and enlarge the steam load carrying range.

Key words: steam boiler, furnace, burner device, torch, aerodynamics and fuel.

Вступ

В даний час продовжує відбуватися поступове зниження потенціалу вітчизняного машинобудівного комплексу, що надалі призведе до значного відставання у проектуванні, впровадженні та освоєнні нових технологій отримання електричної та теплової видів енергій [1].

В умовах старіння енергетичного обладнання та посилення екологічних нормативів все більшої актуальності набувають питання модернізації, організації раціональної роботи, підвищення надійності, зниження витрат на обслуговування котельних агрегатів.

В сучасних умовах стає дедалі актуальнішим впровадження нових маловитратних технологій спалювання органічних палив у парових мультипаливних котлах. Також багато уваги приділяється комплексній ефективності мультипаливних роботи парових котлів. До поняття комплексної ефективності входять: надійність, маневреність, екологічна безпека та економічність роботи котлів.

Автори розглядають залежність зазначених показників від особливостей аеродинамічної організації топкових процесів при використанні вихрових пальників. Ці пальники набули переважного поширення на котлах України та країн зарубіжжя.

Мета роботи

Метою даної статті є проведення аналізу щодо впливу аеродинаміки факела на комплексну ефективність роботи мультипаливного котла. Розглянути залежність основних показників роботи котла від особливостей аеродинамічної організації топкових процесів при використанні вихрових та плоскофакельних пальників для подальшої реконструкції котлів з метою зниження викидів шкідливих речовин, підвищення надійності та економічності їх роботи, підвищення діапазону отримання парових навантажень.

Викладення основного матеріалу

При спалюванні газу та мазуту вихрові пальники зазвичай мають конструкцію, що забезпечує погіршене перемішування реагентів [2], [3]. На рис. 1 представлена схема пальника для двохступеневого спалювання газу і мазуту. Вони мають двопотокове введення в пальник природного газу. Центральне введення газу здійснюється через кільцевий газорозподільник з отворами, через які струмені газу потрапляють у потік повітря. Основна кількість газу подається кільцевим периферій-

© О. В. Єфімов, В. Л. Каверцев, В. О. Дягілев, 2022

ним каналом роздачі газу. Газорозвідні отвори спрямовані в невеликий концентричний простір повітряного каналу, з лопатковим завихрювачем. На периферії пальника розташований концентричний канал введення газів рециркуляції із завихрюючими лопатками. На підставі вище викладеного можна стверджувати, що пальник має складну конструкцію та характеризується низьким ступенем ремонтпридатності.

Через наявність концентрованого високотемпературного ядра факела, що має в умовах ступінчастого спалювання значну світимість як при спалюванні газу, так і особливо мазуту, лопаткові завихрювачі пальників обгорають. При спалюванні мазуту відбувається найбільш інтенсивне обгоряння конічних газорозподільників і газових трубок, так як у цьому випадку вони не охолоджуються природним газом. Таким чином, значно знижується надійність роботи вихрових пальників.

