



Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет  
будівництва і архітектури

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища  
та охорони праці

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного  
простору НАН України  
Київська обласна рада

Підкомітет з питань містобудування, благоустрою та  
земельних відносин у межах території забудови Комітету  
Верховної ради України з питань організації державної влади,  
місцевого самоврядування, регіонального розвитку та  
містобудування

Державне підприємство «Науково-дослідний та  
конструкторсько-технологічний інститут міського  
господарства»

Одеський державний екологічний університет  
Національний університет «Львівська політехніка»

Національний університет  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потєбні  
Запорізького національного університету

Донбаська національна академія будівництва і архітектури  
(Краматорськ)

Академія будівництва України

Академія технічних наук України

Національна спілка журналістів України

International Technology Transfer Association (ITTA)

Агенція відбудови України

Ченстоховська політехніка

Азербайджанський архітектурно-будівельний університет

Грузинський технічний університет



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## Матеріали

### III Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction»

Генеральний спонсор  
Художня студія 22 ART HUB



Медійна підтримка

interfax-УКРАЇНА  
ІНФОРМАЦІЙНЕ АГЕНТСТВО



ПЕРШИЙ • УКРАЇНСЬКИЙ • ІНФОРМАЦІЙНИЙ



Київ 2024  
16-17 квітня

<b>Тkachenko T.M., Mileikovskiy V.O., Zakrevska A.O.</b> DESIGN SOLUTIONS OF THE COMBINATION OF VENTILATION SYSTEMS AND GREEN STRUCTURES	126
<b>Ільїна М.В.</b> РОЗБУДОВА СМАРАГДОВОЇ МЕРЕЖІ УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИРОДООХОРОННОГО ЗАКОНОДАВСТВА	129
<b>Іщук Л.П., Грабовий В.М., Іщук Г.П.</b> ЕЛЕМЕНТИ ТЕРАПЕВТИЧНОГО САДУ В НАЦІОНАЛЬНОМУ ДЕНДРОЛОГІЧНОМУ ПАРКУ «СОФІЇВКА» НАН УКРАЇНИ	132
<b>Kazhan K., Yakymets I., Shyshova M., Lagoda Yu., Verbenets B.</b> THIRD PARTY RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT FOR URBAN AIR MOBILITY	137
<b>Кирилюк В.П., Боровик П.М., Рожі Т.А.</b> ПРОТИЕРОЗІЙНИЙ КОМПЛЕКС ЯК ФАКТОР ПОДОЛАННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЕРОЗІЇ ҐРУНТІВ	143
<b>Клімова І.В., Мойсеєнко В.В.</b> ОГЛЯД БУДІВЕЛЬНИХ НОРМАТИВНИХ ТА ПРАВОВИХ ЗАСАД ЩОДО ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА	146
<b>Волошкіна О.С., Ковальова А.В.</b> ТЕМПЕРАТУРНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я РОБІТНИКІВ ПРИ ВЛАШТУВАННІ ТА РЕМОНТІ АВТОДОРОЖНОГО ПОКРИТТЯ	150
<b>Колієнко А.Г.</b> МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ	154
<b>Колошко Ю.В.</b> СТВОРЕННЯ ЗЕЛЕНИХ МІСТ ЗА УЧАСТЮ МІЖНАРОДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У ЗОНАХ З БОЙОВИМИ ДІЯМИ	159
<b>Колошко Ю.В.</b> ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З РІЗНИМИ СИСТЕМАМИ СЕРТИФІКАЦІЇ: LEED, BREEAM, DGNB ТОЩО	161
<b>Коптєва Г.Л.</b> ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПІШОХІДНИХ ЗЕЛЕНИХ МЕРЕЖ У СТРУКТУРІ СУЧАСНОГО МІСТА	163
<b>Коровка Д.А.</b> КОНЦЕПЦІЯ ЗЕЛЕНОГО УРБАНІЗМУ В СВІТІ	166
<b>Котовенко О.А., Мірошниченко О.Ю., Сегеда П.Ф.</b> ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТЕРИКОНІВ ВУГЛЕДОБУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ УТИЛІЗАЦІЇ	169
<b>Pushkarova K., Kochevykh M., Honchar O., Diachenko I.</b> PROBLEMS OF RECYCLING CONSTRUCTION GLASS	172
<b>Кравченко М.В., Тkachenko Т.М.</b> РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ КІЛЬКІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДОЩОВОГО САДУ В КОНТЕКСТІ УПРАВЛІННЯ ДОЩОВИМИ ВОДАМИ	176

Ф.Г. Яновського - НІФП НАМНУ, 2019. – 3 с. URL: <http://www.ifp.kiev.ua/doc/staff/pulmukr2018.pdf>

6. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібника для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ ФОП А.М. Панов 2016, 385 с.

## МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ

*Колієнко Анатолій Григорович<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Національний університет Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка, [pning.sterovaov@nupr.edu.ua](mailto:pning.sterovaov@nupr.edu.ua)*

Процеси декарбонізації стали трендами економічного розвитку країн Європейського Союзу. Україна прагне адаптуватися до Європейського «зеленого» курсу (European Green Deal) і це, передусім, передбачає використання чистих джерел енергії. У цьому напрямку проекти використання водню у якості палива для комунально-побутових і промислових споживачів визивають значний інтерес.

Крім проблем, пов'язаних з відсутністю нормативної бази для використання такого палива, проблем транспортуванням газу, що містить водень в газотранспортній і газорозподільній мережі країни, відсутністю електричної енергії, необхідної для генерації «зеленого водню», виникають суттєві питання, що пов'язані з можливістю його спалювати в існуючих газоспалювальних установках.

У цій роботі розглядається комплекс вимог до можливості заміни природного газу горючими газовими сумішами, що містять водень за умови збереження параметрів роботи газоспалювальних установок без суттєвої зміни конструкції і режимів роботи газопальникових і топкових пристроїв, а також тягодуттєвого обладнання і газових мереж. Таким чином, розглядається питання взаємозамінності існуючих горючих газів газоводневими сумішами.

У різних країнах діють різні критерії взаємозамінності горючих газів. Їх об'єднує міжнародний стандарт ISO 13686. В Україні чинними є вимоги ДСТУ ISO 13686:2015. «Природний газ. Показники якості» [1].

Згідно із нормативами і практикою спалювання газів основним критерієм взаємозамінності горючих газів є тотожність їх індексів Воббе. Визначення індекса Воббе виконується згідно з залежністю:

$$W_i = \frac{H_i}{\sqrt{d}} = \frac{H_i}{\sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_{нов}}}};$$

де  $H_i$  – нижча теплота згорання горючого газу<sup>1</sup>, МДж/м<sup>3</sup>;

$d$  – відносна густина горючого газу;

$\rho_g, \rho_{пов.}$  - густина горючого газу і повітря на горіння за однакових умов, кг/м<sup>3</sup>;

Тотожність (точна або приблизна) індексу взаємозамінності Воббе для двох газів свідчить про те, що теплова потужність паливоспалювальної установки при переході з одного виду газу на інший не буде суттєво змінюватись. Це гарантує отримання однакової кількості енергії від установки при переході з одного газу на інший.

Але ця умова ще не гарантує забезпечення усіх інших важливих характеристик процесу горіння, у тому числі:

1. Стабілізації фронту полум'я відносно відриву і проскоку полум'я.
2. Характеристик процесу теплообміну і забезпечення незмінної теплової потужності агрегату;
3. Повноту згорання і вихід продуктів хімічного недопалу;
4. Відсутність процесів утворення сажі і виникнення жовтих проблісків полум'я.
5. Забезпечення необхідної величини коефіцієнту надлишку повітря;
6. Підтримання сталої величини точки роси продуктів згорання.

Тому необхідна перевірка на інші критерії (індекси) взаємозамінності, котрі визначають можливість переходу пальника з одного виду газу на інший і внесені до нормативів. В різних країнах використовують різні індекси взаємозамінності. Зупинимось на деяких із них, котрі відображені в ISO 13686.

Перелік основних індексів взаємозамінності наведено в таблиці 1. Кожен із них дає можливість аналізувати ті чи інші небажані явища, котрі виникають при заміні газів.

