ЕНЕРГЕТИКА

УДК 662.6
DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.2/01

Абдулін М.З.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Куник А.А.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ОДНО- ТА БАГАТОПАЛИВНИХ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

У статті представлено результати порівняльного аналізу різних видів пальників та технологій спалювання, зокрема тих, що здатні працювати лише на одному виді палива, та тих, що працюють на двох та більше.

На багатьох вогнетехнічних енергетичних об'єктах передбачено використання кількох видів палива, наприклад, природного газу як основного, пропан-бутану як резервного, а мазуту як аварійного. Але на сьогоднішній час існує проблема однаково ефективної організації топкового процесу одним пальниковим приладом для різних видів палива. Для вирішення даної проблеми вже довгий час спеціалісти працюють над розробленням універсальної технології спалювання і, як наступний логічний крок, над впровадженням універсального пальникового приладу. Вирішення цієї проблеми було б доволі корисним для промисловості, особливо у військовий час. Проте, наразі потрібно зрозуміти, чи в цілому використання двох і більше видів палива є економічно та екологічно вигідним, на тривалих проміжках часу. Попередньо проаналізовані дослідження показують, що термін окупності при заміні однопаливного пальника на багатопаливний настає не довше, ніж у випадку модернізації чи заміни будь-якої іншої частини вогнетехнічного об'єкту. А особливо швидко окуповуються інвестиції у випадку нестабільності цін на ринку палива, перебоїв в роботі інфраструктури тощо.

У статті досліджено існуючі напрацювання в розвитку технологій універсальних пальникових приладів та досвіду застосування комбінованих пальникових приладів. Проведено порівняльний аналіз, у ході якого було проаналізовано попередні досліди, та як результат – отримано аналітичні дані стосовно переваг та недоліків обох видів пальникових приладів, як одно-, так і двопаливних. Після чого зроблено висновки, що обидва варіанти мають переваги в деяких характеристиках, є потенційно корисними та актуальними, і подальші роботи повинні вестися в обох напрямках.

Ключові слова: *паливне господарство, комбіновані пальники, струменево-нишева технологія, універсальна технологія спалювання, аварійне та резервне паливо, екологічна безпека, надійність, воднева енергетика.*

Постановка проблеми. Нестабільна ситуація в енергетичній сфері штовхає до пошуку шляхів для забезпечення ефективного спалювання різних видів палива за допомогою одного пальникового приладу. При цьому необхідно забезпечити однакову ефективність робочого процесу пальникового приладу, а також часткові режими, без внесення вагомих змін у функціонування паливної інфраструктури та вогнетехнічного об'єкту в цілому.

Проте комбіновані пальники не просто дорожчі та складніші в розробці, монтажі та експлуатації, але й потребують значного дороблення паливного господарства. Такі процеси модернізації також дорого коштують, підвищують вимоги до безпеки, а після завершення, розширене господарство зазвичай займає більше місця на об'єкті. А у випадку з існуючим вогнетехнічним об'єктом це ще й не завжди можливо, через те, що не в кожному вогнетехнічному об'єкті проєктом було передбачено достатньо простору для можливих реконструкцій і т.д.

Аналіз останніх досліджень і публікації. На сьогоднішній день, існує доволі небагато дослі-

джень присвячених порівнянню комбінованих пальникових приладів та звичайних однопаливних. Такими порівняннями зазвичай займаються компанії виробники комбінованих пальників та підрядні організації, що займаються їх встановленням. Проте, важливо провести такі дослідження саме спираючись на комерційні дані, та з наукової точки зору, звертаючи увагу на існуючі наукові публікації [1, 2].

На даний момент, на ринку представлено немало моделей комбінованих пальникових приладів (Dunphy, Riello, Bentone, Buttner), при чому деякі з них існують вже доволі давно. В основному це пальники призначені для спалювання лише двох видів палива. На жаль досі нема рішення, яке б дозволило однаково ефективно спалювати різні види палива, без внесення конструкційних змін в пальниковий прилад. Для прикладу добре відомі пальники моделі ГМП, що являються яскравим прикладом найбільш поширеної технології спалювання з закруткою потоку окиснювача.

Набагато рідше зустрічаються роботи по універсальній технології спалювання. Серед вітчизняних варто виділити струменево-нишеву технологію розроблену в Національному технічному університеті України «КПІ ім. І. Сікорського», що активно розвивається в напрямку того, щоб стати по справжньому універсальною технологією спалювання, як мінімум газоподібних палив [3, 4, 5].