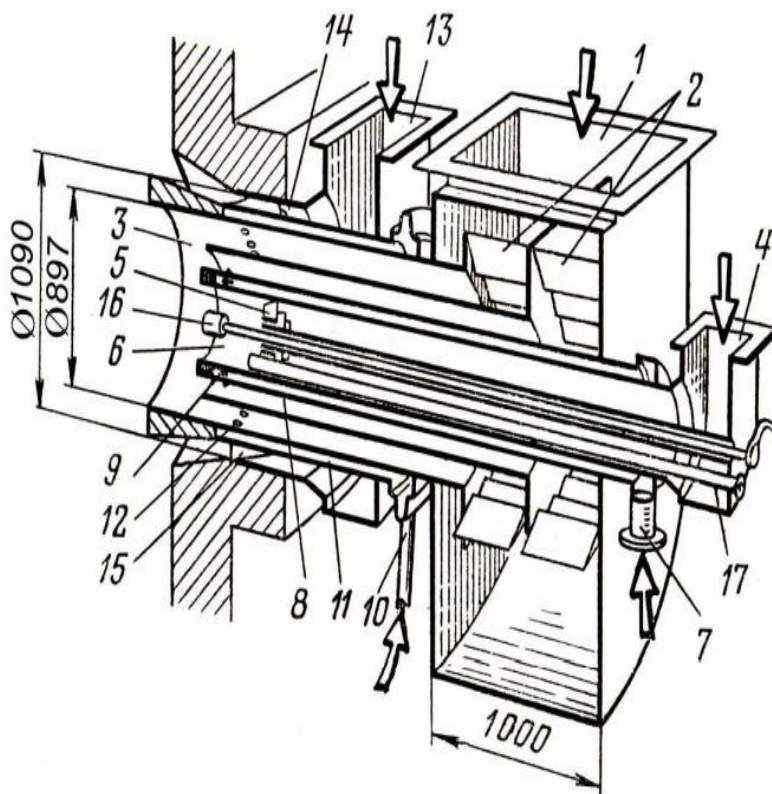


Рис. 1 – Типовий вихровий газомазутний пальник:

1 – равликовий короб подачі повітря; 2 – реєстр периферійного повітря; 3 – вихідний кільцевий канал периферійного повітря; 4 – короб подачі центрального повітря; 5 – завихрюючі лопатки центрального каналу подачі; 6 – вихідний кільцевий канал центрального повітря; 7 – труба підведення природного газу до центрального каналу; 8 – кільцевий канал подачі газу; 9 – вихідні отвори; 10 – підвідна труба для периферійної подачі газу; 11 – кільцевий периферійний канал роздачі газу; 12 – вихідні отвори периферійної подачі газу; 13 – короб подачі газів рециркуляції; 14 – кільцевий канал рециркулюючих газів; 15 – завихрюючі лопатки потоку газів рециркуляції; 16 – мазутна форсунка; 17 – запальний пристрій

За наявності високотемпературного ядра факела знижується також надійність роботи екранних труб через можливе перегрівання металу, що вимагає частих промивань труб для видалення відкладень солей з внутрішніх стін труб, так як в іншому випадку становище посилюється за рахунок підвищення термічного опору.

Найменшу надійність роботи металу труб має нижня радіаційна частина (НРЧ) бічних стін топки, бо вони сприймають радіаційне випромінювання з ядра факела, що має максимальну товщину шару, що випромінює. Центральні зони малих стін

топки мають найменший запас надійності проти пошкодження металу. Цей запас різко знижується при роботі на сірчистому мазуті через можливість виходу продуктів згоряння з ядра горіння в бік малих стін з накидом них полум'я, що містить сірководень [4]. Через прагнення знизити швидкість сірководневої корозії, крайні пальники доводиться зміщувати до осі великих стін топки, зменшуючи горизонтальний крок установки пальників. Але при цьому додатково підвищується температура газів у ядрі факела з усіма негативними наслідками, зазначеними вище.

Розглядаючи питання екології важливо відмітити, що у потужних топках із зустрічним розміщенням газомазутних вихрових пальників, у яких продукти згоряння рухаються вгору з великою швидкістю після зіткнення у великій площині симетрії топки, збільшення частки вторинного повітря з метою зменшення NO_x не є ефективним заходом. Це зумовлено кількома причинами: підвищенням сажетворення при спалюванні мазуту, зниженням далекобійності струменів вторинного повітря в умовах наявності слабкообмінних, але потужних вихрових зон над рівнем розміщення пальників верхнього ярусу та підвищеною відстанню від сопел до поздовжньої осі топки. Тому необхідно використання додаткового екологічного заходу – введення в топку газів рециркуляції з великою їх часткою. Однак цей захід супроводжується зниженням запасу по тязі та збільшенням температури газів перед регенеративним повітряпідігрівником (РВП), тобто зниженням економічності роботи котла.

Плоскофакельні пальники в свою чергу конструктивно простіші і тому характеризуються більшою мірою ремонтпридатності.

Аеродинамічний опір плоско факельних пальників у 1,7–1,8 рази менше, ніж вихрових. Це дозволяє збільшувати швидкості пальникових струменів (при необхідності) та струменя вторинного та третинного повітря без додаткових витрат електроенергії на тягу та дуття [5], [6]. При цьому для оптимізації топкової аеродинаміки плоскофакельні пальники та сопла можуть бути встановлені під кутом по відношенню до нормалі.

Плоскофакельні пальники (ПФГ) мають наступну аеродинаміку: факел і продукти згоряння рухаються віялоподібно вздовж осі пальника, зверху і знизу площини факела утворюється чотири вихори зворотних струмів топкових газів, осі яких розташовані паралельно осі пальника і два вихори по праву та ліву сторону пальника з вертикальними осями.

