

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Факультет літакобудування
Кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури

Дипломна робота

Магістр

(освітній ступень)

на тему «Дослідження технологій альтернативних палив для автомобілів»
«ХАІ.107.163Т.274.1801059.23О».

Виконав: студент 6 курсу групи №163Т

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

(код та найменування)

Освітня програма: «Автомобілі та

автомобільне господарство»

(найменування)

_____ Бондарєв В.В. _____

(прізвище й ініціали студента)

Керівник: _Нестеренко С.І._____

(прізвище й ініціали)

Міністерство освіти і науки України Національний
аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудівний факультет

(повне найменування)

Кафедра кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури

(повне найменування)

Рівень вищої освіти перший (магістерський)

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

(код та найменування)

Освітня програма «Автомобілі та автомобільне господарство»

(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри 107 ,

канд. техн. наук Н.В. Кобріна

“ 22 ” січня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Бондарев Владислава Віталійовича

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема дипломного проекту (роботи) Дослідження технологій альтернативних палив для автомобілів

керівник дипломного проекту (роботи) Нестеренко Сергій Іванович

канд. техн. наук, доцент - _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 1821 уч від 07 листопада 2020 року _____

2. Термін подання студентом дипломного проекту (роботи) 17 січня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи Визначення проблем з традиційними паливами для автомобілів _____

4. Завдання дипломної роботи (перелік завдань, які потрібно розв'язати) _____ 1.

Дослідження проблеми традиційних палив

2. Дослідження альтернативних палив для автомобілів

3. Детальне вивчення технології паливних елементів і розвитку водневої енергетики

4. Створити схему обладнання водневої заправки. Визначити основні вимоги до них і перешкоди, що заважають розвитку інфраструктури

5. Перелік графічного матеріалу _____

Рисунків 8 _____

Таблиць- 6 _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Нестеренко С.І., доцент каф.107	21.09.2023	16.10.2023
2	Нестеренко С.І., доцент каф.107	19.10.2023	10.11.2023
3	Нестеренко С.І., доцент каф.107	08.12.2023	22.12.2023

Нормоконтроль _____ Нестеренко С.І. «11» грудня 2023р
(підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання 07 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження теми, мети та завдань дипломної роботи	07.09.23-11.09.23	
2	Складання плану роботи	14.09.23-20.09.23	
3	Аналіз літературних джерел. Написання першого розділу дипломної роботи	21.09.23-16.10.23	
4	Написання другого розділу дипломної роботи.	19.10.23-10.11.23	
5	Проведення практичної частини дослідження.	10.11.23-04.12.2023	
6	Статистична обробка отриманих даних	04.12.23-07.12.2023	
7	Написання третього розділу дипломної роботи.	08.12.23-22.12.23	
8	Написання загальних висновків. Оформлення списку використаних літературних джерел, додадку(ків) та змісту.	23.12.23-29.12.23	
9	Передзахист.	15.01.24	
10	Внесення коректив до тесту дипломної роботи.	16.01.24	
11	Оформлення та підписання відповідної документації.	17.01.24	
12	Підготовка електронної презентації та тексту доповіді.	22.01.24	
13	Строк подання студентом роботи на кафедру.	22.01.24	
14	Захист.	25.01.24-26.01.24	

Студент _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Нестеренко С.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

План дипломної роботи

1. Вступ	6
1.1 Актуальність теми	6
1.2 Мета і завдання досліджень	6
2. Теоретичні данні по альтернативним паливним елементам	7
2.1 Існуючі проблеми з традиційними видами палив	7
2.2 Опис існуючих альтернативних палив. Переваги та недоліки	11
3. Технологія водневих паливних елементів	27
4. Станції для заправки автомобілів, що працюють на водневих паливних елементах	37
4.1 Розвиток мережі станцій заправки воднем	37
4.2 Принцип роботи станцій заправки воднем	38
4.3 Вимоги до заправних станцій і стандарти, що їх регулюють	41
4.4 Розгляд стандарту ISO/TS 20100:2008	49
4.5 Побудова станції заправки воднем	86
4.5.1 Визначення типу станції	86
4.5.2 Побудова схеми трубопроводів і приладів	88
4.5.3 Заповнення переліку обладнання і його вартості	89
Висновок	91
Список літератури	92
Додатки	94

1. Вступ

1.1 Актуальність теми

Багато років у світовій паливно-енергетичній сфері використовували переважно нафтопродукти як джерело енергії. Але останнім часом сталася тенденція до зменшення важливості нафти та її похідних у світовій економіці, яка відображена в глобальній динаміці споживання основної енергії. Це пояснюється двома проблемами, що виникли перед людством: дефіцит нафти та забруднення навколишнього середовища.