Окрім комбінованих та універсальних технологій спалювання, останнім часом з'являється все більше наукових робіт присвячених використанню домішок водню. Зокрема, колектив науково-технічних співробітників які працюють над покращенням струменево-нишевої технології також проводять роботи по застосуванню домішок водню, для створення універсальних пальникових приладів [1, 4]. Водень, та пропан-бутан про використання яких в рамках досліджень комбінованих та універсальних пальникових приладів, згадувалося раніше, являються особливо цікавими коли мова йде про ціну, надійність та екологічність паливного господарства, а також розвинену інфраструктуру, та способи зберігання. Частково тому, що водень та пропан-бутан є крайньо вибухонебезпечними видами палива, та потребують особливої пильності та акуратності в їх зберіганні. В свою чергу, залежно від рівня стиснення, пропан-бутанове паливне господарство може вважатися доволі високотехнологічним та потребувати додаткової інфраструктури, фінансування чи великих енергозатрат.

Постановка завдання. Методи об'єкт та предмет досліджень. Метод дослідження – аналітичні дослідження досвіду застосування комбінованих пальникових приладів, конструкції їх паливного господарства та додаткової інфраструктури. Порівняльне дослідження роботи вогнетехнічних об'єктів на комбінованих та однопаливних пальникових приладів, їх характеристик, таких як ефективність роботи (для комбінованих пальників окремо для кожного виду палива), екологічні параметри, витрати електроенергії на власні потреби і т.д.

Об'єкт дослідження – технології та підходи, що дозволяють спалювати однаково ефективно різні види палива, та інші технології, що розраховані на спалювання одного виду палива.

Предмет дослідження – вогнетехнічні об'єкти, найбільш розповсюджені пальникові прилади комбінованого типу та стандартні, паливні господарства, універсальні струменево-нишові пальникові прилади.

Виклад основного матеріалу. Вже доволі довгий час на різних вогнетехнічних об'єктах, а особливо ТЕЦ та котельнях застосовуються пальники здатні спалювати не лише один вид палива. Хоча до цього кілька десятиріч домінували виключно однопаливні пальники та об'єкти. До цього, більшість ранніх печей, перших моделей транспортних засобів і т.д. могли працювати на великому діапазоні палив.

Такий виток історії змушує задуматися, що обидва варіанти як багатопаливний так і однопаливний заслуговують на існування і скоріш за все жоден з них поки не є набагато більш ефективним за інший. Здавалося б, можливість працювати на декількох видах палива є очевидною перевагою, адже підвищує надійність об'єкта. Проте значним мінусом є те, що жодна технологія досі не дозволяє однаково ефективно спалювати два і більше види палива. Крім цього встановлення комбінованих пальникових приладів потребую додаткових інвестицій як в сам пальник, що коштує дорожче, так і в кожне окреме паливне господарство.

Саме тому важливо перед прийняттям рішення про встановлення певного типу пальників на об'єкт, чи перед заміною одного типу на інший, провести детальні розрахунки економічної вигоди від двох варіантів, при цьому враховуючи можливі флуктуації цін на ринку пального, а також враховуючи ряд негативних факторів, що можуть впливати на підприємство. Адже якщо не брати до уваги такі чинники, то майже в будь-якому випадку більш ефективним буде вважатися варіант з одним видом палива, в той час, як дво- або багатопаливні пальникові прилади проявлятимуть

увесь свій економічний потенціал за умови, що враховані, як коливання на ринку, так і можливість виникнення непередбачуваних ситуацій.

Якщо ціна самих пальників не буде відрізнятися, та й самі по собі вони є далеко не найдорожчою складовою енергетичного вогнетехнічного об'єкту, то набагато важливим є правильно прорахувати вартість паливного господарства, та всіх допоміжних систем, наприклад подрібнювачі вугілля (див. рис. 1), чи випаровувачі пропан-бутану (див. рис. 2) і т.д. [2].

Рис. 1. Вугледробильна установка

Рис. 2. Випаровувач пропан-бутану

Використання двох та більше видів палива, для підвищення рівня економічності та надійності, річ далеко не нова. А на даний момент ще й отримала новий виток у популярності. Станом на сьогодні, багато наукових праць, та патентів присвячено використанню двох видів палива різними транспортними засобами, починаючи від автомобілів, де газобалонне обладнання не було нічим новим (а кількість таких машин уже стабільно наближається до кількості електрокарів та традиційних автомобілів) та закінчуючи гігантськими океанськими лайнерами. В автомобілях зазвичай використовують пропан-бутан та бензин/дизель (див. рис. 3). Типове співвідношення дизелю до газу становить 40/60% для високошвидкісних двигунів. Якщо робоча потужність двигуна постійна і становить 70–80% від номінальної потужності, співвідношення може досягти і 30/70% [6].

