



УДК 662.769.2:620.92

OVERVIEW OF THE PROBLEMS OF REGULATORY PROVISION FOR THE USE OF HYDROGEN AND HYDROGEN-NATURAL GAS BLENDS IN INDUSTRY

ОГЛЯД ПРОБЛЕМ НОРМАТИВНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ТА ГАЗОВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ В ПРОМИСЛОВОСТІ

Soroka N.-A. Yu. / Сорока Н.-А. Ю.

PhD student / аспірант

ORCID: 0000-0002-8549-7014

Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatska str., 15, 76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, 76019

Karpash M. O. / Карпаш М. О.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-4223-3828

King Danylo University, Ivano-Frankivsk, E. Konovaltsia str., 35, 76018

Університет Короля Данила, в Івано-Франківськ, вул. Є. Коновальця, 35, 76018

Анотація. Зміна клімату та її наслідки стимулюють розробку урядами подальших планів і стратегій та фокусують увагу на діяльності щодо зменшення обсягів споживання енергії та способів декарбонізації різних секторів економіки. Вектор конкретних дій забезпечується наявністю законодавчих та регуляторних документів, в цей же час стандарти регламентують найкращі технічні рішення для оптимального застосування технологій у повсякденному житті. Водень є одним з важелів декарбонізації секторів економіки, які важко електрифікувати чи знизити рівень викидів парникових газів іншими способами. Це стосується насамперед транспортного сектору, теплопостачання, виробництва сталі, цементу та ін. Публікація визначає основну регуляторну документацію для переходу на водневу економіку в Європейському Союзі та Україні, містить огляд міжнародного нормативного забезпечення щодо водню і газоводневих сумішей. Було розглянуто стандарти таких організацій як ISO, CEN, ASTM, ANSI, ASME, CGA, SAE, UL, CSA, JISC, SAC, BSI та УкрНДНЦ і наведено деякі з найновіших стандартів у даній роботі. Публікація визначає стан стандартизації водню та водневих технологій у ЄС та Україні та актуалізує прогалини у нормативному забезпеченні.

Ключові слова: водень, газоводневі суміші, нормативне забезпечення, стандарт.

Вступ.

Зростання кількості населення, підвищення рівня життя та інші чинники спричиняють збільшення обсягів споживання енергії. До 2040 року МЕА прогнозує зростання споживання енергії на 1,3 % щорічно від рівня споживання 2018-го року [1], що загалом становить зростання споживання енергії на 34% [2]. З метою пом'якшення впливу людини на клімат, 196 країн ратифікували Паризьку угоду в 2015-му році. Метою Паризької кліматичної угоди визначено утримання зростання середньої світової температури нижче 2 °С відносно доіндустріального періоду, а в перспективі обмеження зростання температури до 1,5 °С відносно доіндустріального рівня [3].

Ратифікація Паризької кліматичної угоди стала поштовхом для ЄС щодо подальших розробок у регуляторній площині задля досягнення своїх цілей. 2016-го року ЄС опублікував Енергетичний пакет «Чиста енергія для всіх



європейців». Даний пакет складається з 8-ми законодавчих актів, що стосуються енергоефективності будівель, відновлювальної енергетики, енергоефективності загалом, регулювання управління та дизайну ринку електроенергії [4], [5].

В рамках цього пакету було видано у 2018-му році Положення про управління енергетичним союзом і кліматичні заходи ((EU) 2018/1999) [6]. Це Положення вимагало встановлення інтегрованого 10-річного національного плану з енергетики та клімату (НПЕК) кожним членом ЄС до кінця 2019-го року [4], [5].

В грудні 2019-го року було представлено Європейську Зелену угоду (EU «Green Deal»), ціллю якої є створення кліматично нейтральної Європи до 2050-го року внаслідок глибокої декарбонізації всіх секторів економіки. Також в рамках угоди було підвищено планку зменшення викидів парникових газів до 2030-го року до 50-55% [7]. В рамках Європейської Зеленої угоди в липні 2020-го року було представлено стратегію ЄС з інтеграції енергетичних систем. Дана стратегія передбачає використання водню для декарбонізації споживачів, яких технічно неможливо або надто дорого перевести на електричне опалення. Також значна увага приділяється виробництву водню шляхом електролізу, що допоможе використовувати надлишкову відновлювальну електроенергію, а також забезпечить синергію між секторами електроенергії, газу та кінцевих споживачів. Стратегія ЄС з інтеграції енергетичних систем також розглядає приклади використання водню у виробничих процесах, як паливо для вантажного, залізничного транспорту, авіації та морського транспорту.

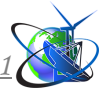
Опублікована у липні 2020-го року воднева стратегія ЄС представляє заходи, необхідні для економічно-ефективної декарбонізації, охоплюючи весь ланцюг створення доданої вартості водню [8].

Метою цієї статті є спроба дати огляд стану нормативного забезпечення використання водню та газоводневих сумішей в країнах Європейського Союзу та Україні, а також визначити напрямки подальшого розвитку цього напрямку, ідентифікувати потребу в додаткових дослідженнях.

Основний текст.

Воднева стратегія ЄС базується на водневій дорожній карті до 2050-го року і охоплює 3 періоди: 2020-2024 рр., 2025-2030 рр. та 2031-2050 рр. Протягом першого періоду стратегічною метою є встановлення електролізерів потужністю щонайменше 6 ГВт і виробництва до 1-го млн. т «зеленого» водню. Даний крок допоможе декарбонізувати наявне виробництво водню та прискорити впровадження споживання водню іншими секторами, наприклад, транспортним та промисловістю. Другий період стратегії передбачає 40 ГВт встановленої потужності електролізерів та виробництва до 10-ти млн. т «зеленого» водню. Стратегією розглядається, що за цей період водень повинен стати зв'язковою частиною інтегрованої енергетичної системи, а також з'являться локальні водневі кластери. Протягом третього періоду очікується, що водневі технології досягнуть зрілості і набудуть широкого розповсюдження у всіх секторах, яких важко декарбонізувати.

