

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 662.951.23

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.5/44>**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»

ШЛЯХИ СТВОРЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ ТА КОМБІНОВАНИХ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

У статті представлено результати порівняльного аналізу різних підходів до організації ефективного спалювання різних видів палива використовуючи один пальниковий прилад.

На багатьох вогнетехнічних енергетичних об'єктах передбачено використання кількох видів палива наприклад природного газу в якості основного, пропан-бутану в якості резервного, а мазуту, як аварійного. Проте 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.

Проаналізовані дослідження показують, що позитивного ефекту можна досягти й за допомогою спалювання сумішей водневих палив, за рахунок приведення різних видів палив до подібної теплоти спалювання, числа Воббе та решти фізико-хімічних характеристик.

У статті досліджено існуючі напрацювання в розвитку спалювання, створення технологій універсальних пальникових приладів та досвіду спалювання водневих паливних сумішей. Проведено порівняльний аналіз, в ході якого було проаналізовано попередні дослідження, та як результат - виділено два підходи до організації ефективної роботи вогнетехнічного об'єкту на кількох видах палива. Після чого, отримано висновки, про те, що обидва цих підходи є потенційно корисними та актуальними і подальші роботи повинні вестися в обох напрямках.

Ключові слова: воднева енергетика, комбіновані пальники, струменеве-нишева технологія, універсальна технологія спалювання, аварійне та резервне паливо.

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, без внесення вагомих змін у функціонування паливної інфраструктури та вогнетехнічного об'єкту в цілому.

З точки зору технологічних процесів, надійності та економічності, завжди вигідно мати влюбий момент можливість тимчасово перейти на інший вид палива. Така необхідність може виникати у випадку проблем з постачанням основного палива. Наприклад, при пошкодженні магістрального газопроводу природного газу, районна котельня починає використовувати пропан-бутан

з газгольдера, поповнюючи його запаси за допомогою автоцистерн чи залізницею. Або ще один приклад: відбувається коливання на ринку природного газу, в зв'язку з чим, постачальники піднімають ціни, тому цукровому заводу в цьому сезоні вигідніше використовувати пропан-бутан, для підсвітки бурякового жому, як основного палива.

Така проблема завжди залишатиметься актуальною, адже більшість критичних вогнетехнічних об'єктів, по закону чи регламенту управляючої компанії зобов'язані мати резервне та аварійне паливне господарство. При чому палива повинні відрізнятися від основного. Так, наприклад пункт 7.2 ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні» передбачає обов'язкову наявність резервного палива для котельних потужністю більше ніж 25 МВт, при чому наказується розглядати ці види палива як

рівнозначні. Не варто забувати, що рано чи пізно такі об'єкти будуть змушені перейти до використання аварійного чи резервного палива, навіть у випадку, якщо не буде жодних проблем з основним паливом. Тому, що у палива закінчується термін придатності та його необхідно обновлювати, а об'єми сховищ резервного та аварійного палива розраховані на 10 та 3 дні роботи на номінальному режимі відповідно. Що являється доволі великим об'ємом, щоб просто нехтувати ним. Тому важливо розглянути любий метод, що дозволить ефективно спалювати різні види палива.

Аналіз останніх досліджень та публікації. На сьогоднішній день, існує багато досліджень та робіт присвячених комбінованим пальниковим приладам. На ринку представлено немало таких моделей, при чому деякі з них існують уже дуже давно. В основному це пальники призначені для спалювання двох видів палива. Нажаль 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 розповсюдженої технології спалювання з закруткою потоку окиснювача [1, с. 83].

Вони, заради можливості спалювати два види палива були доволі сильно збільшені в розмірі, та отримали два окремі паливні тракти (див. рис. 1а, б). Це значно погіршує структуру течії паливної суміші в зоні стабілізації полум'я, сумішоутворення та стабілізацію полум'я.



Рис. 1а. ГМП пальник

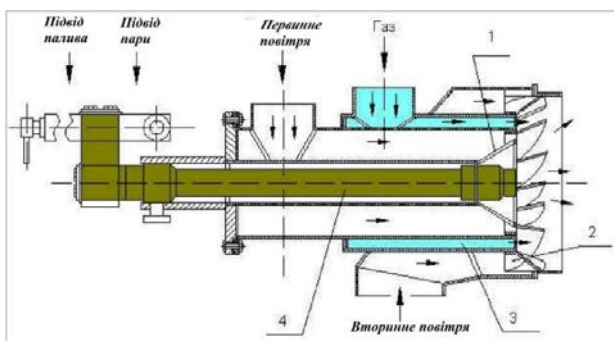


Рис. 1б. Схема ГМП пальника

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 [2, с. 89-94].