Рис. 3. Газобалонне обладнання сучасного автомобіля

Двопаливні пальникові прилади пропонують комбінацію газових і масляних можливостей, забезпечуючи кілька переваг [7]:

1. **Гнучкість використання палива:** двопаливні пальники дозволяють користувачам перемикатися між видами палива, забезпечуючи безперебійну його подачу, навіть якщо одне джерело палива стає недоступним. Така універсальність робить їх привабливими варіантами для галузей промисловості, які прагнуть оптимізувати використання палива та зменшити експлуатаційні витрати.
2. **Енергоефективність:** такі пальники можна налаштувати на роботу з найбільш економічно ефективним джерелом палива, що сприяє ефективності та економії коштів.
3. **Контроль викидів:** такі пальники забезпечують можливість переходу на більш чистий вид палива, саме тоді, коли екологічні норми вимагають негайного зниження викидів.
4. **Економічність:** Можливість перемикання видів палива забезпечує не лише робочу гнучкість і стійкість до збоїв у постачанні палива, але й дозволяє під час коливань цін на різні види палива, сфокусуватися на використанні більш рентабельного.
5. **Адаптивність:** Двопаливні пальники оснащені системами керування, які допомагають комфортно перемикати види палива на основі попередньо визначених критеріїв, гарантуючи безперервну роботу та оптимальну ефек-

тивність. Ця адаптивність робить пальники з двома видами палива цінним активом у галузях, де доступність палива та вартість можуть значно відрізнятися.

Двопаливні пальники зазвичай використовуються на електростанціях, в інших промислових котлах, та в технологічних системах опалення. Їхня здатність працювати на різних видах палива робить їх ключовим компонентом систем керування пальниками, що забезпечує плавний перехід між джерелами палива [8, 9].

В цілому, ситуація з двох- та однопаливними пальниковими приладами майже повністю повторю, те як це працює з автомобільними двигунами. Тому коротко пройдемося по двопаливних автомобільних ДВС, а саме по їх перевагах:

1. **Ефективність:** найбільшою перевагою двопаливної системи є те, що завжди використовується найефективніше паливо для завдання, тому ці системи значно ефективніші для роботи понаднормово порівняно з однопаливним двигуном. Зберігання палива також спрощене, дозволяючи збільшити час між заправками дизеля або зменшити розмір необхідних резервуарів для зберігання.

2. **Екологічність:** обмеження спалювання дизельного палива, як це робить двопаливний генератор або інший двигун, може значно знизити кількість твердих часток, CO^2 та інших викидів, що викидаються в атмосферу. Вони також можуть допомогти у вловлюванні спаленого газу, використовуючи побічні продукти, які інакше були б викинуті даремно.

3. **Економія коштів:** різниця у витратах на паливо може досягати 50% порівняно з однопаливною системою.

4. **Довший час роботи:** під час тривалих відключень електроенергії оператори можуть підтримувати роботу критично важливих програм довше, не будучи настільки залежними від дизельного палива [10].

Як ми говорили раніше, двопаливні рішення, застосовують не лише в наземному транспорті та в енергетичних об'єктах, але й на кораблях, від малих, до гігантських.

Природно, корабель, який працює на більш ніж одному паливі, має свої власні труднощі, які потрібно подолати. Зрештою, ніколи не буде просто долити в бак дизельного палива альтернативне паливо, наприклад аміак, і відправитися на зворотний шлях. Як правило, двопаливні кораблі повинні бути розроблені такими з самого початку, щоб підтримувати більше ніж один тип палива (див. рис. 4). Це тому, що двопаливне судно – це щось більше, ніж просто двигун. Для початку має бути місце для двох окремих паливних баків. Для цього також потрібні відповідні паливопроводи, системи кондиціонування, які контролюють тиск і температуру, а також фільтри для двох різних видів палива.

Рис. 4. Перше двопаливне судно класу Megamax

Запобіжні заходи, пов'язані з безпекою, також необхідно враховувати та впроваджувати, особливо коли мова йде про паливо з більш особливими вимогами до зберігання, наприклад аміак. Крім того, є сам двигун, для якого потрібні дві різні системи впорскування через специфічні властивості палива, включаючи рівні тиску, діаметри сопел і конструктивні особливості системи вприскування. Двигун також повинен адаптуватися до різних процесів згоряння.

Протягом наступного десятиліття і більше ми, ймовірно, побачимо, що інфраструктура для різних видів палива розвиватиметься різними темпами. Це означає, що доступність більш стійких видів палива значною мірою залежатиме від місця розташування та ресурсів. Протягом цього часу кораблі, що працюють на двох паливах, можуть відігравати все більшу роль у переході від дизеля до більш екологічних видів палива [12].

Висновки. Використання двох та більше видів палива на одному й тому ж об'єкті без внесення змін в його конструкцію є складною задачею. Це потребує доволі ретельних розрахунків робочого режиму пальника, чи двигуна внутрішнього згорання. Проте, існує багато об'єктів, де застосування двох та більше видів палива, не лише оправдане, але й потенційно, значно покращує економіко-екологічно показники.