Основні заходи, передбачені у водневій стратегії ЄС [9], є наступними:



- забезпечення за допомоги Європейського Альянсу Чистого Водню (European Clean Hydrogen Alliance) інвестицій для стимулювання зросту виробництва та споживання водню;
- запровадження комплексної термінології (таксономії) та критеріїв сертифікації «зеленого» та «блакитного» водню на рівні ЄС;
- планування водневої інфраструктури включно з Транс'європейською енергетичною та транспортною мережами (TEN-E, TEN-T), а також Десятирічним планом розвитку мереж (TYNDPs);
- прискорення темпу розширення заправної інфраструктури при перегляді Директиви про розгортання інфраструктури для альтернативних видів палива;
- посилення лідерства ЄС в сфері технічних стандартів, нормативних документів та визначень щодо водню;
- сприяння кооперації з країнами східного та південного партнерства, зокрема України;
- сприяння дослідженням, інноваціям та пілотним проектам, що охоплюють увесь процес створення доданої вартості водню.

Європейське законодавство та регулювання базуються, в основному, на директивах та положеннях. Кожна держава, що є членом ЄС, має свободу вибору, яким чином досягти поставлених цілей і адаптувати директиви та положення ЄС у свої закони. Поточні рамки європейського законодавства ще не охоплюють водень і газоводневі суміші природного газу в магістральних мережах і системах високого тиску. Це стосується зокрема допустимих концентрацій водню у сумішах з природним газом та якості водню.

Тому, на разі, водень підпадає під дію директив та положень щодо регулювання ринку природного газу, відновлювальної енергетики, безпечного газопостачання, а також приладів, що працюють у вибухонебезпечних середовищах тощо [10]. Перший в Україні реалізований пілотний проект з дослідження можливості використання газоводневих сумішей в газорозподільчих мережах також вказав на існуючі обмеження в частині нормативного забезпечення [11].

В Україні задля забезпечення відповідної регуляторної діяльності щодо водню було опубліковано у 2021-му році проект Водневої стратегії України [12]. Цей проект визначає перспективи використання водню, встановлює цілі та пріоритети стратегії, а також етапи та основні заходи реалізації стратегії.

Загальною метою Водневої стратегії визначено створення водневої енергетики як елементу енергетичної системи України. Цілі, зазначені у документі, розподілені на короткострокові, середньострокові та довгострокові. Короткострокові цілі охоплюють період з 2022-го по 2025-й роки і повинні створити основу водневої енергетики і забезпечити запуск експорту зеленого водню. Середньострокові цілі (2026 – 2030 рр.) повинні збільшити обсяги виробництва водню і диверсифікувати первинні енергоносії. Довгострокові цілі (2031 – 2050 рр.) повинні забезпечити прискорене розширення ринку, зокрема експорту водню.

Воднева стратегія ставить в пріоритет виробництво та споживання



зеленого водню, що безпосередньо дозволить Україні досягати кліматичних цілей. Серед низки першочергових завдань наведено наступні:

- створення законодавчо-нормативної та нормативно-технічної бази;
- організація науково-технічного, інформаційного забезпечення та освіти;
- створення методичного забезпечення;
- застосування методів економічного стимулювання;
- використання системи міжнародного співробітництва;
- першочергове впровадження розробок у галузі водневої енергетики на базі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) та ін.

В проєкті Стратегії розглянуто використання водню у електро- та теплоенергетиці, транспортному секторі та промисловості. Приділяється також належна увага застосування водню у автономних системах енергозабезпечення та інтеграції водневої інфраструктури з газовими мережами.

Щодо нормативного забезпечення, Воднева стратегія акцентує на необхідності створення нормативної бази, пов'язаної з газоводневими сумішами у газотранспортних мережах. Важливим початковим етапом є огляд та аналіз українських та міжнародних стандартів, гармонізація нормативного забезпечення України та ЄС та впровадження прозорих правил сертифікації водню [13].

За аналогією з розвитком газових мереж в Україні та країнах Європейського Союзу, виконано аналіз існуючої системи стандартизації щодо використання водню та газоводневих сумішей.

Стандарти. У зв'язку з необхідністю стандартизації водневих технологій було розпочато роботу низки технічних комітетів. Перелік деяких основних технічних комітетів наведений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Перелік міжнародних та європейських технічних комітетів, що стосуються водню та газоводневих сумішей [10], [14]

<i>Технічний комітет</i>	<i>Тема</i>
CEN/CLC/JTC 6	Водень в енергетичних системах
ISO/TC 197	Водневі технології
ISO/TC 265	Уловлювання, транспортування та зберігання діоксиду вуглецю в геологічних структурах
IEC/TC 105	Паливно-комірчані технології
CEN/TC 234	Газова інфраструктура
CEN/TC 237	Газові лічильники
ISO/TC 161	Пристрої контролю та захисту для газу та/чи нафти (актуальне для розподільних мереж)
CEN/TC 238	Випробувальні гази, випробувальний тиск, категорії та типи газових приладів
ISO/TC 58	Газові балони
CEN/TC 268	Криогенні посудини та застосування конкретних водневих технологій
CEN/JTC 14	Енергетичний менеджмент та енергоефективність в рамках енергетичного переходу



В ході роботи було розглянуто стандарти Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), Американського інституту національних стандартів (ANSI), Асоціації стисненого газу (CGA), Національної асоціації захисту від пожеж (NFPA), Американського товариства інженерів-механіків (ASME), Європейського комітету зі стандартизації (CEN) та ін. Оскільки наразі ще не має стандартів суто для газководневих сумішей, враховувалися переглянуті стандарти газової інфраструктури, які допускають можливість використання даних сумішей у газових мережах. Також було розглянуто стандарти ISO щодо уловлювання та зберігання діоксиду вуглецю, оскільки дана технологія необхідна для виробництва «блакитного» водню, який допоможе в стислих термінах декарбонізувати наявне виробництво водню з викопного палива і слугувати перехідним етапом до впровадження технологій виробництва «зеленого» водню у широких масштабах. Адаптовані стандарти не враховувалися.