У цій роботі розглядаються чотири варіанти виконання, які зображенні на рис. 2.

Матеріали, отримані в результаті чисельних експериментів з різним конструктивним оформленням пальника та режимними параметрами, як наслідок з різними параметрами на вихідному перерізі пальника та картиною процесів топки, дозволили додати до наявних матеріалів сформулювати рекомендації щодо проектування ПФГ для спалювання різного газу:

1 Пальник повинен містити два потоки повітря у кожному похилому каналі (внутрішній і периферійний), що дозволить значно розширити діапазон робочих навантажень, зробити регулювання нахилу факела більш гнучким. Також слід передбачити подачу повітря через центральний канал.

2 Залежно від необхідних характеристик факела, умов спалювання та видів палива, що спалюється, вибирається кут подачі повітряних потоків. У разі спалювання виключно природного газу та достатньої глибини топкового простору кут між осями повітряних каналів слід приймати 40° – 50° . Чим менший кут, тим довше смолоскип із меншою шириною, тим далі розташовується зона максимальної температури.

Застосування ПФГ дозволяє значно впливати на аеродинаміку топкового об'єму, що значною мірою сприяє підвищенню екологічності роботи котельного агрегату, підвищенню його надійності, стійкості горіння вугільного пилу на малих навантаженнях.

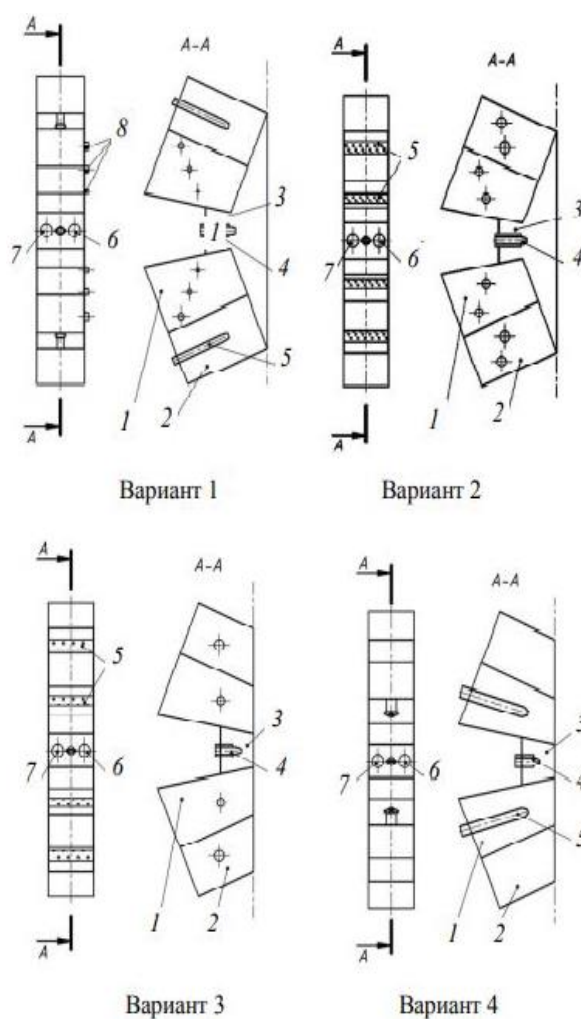


Рис. 2 – Варіанти конструктивного виконання плоскофакельного пальника:
1 – внутрішній канал; 2 – периферійний канал;
3 – центральний канал; 4 – центральна газова труба; 5 – периферійні газові колектори та газова труба відповідно; 6 – труба для запального пристрою; 7 – труба для датчика контролю факела; 8 – газові сопла

Можно говорить, що плоскофакельні пальники мають такі значні переваги порівняно з вихровими:

- при їх використанні утворюється менша кількість оксидів азоту;
- вони мають значно простішу конструкцію та більш високий ступінь ремонтпридатності;
- відрізняються меншим аеродинамічним опором.

Використання плоскофакельних пальників, струмені яких мають підвищену далекобійність, вимагає проведення додаткових розрахункових та експериментальних робіт з метою оптимізації топкової аеродинаміки. Тому дослідження на імітаційних моделях є визначальними для оптимізації аеродинаміки точної камери при використанні плоскофакельних пальників. Такі дослідження на передових комп'ютерних програмах з побудовою математичних моделей є визначальними для оптимізації аеродинаміки точної камери, завдяки яким з'являється можливість науково обгрунтовано розробити рекомендації щодо оптимізації процесу спалювання різних палив.