Список літератури:

1. Абдулін М.З., Куник А.А., Сірий О.А. Підвищення реакційної здатності природного газу та пропан-бутану. Збірник праць: "Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики" – Київ, 2023 р.
2. Абдулін М.З., Куник А.А., Кобилянська О.О. Нові види резервного та аварійного палива. Збірник праць: «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики» – ІПЦ Алкон НАН України – Київ, 2020. 192с.
3. Абдулін М. З. Розроблення теплофізичних засад технологій спалювання палив із застосуванням струменево-нишових систем: дис. д.т.н.: Київ 2019. 83 с.
4. Абдулін М.З., Сірий О.А. Дослідження енергетичних показників струменево-нішової системи спалювання палива. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. (Ulrich's Periodicals Directory, ВІНІТІ). Харків. 2018. № 12/1288. С. 89-94.
5. Сірий О. А. Вплив параметрів струменево-нишевої системи на робочий процес пальникових пристроїв : дис. канд. техн. наук. : 05.14.14 – теплові та ядерні енергоустановки. Олександр Анатолійович Сірий. – Київ, 2016. – 198 с.
6. Natural Gas for High Horsepower (HHP) Summit. HHP Summit. URL: https://www.hhpsummit.com (дата звернення: 25.06.2024).
7. Which Burner; Gas, Oil, or Dual Fuel Burners – UKHVAC. UKHVAC. URL: https://ukhvac.co.uk/which-burner-gas-oil-or-dual-fuel-burners/#:~:text=Fuel%20Flexibility:%20Dual%20fuel%20burners,promoting%20efficiency%20and%20cost%20savings (дата звернення: 25.06.2024).
8. Choosing the Right Type of Industrial Burner. Filter. URL: https://filter.eu/choosing-industrial-burners/ (дата звернення: 25.06.2024).
9. Industrial oil and gas dual fuel burner_bntet burner. Boiler Gas burner,diesel burner,Biomass burner,light heavy oil burner,rotary kill burners,Asphalt plant burner,low temp burner,line burner,china Industrial burner-Bntet burner. URL: https://bntet-burner.com/news/Industrial-oil-and-gas-dual-fuel-burner.html (дата звернення: 25.06.2024).
10. 5 Things You Didn't Know About Bi-Fuel and Dual-Fuel – New & Used Generators, Ends and Engines. Houston, TX. Worldwide Power Products. Commercial & Industrial Generators. Houston, TX. Worldwide Power Products. URL: https://www.wpowerproducts.com/blog/generator-engine-fuels/5-things-you-didnt-know-about-bi-fuel-and-dual-fuel/#:~:text=Efficiency:%20The%20greatest%20advantage%20of,as%20a%20gas-powered%20car. (дата звернення: 25.06.2024).
11. Daley J. Two Fuels Are Better Than One. Illinois Tech Magazine. URL: https://magazine.iit.edu/fall-2017/two-fuels-are-better-one (дата звернення: 25.06.2024).
12. Present and future fuels in the shipping industry: Dual Fuels. Accelleron – The future of turbocharging today. URL: https://accelleron-industries.com/charge-magazine/present-and-future-fuels-in-the-shipping-industry-dual-fuels (дата звернення: 25.06.2024).

Abdulin M.Z., Kunyk A.A. SINGLE-FUEL BURNERS AND BURNERS WITH COMBINED FUEL, DIFFERENCES AND FEATURES

The article presents the results of a comparative analysis of different types of burners and combustion technologies. Namely, those that can work on only one type of fuel, and those that work on two or more.

At many fire-engineering power facilities, the use of several types of fuel is provided, for example, natural gas as the main fuel, propane-butane as a reserve, and oil as an emergency fuel. But today there is a problem of equally effective organization of the combustion process with one burner device for different types of fuel. To solve this problem, specialists have been working for a long time on the development of a universal combustion technology and, as the next logical step, on the introduction of a universal burner device. However, at the moment, it is necessary to understand whether, in general, the use of two or more types of fuel will be economically and environmentally beneficial. Previously analyzed studies show that the payback period is not much longer than in the case of modernization/replacement of any other part of the fire engineering facility. And investments are paid off especially quickly in the case of instability on the fuel market, and/or infrastructure disruptions and similar cases.

The article examines existing developments in the development of combustion, the creation of technologies of universal burner devices and the experience of using combined burner devices. A comparative analysis was conducted, during which previous experiments were analyzed, and as a result, analytical data was obtained regarding the advantages and disadvantages of both types of burner devices. After that, it was concluded that both options have advantages in some characteristics, are potentially useful and relevant, and further work should be conducted in both directions.

Key words: *fuel management, combined burners, jet-niche technology, universal combustion technology, emergency and reserve fuel, hydrogen energy.*