В таблиці 2 наведено частину з розглянутих стандартів, що регламентують виробництво, транспортування, зберігання та споживання водню в секторах транспорту, теплопостачання тощо. Також наведено перелік стандартів, що стосуються впливу водню на механічні характеристики матеріалів.

Загальна кількість розглянутих стандартів становить 193 стандарти. Рисунок 1 відображає кількість стандартів по організаціях. Кількість стандартів органів стандартизації по конкретному напрямку відображено на рисунку 2. У випадку, коли стандарт розроблявся декількома організаціями, у графіки вносилися перша вказана організація.

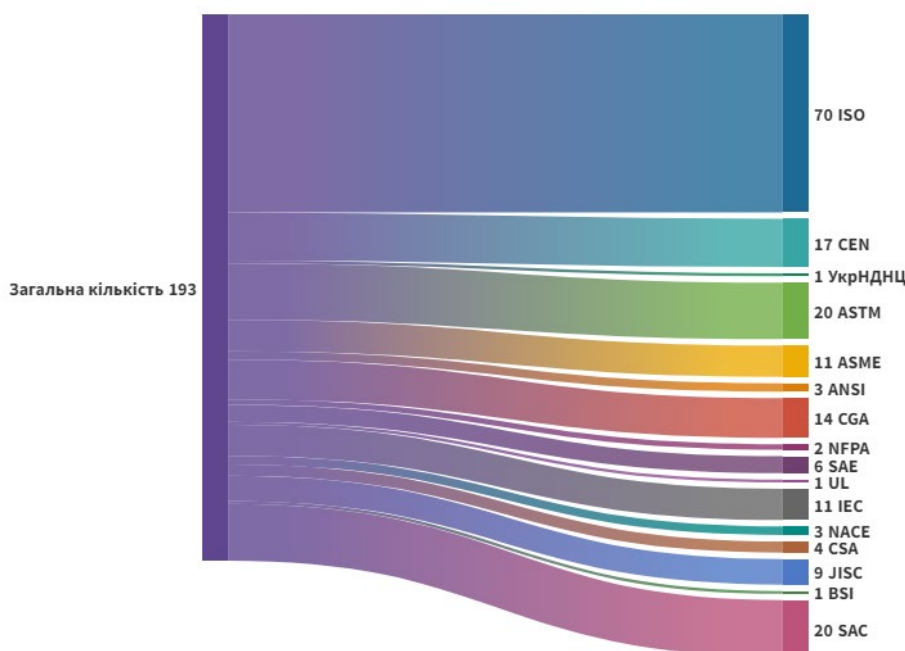
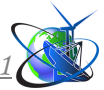


Рисунок 1 – Кількість стандартів по організаціях зі стандартизації

Авторська розробка

Аналіз за назвами нових технічних стандартів в сферах, що пов'язані з промисловим використанням водню, свідчить про наступне:

- ✓ водневі технології стали рушійним чинником розроблення нових та



- перегляду існуючих нормативних документів у суміжних сферах (транспортування, зберігання та розподілу газу);
- ✓ більшість стандартів стосуються впливу водню на фізико-хімічні властивості матеріалів, безпечної експлуатації водню та водневих систем, зберігання водню та його застосування у транспортному секторі;
 - ✓ наявні лише 3 стандарти щодо водневих та газових побутових приладів;
 - ✓ в США більш розвинуте нормативне забезпечення щодо транспортування водню трубопроводами, ніж у Європейському Союзі;
 - ✓ наявною є незначна кількість стандартів, що регламентують методики вимірювання та засоби вимірювальної техніки для водню та газководневих сумішей;
 - ✓ на даний момент відсутні стандарти суто для газководневих сумішей, їх застосування регулюється переглянутими стандартами газової інфраструктури.