Окрім комбінованих та універсальних технологій спалювання, останнім часом з'являється все більше наукових робіт присвячених використанню домішок водню, для усереднення характеристик різних видів палив, що спрощує їх спалювання на одному пальниковому приладі. Як відомо природний газ має низьку реакційну здатність, що обумовлено його фізико-хімічними властивостями: теплота згорання (Q_H^P), температура горіння ($T_{Гmax}$), нормальна швидкість поширення полум'я ($U_{Нmax}$). А також різну теплотворну здатність з пропан-бутановими сумішами (див. табл. 1). В той час, як водень має високу реакційну здатність при меншій об'ємній теплотворній здатності в кілька разів.

Так, наприклад додавання водню до пропан-бутану, зменшує його теплоту згорання (Q_H^P), та приближає її до рівня природного газу. Це може значно спростити їх використання на одному об'єкті. Також можливо змішати водень з доменним чи коксовим газом, які мають в 12 та в 2 рази нижчу теплоту згорання чим у природного газу, зблизивши їх по значенню коефіцієнта Воббе (W). При цьому також значно покращується реакційна здатність цих газів, що дає додаткову стабільність горіння. Це важливо при роботі на різних видах палива з різними фізико-хімічними властивостями.

Перші експериментальні роботи по домішкам водню до низькорекційних палив показали можливість впливу на структуру факела в струменево-нишевій системі за рахунок зниження температури займання та розширення концентраційних меж горіння суміші.

Колектив науково-технічних співробітників які працюють над покращенням струменево-нишевої технології також проводить роботи по застосуванню домішок водню, для створення універсальних пальникових приладів.

Методи об'єкт та предмет досліджень. Метод дослідження – аналітичні дослідження існуючих найбільш розповсюджених технологій спалювання з точки зору можливості розробки багатопаливного пальникового приладу, без необхідності внесення значних конструкційних змін в його будову.

Об'єкт дослідження – технології та підходи, що дозволяють спалювати однаково ефективно різні види палива.

Предмет дослідження – струменево-нишеві модулі різної конфігурації, для спалювання пропан-бутану, природного газу, та інших газів, а також для використання водневих паливних сумішей з різною часткою водню.

Виклад основного матеріалу досліджень. За часи впровадження струменево-нишевої технології, проведено багато експериментальних досліджень по спалюванні різних видів палив. Дана технологія створювалася для спалювання природного газу. Доволі швидко розпочалися роботи по переведенню струменево-нишевого пальника на роботу на мазуті, пропан-бутані, генераторному, доменному та коксовому газах.

З фізико-хімічних властивостей природного газу впливали геометричні розміри самих пальникових модулів: кількість ($n_{отв}$), діаметром ($\varnothing_{отв}$) та кроком отворів ($s_{отв}$), що роздають газ, так і геометричними розмірами пальникового приладу, площею перерізу (F) повітроводу, відстанню між модулями, коефіцієнтом захаращення (K_F) і т.д. (див. рис. 2). Також ці властивості визначали і основні характеристики газорозподільчої системи.

Достовірність розрахунків підтверджувалась експериментальними дослідженнями на стійкість горіння по швидкості та коефіцієнту надлишку повітря. (див. рис. 3а, б).

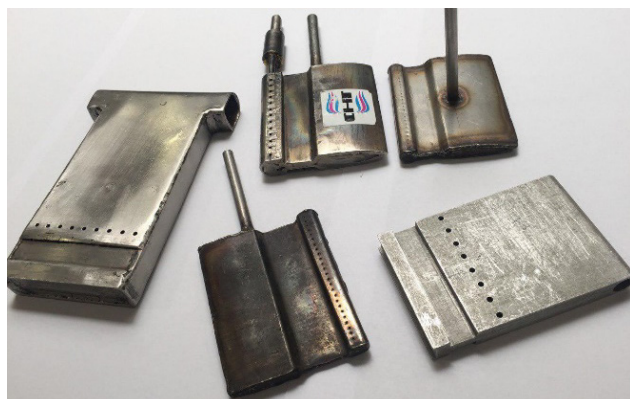


Рис. 2. Пальникові модулі перших моделей

При цьому варто відмітити, що струменево-нишева технологія відрізняється вкрай низьким критичним значенням коефіцієнту надлишку повітря (α) = 1,01–1,02 (в більшості інших α = 1,2), тобто то значення при якому починаються значні викиди COx, що зв'язані з недопалом. З рисунку 3.а видно, що технологія також забезпечує можливість роботи ПП на високих швидкостях суміші (Wc) = 80 м.