З огляду на те, що ДСТУ ISO 13686:2015 є національним стандартом України, котрий регламентує показники горючого, у тому числі змішаного, були визначені величини основних індексів взаємозамінності для природного газу і його суміші з воднем. Це дало можливість виконати оцінку ступеню взаємозамінності цих горючих газів і можливість заміни природного газу водневою сумішшю з точки зору чинних нормативів.

**Індекс Кноу[2].** Згідно з визначенням, якщо для двох газів, індекс Кноу відрізняється більше за 5%, то газу не є взаємозамінними. Результати розрахунків показують, що для суміші водню і природного газу це має місце уже при умісті водню більше 20...25%. Теплова потужність установки при збільшенні частки водню у горючому газі буде зменшуватись. Отже такі газу є невзаємозамінними. Уміст водню у його суміші з природним газом більше 20% є небажаним за цим критерієм.

---

<sup>1</sup> Можливим є також визначення індекса Воббе за величиною вищої теплоти згорання

## Перелік основних методів і критеріїв взаємозамінності

Назва методи-ки або індексу	Країна	Перелік контрольованих параметрів процесу горіння в паливоспалювальній установці
Індекс Кноу	ЄС	Теплова потужність установки
Критерії Даттона	Великобри-танія Австралія	Відрив полум'я Жовті проблиски полум'я (сажоутворення) Повнота згорання
Метод Вівера	США	Повнота згорання Відрив полум'я Проскок полум'я Жовті проблиски полум'я Теплова потужність установки Забезпечення необхідної величини витрат дуттьового повітря (коефіцієнту надлишку повітря);
Метод АГА <sup>2</sup>	США	Відрив полум'я Проскок полум'я Жовті проблиски полум'я
Метод Дельбурга	Франція	Жовті проблиски полум'я Утворення сажі.

**Критерії Даттона [3].** До них відносяться:  $J_{CF(D)}$  - індекс неповноти згорання,  $J_{L(D)}$  - індекс відриву,  $J_{S(D)}$  - індекс сажоутворення.

За критерієм повноти згорання природний газ і його суміш з водним є взаємозамінними за будь якої концентрації водню у суміші.

Визначення індекс відриву Даттона свідчить про те, що при збільшенні об'ємної частки водню у суміші з природним газом більше 20...25% об. вона стає невзаємозамінною з природним газом. А спалювання такої суміші супроводжується небезпечним і недопустимим явищем проскоку полум'я.

Розрахунок індексу сажоутворення Даттона свідчить про те, що введення водню до складу природного газу не загрожує сажоутворенням. Таким чином за критерієм сажоутворення горючі суміші природного газу і водню є взаємозамінними.

**Метод Вівера.** Перевірка газів на взаємозамінність передбачає визначення таких індексів: індексу сталої теплової потужності,  $J_{H(W)}$ ; індексу забезпечення необхідною кількістю повітря на горіння,  $J_{A(W)}$ ; індексу відриву полум'я,  $J_{L(W)}$ ; індексу проскоку полум'я,  $J_{F(W)}$ ; індексу жовтих проблисків полум'я,  $J_{Y(W)}$ ; і індексу неповного згорання,  $J_{I(W)}$ .

Результати розрахунків величини індекса Вівера наведено в таблиці 2.

<sup>2</sup> АГА – американська газова асоціація

### Характеристики індексів взаємозамінності горючих газів за методом Вівера

Назва індекса взаємозамінності	Позначення	Нормоване значення індекса	Концентрація водню у суміші з природним газом, % об			
			0	10	30	50
Індекс сталої теплової потужності	$J_{H(W)}$	1(±5%)	1,0	0,95	0,92	0,87
Індекс забезпечення необхідною кількістю повітря на горіння	$J_{A(W)}$	1(±5%)	1,0	0,96	0,90	0,83
Індекс відриву полум'я	$J_{L(W)}$	1(±5%)	1,0	1,12	1,44	1,83
Індекс проскоку полум'я	$J_{F(W)}$	< 0,0	0,0	0,22	0,73	1,46
Індекс жовтих проблісків полум'я	$J_{Y(W)}$	< 0,0	0,0	- 0,04	- 0,01	-0,18
Індекс неповноти згорання	$J_{I(W)}$	< 0,0	- 1,09	-1,2	-1,5	-1,9