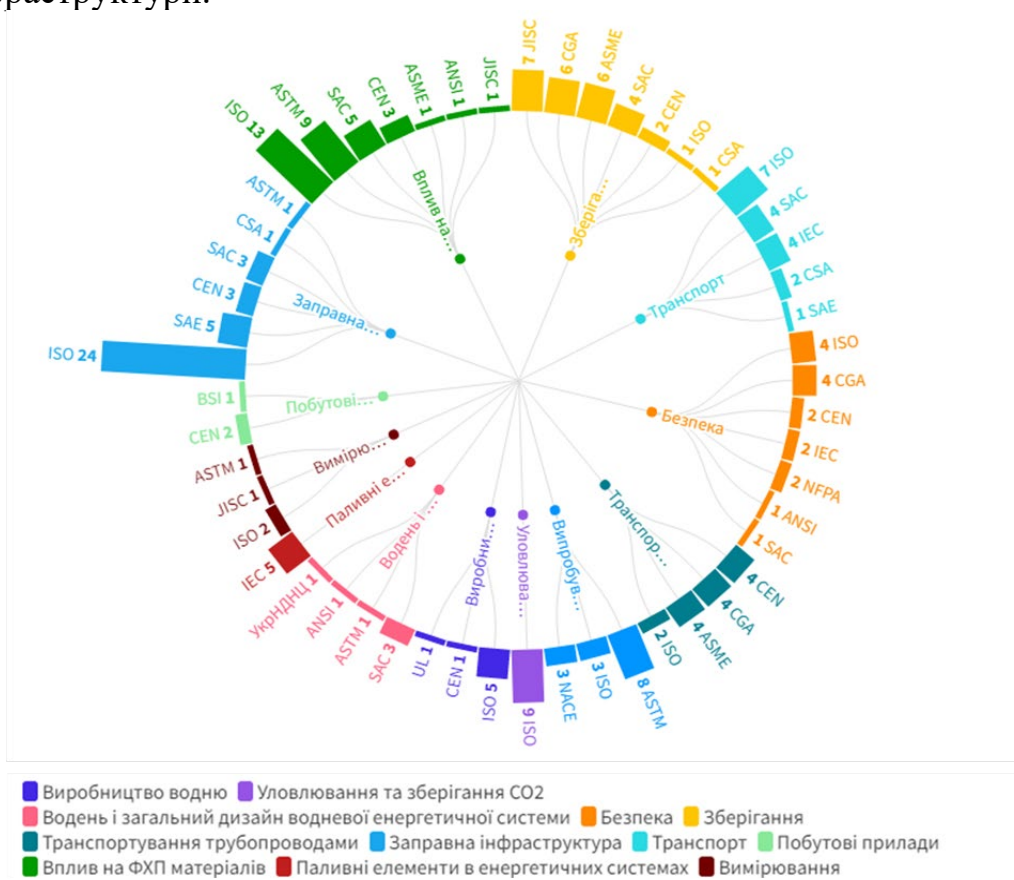


Рисунок 2 – Кількість стандартів по напрямках та організаціях зі стандартизації

Авторська розробка

Таблиця 2 – Нові релевантні стандарти, пов’язані з воднем та газководневими сумішами у газовій інфраструктурі [10], [14]-[26]

№ n/n	№ стандарту	Назва
Міжнародна організація зі стандартизації (ISO)		
1	ISO 14687:2019	Hydrogen fuel quality – Product specification (Якість водневого палива. Технічні характеристики продукції)



2	ISO 22734:2019	Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications (Водневі генератори з використанням електролізу води. Промислове, комерційне та житлове застосування)
3	ISO/TR 15916:2015	Basic considerations for the safety of hydrogen systems (Основні концепції щодо безпеки водневих систем)
4	ISO/TS 16922:2022	Natural gas – Odorization (Природний газ. Одоризація)
5	ISO 16111:2018	Transportable gas storage devices - Hydrogen absorbed in reversible metal hydride (Транспортабельні пристрої для зберігання газу. Водень, абсорбований оборотним гідридом металу)
6	ISO 17268:2020	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices (Пристрої підключення для заправки наземних транспортних засобів газоподібним воднем)
7	ISO 19880-1:2020	Gaseous hydrogen – Fuelling stations – Part 1: General requirements (Газоподібний водень. Заправні станції. Частина 1. Загальні вимоги)
8	ISO 19880-3:2018	Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 3: Valves (Газоподібний водень. Заправні станції. Частина 3. Клапани)
9	ISO 19880-5:2019	Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 5: Dispenser hoses and hose assemblies (Газоподібний водень. Заправні станції. Частина 5. Шланги дозаторів та шлангові з'єднання)
10	ISO 19880-8:2019	Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 8: Fuel quality control (Газоподібний водень. Заправні станції. Частина 8. Контроль якості палива)
11	ISO 23828:2022	Fuel cell road vehicles — Energy consumption measurement — Vehicles fuelled with compressed hydrogen (Дорожні транспортні засоби. Вимірювання споживання енергії. Транспортні засоби, що працюють на стисненому водні)
12	ISO/TR 20491:2019	Fasteners - Fundamentals of hydrogen embrittlement in steel fasteners (Кріпильні вироби. Основи водневої крихкості сталевих кріпильних виробів)
13	ISO 16573-2:2022	Steel — Measurement method for the evaluation of hydrogen embrittlement resistance of high-strength steels — Part 2: Slow strain rate test (Сталь. Метод вимірювання для оцінки стійкості до водневої крихкості високоміцних сталей. Частина 2. Випробування з повільною швидкістю деформації)



Європейський комітет зі стандартизації (CEN)		
1	EN 17649:2022	Gas infrastructure - Safety Management System (SMS) and Pipeline Integrity Management System (PIMS) - Functional requirements (Газова інфраструктура. Система Управління Безпекою (СУБ) та Система Управління Цілісністю Трубопроводу (СУЦТ). Функційні вимоги)
2	EN 17533: 2020	Gaseous hydrogen - Cylinders and tubes for stationary storage (Газоподібний водень. Балони і труби для стаціонарного зберігання)
3	EN 17339: 2020	Transportable gas cylinders - Fully wrapped carbon composite cylinders and tubes for hydrogen (Транспортабельні газові балони. Повністю загорнуті вуглецеві композитні балони та труби для водню)
4	EN 12583:2022	Gas Infrastructure - Compressor stations – Functional requirements (Газова інфраструктура. Компресорні станції. Функційні вимоги)
5	EN 12732:2021	Gas infrastructure - Welding steel pipework - Functional requirements (Газова інфраструктура. Зварювання сталевих трубопроводів. Функційні вимоги)
6	EN 17124:2022	Hydrogen fuel - Product specification and quality assurance for hydrogen refuelling points dispensing gaseous hydrogen - Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for vehicles (Водневе паливо. Технічні характеристики продукції та забезпечення якості для водневих заправних станцій, що відпускають газоподібний водень. Застосування паливних елементів на протонно-обмінній мембрані (PEM) для транспортних засобів)
7	EN 17127:2020	Outdoor hydrogen refuelling points dispensing gaseous hydrogen and incorporating filling protocols (Зовнішні пункти заправки воднем, що відпускають газоподібний водень і містять протоколи заправки)
8	EN 437:2021	Test gases – test pressures – appliance categories (Випробувальні гази. Випробувальний тиск. Категорії приладів)
9	EN 15502-2-1:2022	Gas-fired central heating boilers - Part 2-1: Specific standard for type C appliances and type B2, B3 and B5 appliances of a nominal heat input not exceeding 1 000 kW (Котли газові для центрального опалення. Частина 2-1. Спеціальний стандарт для приладів типу C та приладів типів B2, B3 та B5 з номінальною тепловою потужністю не більше ніж 1 000 кВт)