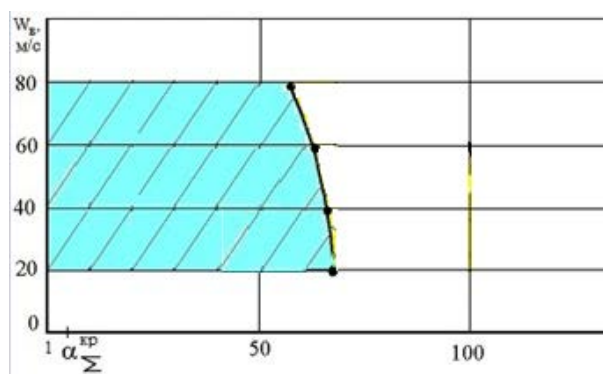


Рис. 3а. Границя стійкості горіння струменево-нишевої системи

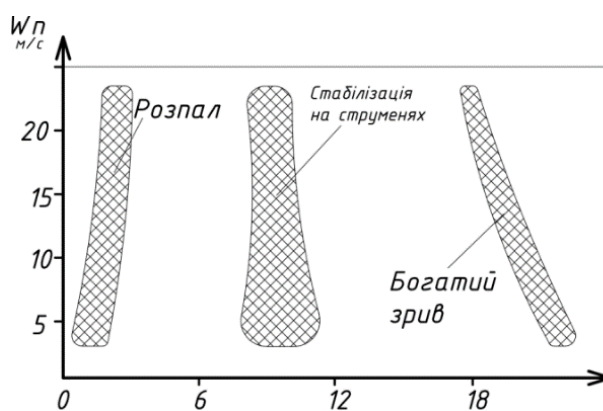


Рис. 3б. Границі спалювання в струменево-нишевій системі

Подальші дослідження спрямовані на адаптацію геометричних параметрів газорозподільчої системи струменево-нишевого модуля до роботи на пропан-бутані. Необхідно відзначити, що характеристики природного газу, та пропан-бутану доволі сильно відрізняються (див. табл. 1).

Попри таку відмінність ведуться роботи над створенням пальникового приладу, що міг би одночасно ефективно спалювати природний газ та пропан-бутан. Для цього розраховуються геометричні розміри газороздавальної системи пальникового модулю, які б підходили, як і для ефективного спалювання пропан-бутану та природного газу (див. рис. 4) [3].

Цікавим прикладом, являється пальниковий прилад, що може спалювати мазут та природний газ. Даний пальниковий прилад складається з двох частин – звичайних модулів пристосованих до роботи на природному газі, а позаду них розміщені модулі, що спалюють мазут.

Теплофізичні характеристики промислових горючих газів

Властивість газу	Одиниця	Газ			
		Метан	Пропан	Бутан	Водень
Густина	кг/м ³	0,717	2,004	2,703	0,090
Межа поширення полум'я:	– нижча C _H	5,0	2,2	1,9	4,1
	– вища C _B	15,0	9,5	8,5	75
Температура запалення t _{зап}	°C	645-850	530-568	490-569	530-596
Нормальна швидкість розповсюдження полум'я U _{Hmax}	см/с	29-33,8	39	37,9	315
Стехіометричний коефіцієнт:	– L _V	9,52	23,9	31,0	2,38
	– L _O	17,23	15,7	15,46	34,5
Нижча теплота згорання Q _H ^P	мДж/м ³	35,8	96,0	118,7	10,76
Температура горіння T _{Гmax}	°C	2040	2155	2118	2240
Енергія запалювання, Q _{зап}	мДж	0,48	0,39	0,38	0,019

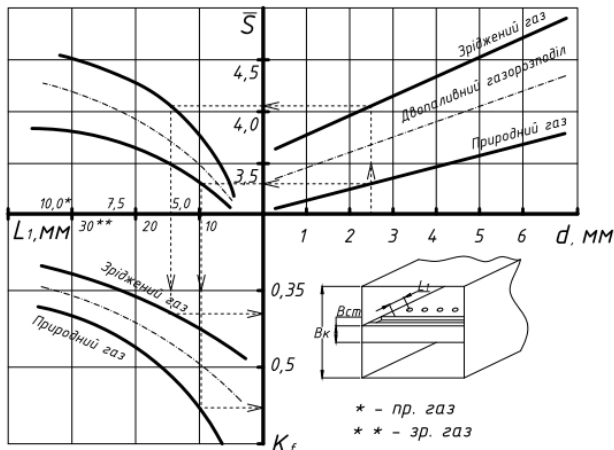


Рис. 4. Номограма для розрахунку пального пристрою СНТ



Рис. 5. Комбінований газо-мазутний струменево-нишевий паликовий прилад

В залежності від вибраного палива, один з цих блоків демонтується (процес демонтажу займає кілька хвилин, та не потребує складних операцій). При цьому не змінюється структура течії, якість сумішоутворення і т.д.