Висновки

В даний час продовжує відбуватися поступове зниження потенціалу вітчизняного машинобудівного комплексу, що надалі призведе до значного відставання у проектуванні, впровадженні та освоєнні нових технологій отримання електричної та теплової видів енергії.

В Україні зазначені проблеми значно загострилися у зв'язку з тим, що більшість котлів ТЕС виробили свій ресурс, а виробництво нових котлів (особливо великої потужності) практично припинилося.

В даній роботі відмічено, що переважна більшість експлуатованих котлів забезпечені пальниками вихрового типу. На цих котлах мають місце підвищення утворення NO_x , низька надійність роботи екранних труб та конвективних поверхонь нагріву, малий діапазон маневреності та недостатні показники економічності. Показана визначальна роль аеродинамічної організації топкових процесів на ефективність роботи котлів при спалюванні всіх

видів енергетичних палив. При успішному конструктивному оформленні плоскофакельні пальники дозволяють забезпечити спалювання газу і інших видів палива з значно вищими показниками порівняно з вихровими пальниками.

Список літератури

1. Каверцев, В. Л. Огляд проблем ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів в промисловому секторі України та можливі оптимальні шляхи їх вирішення / В. Л. Каверцев, В. О. Дягілев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 10(1232). – С. 92–96. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2078-774X. – DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2017.10.13>.
2. Росляков, П. В. Нестехіометричне спалювання природного газу та мазуту на теплових електростанціях / П. В. Росляков, І. А. Закіров. – 2001. – 144 с.
3. Мейкляр М. В. Сучасні котельні агрегати ТКЗ / М. В. Мейкляр. – Енергія, 1978. – 224 с.
4. Парогенератори / За загальною ред. Ковальова А. П. – Вища школа, 1985. – 376 с.
5. Захист навколишнього середовища від викидів сірчистих сполук у теплоенергетиці / О. В. Єфімов, В. Я. Горбатенко та ін. – Харків : Підручник НТУ «ХПІ», 2016. – 132 с. – ISBN 978-617-678-067-8.
6. Жіхар Г. І. Фізико-хімічні процеси в газомазутних котлах / Г. І. Жіхар. – Мінск : Тэхналогія, 2002. – 325 с.

References (transliterated)

1. Kavertsev, V. and Dyaghilev, V. (2017), "Reviewing an Efficiency of the Use of Fuel and Power Resources for the Industry of Ukraine", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 10(1232), pp. 92–96, ISSN 2078-774X, <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2017.10.13>.
2. Roslyakov, P. V. (2001), *Nestekhiometricheskoe szhiganie prirodnogo gaza i mazuta na teplovykh elektrostantsiyakh* [Non-stoichiometric combustion of natural gas and fuel oil at thermal power plants], MEI, 144 p.
3. Meyklyar M. V. (1978), *Sovremennye kotel'nye agregaty TKZ* [Modern boiler units TKZ], Energiya, 224 p.
4. Kovalev A. P. (Ed.) (1985), *Parogeneratory* [Steam generators], Energoatomizdat, 376 p.
5. Yefimov O. V., Gorbatenko V. Ya. et al. (2016), *Zashhita okruzhajushhej sredy ot vybrosov sernistykh soedinenij v teplojenergetike* [Protection of the environment from emissions of sulfur compounds in heat power engineering], Textbook of NTU "KhPI", Kharkov, 132 p., ISBN 978-617-678-067-8.
6. Zhikhar G. I. (2002), *Fiziko-himicheskie processy v gazomazutnykh kotlah* [Physicochemical processes in gas-oil boilers], Technologiya, Minsk, 325 p.

Надійшла (received) 12.11.2022

Відомості про авторів / About the Authors

Єфімов Олександр Вячеславович (Efimov Olexander) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: AVEfimov22@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3300-7447>.

Каверцев Валерій Леонідович (Kavertsev Valerii) – кандидат технічних наук, доцент кафедри парогенераторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: kaverseff@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9472-1658>.

Дягілев Вадим Олександрович (Dyahiliev Vadym) – аспірант, кафедри парогенераторобудування, технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: dyaga.v@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6823-7221>.