Underwriters Laboratories (UL)		
1	UL 2264A Ed. 2-2021	Outline Of Investigation For Water Electrolysis Type Hydrogen Generators (План досліджень водневих генераторів типу електролізу води)
Американське товариство випробувань і матеріалів (ASTM)		
1	ASTM D7265-12(2018)	Standard Specification for Hydrogen Thermophysical Property Tables (Стандартна специфікація для таблиць теплофізичних властивостей водню)
2	ASTM F2078-22	Standard Terminology Relating to Hydrogen Embrittlement Testing (Стандартна термінологія, що стосується випробувань на водневу крихкість)
3	ASTM B849-02(2019)	Standard Specification for Pre-Treatments of Iron or Steel for Reducing Risk of Hydrogen Embrittlement (Стандартна специфікація для попередньої обробки заліза або сталі для зниження ризику водневої крихкості)
Американський інститут національних стандартів (ANSI)		
1	ANSI/CGA H-5-2020	Bulk Hydrogen Supply Systems - Third Edition (Системи масового постачання водню. Третє видання)
2	ANSI/AIAA G-095A-2017	Guide To Safety Of Hydrogen And Hydrogen Systems (Керівництво з безпеки використання водню та водневих систем)
Національний орган зі стандартизації України (УкрНДНЦ)		
1	ДСТУ 2655-94	Водень. Терміни та визначення
Міжнародна електротехнічна комісія (IEC)		
1	IEC 60079-10-1:2020	Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres (Вибухонебезпечні середовища. Частина 10-1. Класифікація зон. Середовища газові вибухонебезпечні)
2	IEC 60079-29-1:2016+A1:2020	Explosive atmospheres - Part 29-1: Gas detectors - Performance requirements of detectors for flammable gases (Вибухонебезпечні середовища. Частина 29-1. Газоаналізатори. Вимоги до характеристик газоаналізаторів горючих газів)
Асоціація стисненого газу (CGA)		
1	CGA P-28-2022	OSHA Process Safety Management And EPA Risk Management Plan Guidance Document For Bulk Liquid Hydrogen Supply Systems (Керівний документ OSHA щодо управління технологічною безпекою та EPA щодо плану управління ризиками для систем масового постачання зрідженого водню)
2	CGA G-5.5-2021	Standard For Hydrogen Vent Systems - 4th Edition (Стандарт для водневих вентиляційних систем. Четверте видання)

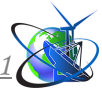


3	CGA H-3-2019	Standard for cryogenic Hydrogen Storage (Стандарт для криогенного зберігання водню)
4	CGA PS-20	CGA Position statement on the direct burial of gaseous hydrogen storage tanks (Заява про позицію CGA щодо безпосереднього закопування ємностей для зберігання газоподібного водню)
5	CGA P-41-2018	Locating bulk liquid storage systems in courts (Розміщення систем масового зберігання зрідженого водню на подвір'ях)
6	CGA P-8.10 : 2021	Industrial Gas Pipeline Integrity Management (Управління цілісністю промислових газопроводів)
Комітет промислових стандартів Японії (JISC)		
1	TS B 0037:2019	Quality and designation for hydrogen composite pressure vessels (Якість і маркування водневих композитних посудин під тиском)
2	JIS Z 3118:2022	Determination of diffusible hydrogen content in steel weld metal (Визначення вмісту дифузійного водню в металі сталевого зварного шва)
Адміністрація зі стандартизації Китаю (SAC)		
1	GB/T 40045-2021	Fuel Specification For Hydrogen Powered Vehicles -- Liquid Hydrogen (LH2) (Технічні характеристики палива для транспортних засобів, що працюють на водні. Зріджений водень (LH2))
Британський інститут стандартів (BSI)		
1	PAS 4444:2020 + A1:2021	Hydrogen-Fired Gas Appliances. Guide (Газові прилади, що працюють на водні. Інструкція)

В Україні наявний ДСТУ 2655-94 Водень. Терміни та визначення. Даний стандарт визначає загальні вимоги щодо водню як хімічної речовини [27]. Адаптовано 15 з розглянутих міжнародних стандартів, також адаптовано 4 стандарти газової інфраструктури, які охоплюють попередні версії вищенаведених стандартів.