Аналіз отриманих даних показує що перехід з природного газу на суміш природного газу і водню у комунально-побутових і промислових паливоспалювальних установках призводить до наступних небажаних явищ, що виникають у процесі горіння:

- зменшенню теплової потужності пальника і газоспалювального агрегату у разі збільшення частки водню у суміші вище 10% об. і вище;

- протікання процесу горіння при завищених коефіцієнтах надлишку повітря, що буде супроводжуватись зменшенням ККД газоспалювальної установки і схильністю пальників без попереднього змішування з повітрям до відриву полум'я (у разі збільшення частки водню у суміші до 20% об. і більше);

- проскоку полум'я в корпус пальників попереднього змішування, що супроводжується аварійною ситуацією з погасанням факелу (у разі збільшення частки водню у суміші до 20% об. і більше).

Таким чином, за вищезазначеними критеріями і шкідливими явищами, що супроводжують процес горіння, природний газ і відповідні суміші його з воднем є невзаємозамінними.

У такому разі переведення газопальникових пристроїв з природного газу на суміш його з воднем повинно супроводжуватись обов'язковою реконструкцією газоспалювальної установки, тягодуттьових пристроїв, стабілізаторів горіння і режимів роботи пальників.

В той же час, за критеріями неповного згорання і жовтих проблісків полум'я, добавка водню до природного газу не призводить до явищ, що погіршують параметри процесу горіння.

Аналіз інших нормованих за [4] критеріїв і індексів взаємозамінності – індексів АГА і Дельбурга свідчить про факт відсутності взаємозамінності

природного газу і його суміші з воднем за умови ще меншого об'ємного умісту водню - близько 15-20% об.

Дослідження, що проведені автором при спалюванні нафтозаводського газу на Кременчуцькому НПЗ із змінною складовою водню від 15% до 54% об, показали, що спалювання газів із значною кількістю водню (більше 15% призводить до кардинальних змін у роботі газопальникових пристроїв і масового переходу їх роботи у режим проскоку полум'я. Змінюється також емісійна тепловіддача факелів і конвективний теплообмін на поверхнях нагрівання.

Об'єм і склад продуктів згорання при внесенні водню до горючої суміші також змінюються. Так, при переході на спалювання суміші з умістом водню до 30% об. об'єм продуктів згорання зменшується з 11,95 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> до 7,59 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> з одночасним зменшенням умісту CO<sub>2</sub> у складі продуктів згорання. Ці два фактори призводять до погіршення теплообміну у топках теплогенерувальних агрегатів. Отже, заміна одного горючого газу іншим на існуючому газоспалювальному обладнанні є складним інженерним процесом, який потребує детального і уважного розгляду. Питання зводиться до безпеки і ефективності використання горючого газу.

Аналіз свідчить про можливість спалювання горючих сумішей водню з природним газом за умови обмеження умісту водню в газі на рівні, не більше 15-20% об. Досягти практичної можливості використання газоспалювальних установок, що призначені для природного газу на горючих сумішах його з воднем у кількості, що перевищує 20...25% можна лише за умови зміни конструкції пальника і зміни тиску горючого газу перед пальником.

Використання газів з високим умістом водню вимагає перегляду нормативів з розрахунку теплообміну на поверхнях нагрівання теплогенерувального обладнання. З огляду на вищезазначене, а також з урахуванням суттєвої небезпеки в умовах масової некваліфікованої експлуатації побутових газових приладів висновки про можливість широкого застосування сумішей природного газу із значним умістом водню доцільно робити, можливо, після більш фундаментальних досліджень з урахуванням усіх факторів впливу і типу газопальникових пристроїв.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ ISO 13686:2015. Природний газ. Показники якості.
2. Knoy, M, F, Graphic Approach to the Problem of Interchangeability, A.G.A. Proc. 1953, pp 938-47][Knoy, Frank, Combustion Experiments with Liquefied Petroleum Gases, Gas, vol. 17, p. 14-19, June 1941.
3. Dutton B.C., A New Dimension to Gas Interchangeability, Communication 1246, The Institute of Gas Engineers, 50th Autumn Meeting, 1984.
4. Ortíz JM. Fundamentos de la Intercambiabilidad del Gas Natural. Ciencia