Окрім палив, що були згадані нижче, ведуться роботи по спалюванню низькокалорійних газів – доменного, коксового та генераторного. Такі гази звісно надзвичайно важко спалювати без підсвітки та без домішок висококалорійних газів, тим більше адаптувати до одночасного спалювання з іншими видами палива.

Струменево-нишева технологія за рахунок організованої структури течії та якісного сумішоутворення дозволяє високоефективно спалювати низькокалорійні гази: доменний Q_H^P = 650 ккал/м³ та генераторний Q_H^P = 1200 ккал/м³. (див. рис. 6, 7) Як видно газове паливо яке в наш час може цікавити експлуатантів вогнетехнічних об'єктів має доволі різні фізико-хімічні властивості (Q_H^P, U_H, ρ та інші) [4, с. 137–142].



Рис. 6. Спалювання доменного газу



Рис. 7. Спалювання доменного газу

Саме тому останнім часом було розпочато роботу над спалюванням водневих сумішей за допомогою струменево-нишевих пальникових модулів. Як показують дослідження, за допомогою домішок водню, можна привести до схожих фізико-хімічних параметрів такі палива, як наприклад пропан-бутан та природний газ. Експерименти з струменево-нишевими модулями, вже показують можливість спалювання водневих паливних сумішей, з широкими концентраційними межами водню (див. рис. 8) [5].



Рис. 8. Горіння палива з домішками водню в струменево-нишевому модулі

З дослідів, та послідууючого аналізу, видно, що задача по спалюванні різних видів палива на одному і тому ж пальниковому приладі є доволі складною. На даний час виходить лише мінімізувати втрату ефективності спалювання, при чому, чим під більшу кількість різних видів палива треба адаптувати технологію тим явно зменшується ефективність робочого процесу пальникового приладу. Намагатися адаптувати пальниковий прилад до одночасного спалювання видів палива, які за своїми характеристиками сильно відрізняються, являється майже недоцільним в зв'язку з необхідністю вкладати велику кількість коштів в зміну конструкції не лише пальникового приладу, але і в паливну інфраструктуру. Спалювати палива, що схожі за своїми характеристиками, можна як і застосовуючи комбіновані пальникові прилади, що конструкційно та режимно налаштовані на граничні режими, так і за допомогою домішок водню. Потенційно вигідним рішенням було б суміщення цих двох методів, тобто в першу чергу, приведення палив до схожих характеристик домішуванням водню з послідуочим розрахунком конструкційних та режимних параметрів комбінованого пальникового приладу.

Висновки. Розглянуті підходи мають великий потенціал розвитку, тому важливо і далі проводити роботи над їх вдосконаленням. Також варто розглянути комплексний підхід, та об'єднати ці два підходи в один, що являється потенційно непростю, але дуже важливою задачею. Важливу роль грає й технологія спалювання до якої застосовують дані підходи. В ході аналізу, струменево-нишева технологія показала, що на її основі можна створювати універсальну технологію спалювання, та відповідні пальникові прилади.

Список літератури:

1. Абдулін М. З. Розроблення теплофізичних засад технологій спалювання палив із застосуванням струменево-нишових систем : дис. д.т.н. : Київ 2019. 83 с.
2. 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, ВІНТІ). Харків. 2018. № 12/1288. С. 89-94.
3. Сірий О. А. Вплив параметрів струменево-нишової системи на робочий процес пальникових пристроїв : дис. ... канд. техн. наук. : 05.14.14 – теплові та ядерні енергоустановки / Олександр Анатолійович Сірий. - Київ, 2016. - 198 с.
4. 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. 192 с.
5. 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.

Abdulin M.Z., Kunyk A.A. WAYS OF CREATING UNIVERSAL AND COMBINED BURNING DEVICES

The article presents the results of a comparative analysis of various approaches to the organization of efficient burning of various types of fuel using one burner device.

At many fire-engineering power facilities, several types of fuel are used, for example, natural gas as the main fuel, propane-butane as a reserve, and fuel oil as an emergency fuel. However, 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 developing a universal combustion technology and, as the next logical step, on introducing a universal burner device.

The analyzed studies show that a positive effect can also be achieved by burning hydrogen fuel mixtures, by bringing different types of fuels to a similar heat of combustion, Wobbe number, and other physicochemical characteristics.

The article examines existing developments in the development of combustion, the creation of technologies for universal burner devices, and the experience of burning hydrogen fuel mixtures. A comparative analysis was carried out, during which previous experiments were analyzed, and as a result, two approaches to the organization of the effective operation of a fire engineering object on several types of fuel were distinguished. After that, it was concluded that both approaches are potentially useful and relevant and that further work should be conducted in both directions.

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