Таблиця 3 – Адаптовані в Україні стандарти газової інфраструктури, що базуються на застарілих версіях стандартів CEN [23], [28]

<i>Чинний стандарт CEN</i>	<i>Адаптований стандарт</i>	<i>Рік публікації чинного стандарту CEN</i>	<i>Рік публікації стандарту, що адаптувався</i>
EN 12583:2022 Gas Infrastructure - Compressor stations – Functional requirements	ДСТУ EN 12583:2017 Газова інфраструктура. Компресорні станції. Функційні вимоги (EN 12583:2014, IDT)	2022	2014



EN 12732:2021 Gas infrastructure - Welding steel pipework - Functional requirements	ДСТУ EN 12732:2022 Газова інфраструктура. Зварювання сталевих трубопроводів. Функційні вимоги (EN 12732:2013 + A1:2014, IDT)	2021	2013 зі змінами у 2014
EN 437:2021 Test gases – test pressures – appliance categories	ДСТУ EN 437:2018 Випробувальні гази. Випробувальний тиск. Категорії приладів (EN 437:2018, IDT)	2021	2018
EN 15502-2-1:2022 Gas-fired central heating boilers - Part 2-1: Specific standard for type C appliances and type B2, B3 and B5 appliances of a nominal heat input not exceeding 1 000 kW	ДСТУ EN 15502-2-1:2019 Котли газові для центрального опалення. Частина 2-1. Спеціальний стандарт для приладів типу C та приладів типів B2, B3 та B5 з номінальною тепловою потужністю не більше ніж 1 000 кВт (EN 15502-2-1:2012 + A1:2016, IDT)	2022	2012 зі змінами у 2016

В таблиці 3 наведено чинні стандарти СЕН, адаптовані в Україні та рік випуску стандарту, що був адаптованим. Оскільки лише в останніх версіях СЕН стандартів включено можливість застосування водню чи газозводневих сумішей, ДСТУ EN 12583:2017, ДСТУ EN 12732:2022, ДСТУ EN 437:2018 та ДСТУ EN 15502-2-1:2019 не будуть враховуватися.

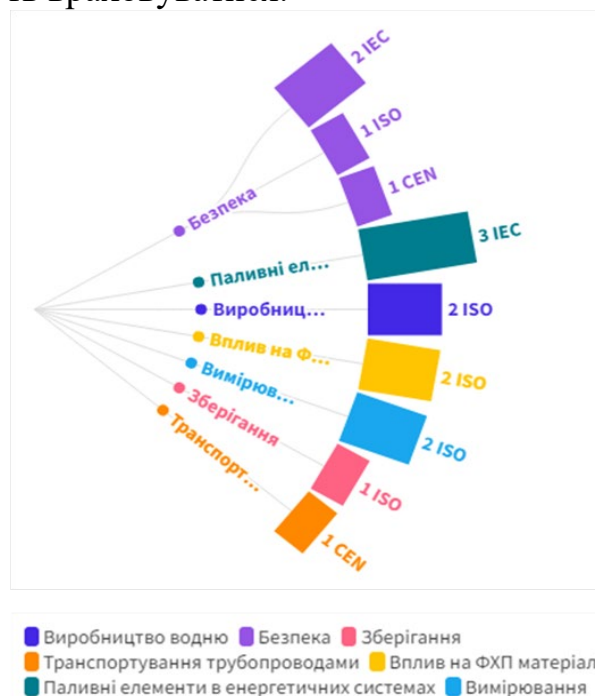


Рисунок 3 – Кількість адаптованих в Україні міжнародних стандартів по напрямках та організаціях зі стандартизації

Авторська розробка



Як видно з рисунку 3, в Україні відсутні стандарти по напрямках водневої інфраструктури, водневого транспорту, уловлювання та зберігання вуглецю. Адаптовано стандарти ISO, CEN та IEC і їх кількість становить лише 15% від наведених в даній роботі стандартів цих організацій. Список адаптованих стандартів наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Міжнародні стандарти, адаптовані в Україні [28]

<i>№ n/n</i>	<i>№ стандарту</i>	<i>Назва</i>
1	ДСТУ ISO 14687:2021	Якість водневого палива. Технічні характеристики продукції (ISO 14687:2019, IDT)
2	ДСТУ ISO 22734:2021	Водневі генератори з використанням електролізу води. Промислове, комерційне та житлове застосування (ISO 22734:2019, IDT)
3	ДСТУ ISO/TR 15916:2021	Основні концепції щодо безпеки водневих систем (ISO/TR 15916:2015, IDT)
4	ДСТУ EN 60079-10-1:2018	Вибухонебезпечні середовища. Частина 10-1. Класифікація зон. Середовища газові вибухонебезпечні (EN 60079-10-1:2015, IDT; IEC 60079-10-1:2015, IDT)
5	ДСТУ EN 60079-29-1:2017	Вибухонебезпечні середовища. Частина 29-1. Газоаналізатори. Вимоги до характеристик газоаналізаторів горючих газів (EN 60079-29-1:2016, IDT)
6	ДСТУ EN 14986:2017	Проектування вентиляторів, що працюють у потенційно вибухонебезпечному середовищі (EN 14986:2017, IDT)
7	ДСТУ EN 1594:2019	Газова інфраструктура. Трубопроводи з максимальним робочим тиском понад 16 бар. Функційні вимоги (EN 1594:2013, IDT)
8	ДСТУ ISO 16111:2019	Транспорتابельні пристрої для зберігання газу. Водень, абсорбований оборотним гідридом металу (ISO 16111:2018, IDT)
9	ДСТУ ISO 6974-6:2007	Природний газ. Визначення складу із заданою невизначеністю методом газової хроматографії. Частина 6. Визначення водню, гелію, кисню, азоту, вуглекислого газу і вуглеводнів від C1 до C8 із використанням трьох капілярних колонок (ISO 6974-6:2002, IDT)
10	ДСТУ EN ISO 6974-1:2021	Природний газ. Визначання складу та пов'язаної з ним непевності методом газової хроматографії. Частина 1. Загальні засади та обчислювання складу (EN ISO 6974-1:2012, IDT; ISO 6974-1:2012, IDT)
11	ДСТУ EN ISO 3690:2019	Зварювання та споріднені процеси. Визначення вмісту водню в металі шва під час дугового зварювання (EN ISO 3690:2018, IDT; ISO 3690:2018, IDT)



12	ДСТУ ISO 15330:2003	Кріпильні вироби. Випробовування попереднім навантаженням на виявлення водневої крихкості. Метод паралельних опорних поверхонь (ISO 15330:1999, IDT)
13	ДСТУ EN 62282-3-300:2017	Технології паливних елементів. Частина 3-300. Стационарні енергетичні установки на паливних елементах. Установлення (EN 62282-3-300:2012, IDT; IEC 62282-3-300:2012, IDT)
14	ДСТУ EN 62282-3-100:2014	Технології паливних елементів. Частина 3-100. Стационарні енергетичні установки на паливних елементах. Вимоги щодо безпеки (EN 62282-3-100:2012, IDT)
15	ДСТУ EN IEC 62282-5-100:2019	Технології паливних елементів. Частина 5-100. Портативні енергетичні установки на паливних елементах. Вимоги щодо безпеки (EN IEC 62282-5-100:2018, IDT; IEC 62282-5-100:2018, IDT)

Водневі проєкти та технології підпадають також під регулювання нормативно-правовими актами з охорони праці і нормативних актів з пожежної безпеки:

- НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні;
- НПАОП 24.11-1.03-78 Правила безпеки при виробництві водню методом електролізу води;
- НПАОП 0.00-1.14-70 Правила будови і безпечної експлуатації поршневих компресорів, що працюють на вибухонебезпечних і токсичних газах;
- НПАОП 0.00-1.76-15 Правила безпеки систем газопостачання;
- НПАОП 0.00-1.81-18 Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском;
- НПАОП 11.1-1.07-90 Правила безпеки при експлуатації засобів і систем автоматизації та управління в газовій промисловості;
- НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок;
- НПАОП 63.2-1.06-02 (ДНАОП 1.1.23-1.06-02) Правила безпечної експлуатації та обслуговування обладнання автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС) [27], [29].

Наразі на рівні Європейського комітету зі стандартизації (CEN) не існує стандарту щодо концентрації водню в сумішах з природнім газом. В різних країнах ЄС допускається різна концентрація водню в сумішах з природнім газом, базована на допустимих значеннях, прийнятих Операторами ГТС цих країн. Оскільки Україна розглядається в ролі партнера у водневих проєктах ЄС, важливо враховувати допустимі концентрації водню при транспортуванні газоводневих сумішей трубопроводами.

Варто відзначити, що в ЄС оплата відбувається за спожиту енергію. Хоч в Україні було анонсовано намір щодо переходу до оплати за спожиту енергію,



на разі оплата відбувається за спожитий об'єм енергоносія. Теплотворна здатність водню на одиницю об'єму значно нижча за теплотворну здатність природного газу, тому для забезпечення споживачів необхідною кількістю енергії об'єм спожитого водню буде більшим, аніж для природного газу. Склад природного газу та об'ємна частка водню у суміші впливатимуть на енергетичні показники даної суміші, що, в свою чергу, впливатиме на обсяг споживання.

Перелічені вище стандарти не регламентують визначення об'єму водню у суміші, тому напрямком подальших досліджень обрано розробку програмного коду чи методики для визначення об'єму водню в загальному об'ємі спожитої чи транспортованої суміші.

Висновки.

Водень є одним із важелів досягнення кліматичних цілей країнами-підписантами Паризької угоди. Основною перевагою даного палива є можливість міжсекторального застосування та зниження рівня викидів парникових газів у секторах промисловості, які важко декарбонізувати. Для країн з високим потенціалом відновлювальної енергетики, зокрема України, водень є можливістю досягнення енергетичної незалежності. Водневі проєкти відіграють критичну роль для визначення наявних технічних та нормативних обмежень, а також пропусків у знаннях щодо водневих технологій. Водневі проєкти також слугують основою для подальшого розгортання водневої економіки.

Оскільки водневі технології у промисловості не мали широкого застосування і стосувалися, в основному, переробки нафти та виготовлення добрив, нормативне забезпечення Європейського Союзу та України має значні прогалини в даній галузі. Враховуючи, що перехід на водневе паливо потребує значних капіталовкладень та технічних змін інфраструктури, доцільним є використання газоводневих сумішей для початку декарбонізації промисловості. На разі на рівні Європейського Союзу чи України немає жодного стандарту, що регламентує концентрацію водню у газоводневих сумішах. Певні обмеження щодо концентрації водню у сумішах встановлені лише Операторами ГТС країн.

Для заповнення прогалин у нормативному забезпеченні було запроваджено роботу низки технічних комітетів, що займаються водневими технологіями. Внаслідок активної роботи цих технічних комітетів протягом останніх 2-3 років було розроблено та опубліковано значну кількість стандартів. Також було переглянуто опубліковані водневі стандарти і деякі стандарти суміжних галузей, з метою забезпечення можливості використання газоводневих сумішей.

В процесі огляду чинних водневих стандартів було виявлено, що в ЄС майже не нормується використання водню та газоводневих сумішей у побутових та промислових газових приладах. Також недостатньо уваги приділено стандартизації транспортування водню трубопроводами газової інфраструктури.

В Україні, на даний момент, відсутні стандарти щодо газових приладів на водневому паливі, водневого транспорту та заправної інфраструктури. Загалом адаптовано лише декілька міжнародних стандартів, що не забезпечує



достатньої гармонізації для безбар'єрної роботи водневих проектів в рамках співпраці з ЄС.

Не вирішеними залишаються питання комерційного обліку водню та особливо газоводневих сумішей, в тому числі, енергетичної цінності. Цей напрямок обрано для наступних досліджень.

Література:

1. World Energy Outlook // International Energy Agency, 2019. P. 23. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WEO2019-free.pdf>. (дата звернення: 07.08.2022).
2. Crooks E. The IEA's outlook to 2040 // Wood Mackenzie. URL: <https://www.woodmac.com/news/opinion/the-ieas-outlook-to-2040/>. (дата звернення: 07.08.2022).
3. The Paris Agreement // UNFCCC. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. (дата звернення: 08.08.2022)
4. Clean energy for all Europeans package // European Commission official website. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en. (дата звернення: 12.08.2022).
5. Андрієнко С. Ю., Степанюк В. К., Корбут М. Б. Інструменти четвертого енергопакету ЄС «Чиста енергія для усіх європейців», які можуть бути застосовані в Україні // Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції : збірник тез Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих вчених, м. Житомир, 12 листоп. 2020 р. Житомир, 2020. С. 142.
6. On the Governance of the Energy Union and Climate Action : Regulation of the European Parliament and of the Council of 11.12.2018 № (EU) 2018/1999. *Official Journal of the European Union*. 2018. 21 Dec. Vol. 61, L 328. pp. 1–77.
7. The European Green Deal. Europe's new growth strategy. A climate-neutral EU by 2050. Brussels : United Nations Industrial Development Organization, 2020. 25 p.
8. Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration : Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels : European Commission, 2020. 21 p.
9. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe : Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels : European Commission, 2020. 23 p.
10. Bollien A., Dietzsch F., Lainez J. S., Schülken H. Assessment document of RCS barriers and enablers at EU level. Hydrogen in Gas Grids: A systematic validation approach at various admixture levels into high-pressure grids, 2020. 33 p.
11. Карпаш М.О., Райтер П.М., Яворський А.В., Олійник А.П., Уніговський Л.М. Дослідження герметичності газорозподільчих мереж у разі їх використання для постачання газоводневих сумішей. *Нафтогазова галузь України*. 2020. № 6. С.14-23.
12. Енергетична асоціація «Українська Воднева Рада» // Ukrainian



Hydrogen Council. URL: <https://hydrogen.ua/ua/>. (дата звернення: 19.08.2022).

13. Воднева стратегія України : проєкт // Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Київ, 2021. 90 с.

14. Hydrogen Technologies Standards : Discussion paper // Standards Australia, 2018. 14 p.

15. Tomevska S. Hydrogen Standards Forum : Outcomes report // Standards Australia, 2018. 11 p.

16. Hydrogen standards release summary // Standards Australia, 2020. 2 p.

17. Standards // ISO. URL: <https://www.iso.org/standards.html>. (дата звернення: 22.08.2022).

18. UL Empowering Trust // UL Solutions. URL: <https://www.ul.com/>. (дата звернення: 23.08.2022).

19. Yang Y., Xu H., Lu Q., Bao W. et al. Development of standards for hydrogen storage and transportation. E3S Web of Conf. 2020. Vol. 194, 02018. ICAEER 2020. 5 p.

20. ASTM International - Standards Worldwide. URL: <https://www.astm.org/> (дата звернення 30.08.2022).

21. American National Standards Institute - ANSI Home. URL: <https://www.ansi.org/>. (дата звернення 12.09.2022).

22. 首页 - 国家标准信息公共服务平台. URL: <https://std.samr.gov.cn/> (дата звернення 18.09.2022).

23. CEN - CENELEC - Search standards // CEN - CENELEC. URL: [https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=CEN:105::RESET:::.](https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=CEN:105::RESET:::) (дата звернення 21.09.2022).

24. Homepage // IEC. URL: <https://www.iec.ch/homepage>. (дата звернення 24.09.2022).

25. 日本規格協会 JSA GROUP Webdesk. URL: <https://webdesk.jsa.or.jp/> (дата звернення 30.09.2022).

26. Standards, Training, Testing, Assessment and Certification // BSI Group. URL: <https://www.bsigroup.com/en-GB/>. (дата звернення 06.10.2022).

27. Radchenko V., Ilchuk M., Doludenko A. Hydrogen law, regulation & strategy in Ukraine // CMS. URL: <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/ukraine>. (дата звернення 09.10.2022).

28. Каталог національних стандартів та кодексів ustalеної практики. URL: <http://katalog.uas.org.ua/> (дата звернення 15.10.2022).

29. Dubko S. Draft Roadmap for production and use of hydrogen in Ukraine. 2021. 90 p.

Abstract. Climate change and its consequences stimulate governments to develop further plans and strategies and focus on activities to reduce energy consumption and ways to decarbonize various sectors of the economy. The vector of concrete actions is provided by legislative and regulatory documents, while standards regulate the best technical solutions for the optimal use of technologies in everyday life. Hydrogen is one of the levers for decarbonizing sectors of the economy that are difficult to electrify or reduce greenhouse gas emissions in other ways. This applies primarily to the transport sector, heat supply, steel and cement production, etc. This publication identifies the main regulatory documentation for the transition to a hydrogen economy



in European Union and Ukraine. It overviews the international regulatory provision for hydrogen and hydrogen-natural gas blends. The standards of such organizations as ISO, CEN, ASTM, ANSI, ASME, CGA, SAE, UL, CSA, JISC, SAC, BSI and UkrNDNC were reviewed and some of the most recent standards are presented in this paper. This paper determines the state of the art of hydrogen and hydrogen technologies standardization in the EU and Ukraine and updates the hydrogen regulatory framework gaps.

Key words: hydrogen, hydrogen-natural gas blends, regulatory provision, standard.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Карнаш М. О.

Стаття відправлена: 19.12.2022 р.

© Сорока Н.-А. Ю.