Проблеми з дефіцитом нафти пов'язані з виробленням великих родовищ, введенням в експлуатацію малої кількості нових та скороченням інвестицій на їх пошук.

Забруднення навколишнього середовища пов'язано з викидом шкідливих речовин в атмосферу і створенню парникового ефекту при видобутку і експлуатації енергоносіїв на основі нафти.

Ці фактори змушують нас шукати альтернативні енергоносії, перспективність і потрібність в яких зростає з кожним роком. Але відсутність якогось конкретного лідера серед альтернативних палив і наявність невирішених проблем з їх видобутком, транспортуванням і експлуатацією роблять перехід на них довшим.

Наше сьогодення тісно пов'язане з питанням вибору альтернативного палива і пошуку шляхів вирішення існуючих проблем.

1.2 Мета і завдання досліджень

Метою дослідження є оцінка перспективи розвитку водневих паливних елементів та розробка рішень щодо розвитку інфраструктури заправних станцій.

Відповідно до мети дослідження у дипломній роботі вирішуються такі завдання:

- визначення основних проблем, пов'язаних з експлуатацією традиційних видів енергоносіїв;

- вивчення існуючих видів альтернативних палив і оцінка їх перспективності;
- дослідження методів видобутку водню і особливостей його експлуатації. Опис сучасних технологій по використанню водню у автомобілях;
- оцінка розвитку інфраструктури для використання водню, як джерела енергії;
- проектування станції заправки воднем згідно існуючих стандартів і законодавчої бази.

2. Теоретичні данні по альтернативним паливним елементам

2.1 Існуючі проблеми з традиційними видами палив

Існують кілька проблем з традиційними видами палива, які є актуальними та потребують уваги:

1. Видобуток і добування:

- необхідність експлуатації віддалених районів та складних геологічних умов для добування нафти та вугілля призводить до негативного впливу на природу та біорізноманіття;
- високі витрати енергії на видобуток та очищення традиційних видів палива. Так як газ та нафта видобуваються в основному у віддалених районах, з цим пов'язані великі витрати на їх транспортування до місць переробки. Також великі втрати енергії відбуваються при процесі перегонки і крекінгу нафти;

2. Забруднення та здоров'я:

- Використання нафти, вугілля та інших традиційних палив призводить до викидів шкідливих газів та забруднення довкілля, що має негативний вплив на здоров'я людей та природні ресурси;

- Емісія парникових газів:

Емісія парникових газів - це викиди газів, які сприяють ефекту парникового газу, тобто утримують тепло в атмосфері, що може викликати зміни клімату та призводити до глобального потепління. Основні парникові гази включають в себе вуглекислий газ (CO₂), метан (CH₄), діоксид азоту (N₂O), фторовані гази та інші. Під час спалювання цих видів палива у великих кількостях в атмосферу викидається значна кількість парникових газів.

Вуглекислий газ (CO₂): Основний газ, що сприяє парниковому ефекту. Викидається під час спалювання вуглеводневих палив (вугілля, нафта, газ) в автомобілях, електростанціях та промисловості.

Метан (CH₄): Фермерська діяльність, розвиток сміттєпереробних заводів, викиди від тваринництва - усе це призводить до викидів метану.

Діоксид азоту (N₂O): Утворюється під час спалювання палива в автомобілях та інших джерелах викиду NO_x.

Ці гази утримують тепло в атмосфері, утворюючи парниковий ефект. Це може призвести до змін клімату, таких як підвищення середньорічних температур, зміни у розподілі опадів, підвищення рівня моря через танення льодовиків та інші негативні наслідки для екосистем та людського життя. Для зменшення емісії парникових газів важливо шукати і впроваджувати енергоефективні технології, використовувати відновлювальні джерела енергії, підтримувати програми зменшення викидів газів у промисловості та транспорті, а також здійснювати заходи з охорони довкілля.

3. Залежність від імпорту:

Залежність від імпорту енергоресурсів виникає, коли країна або регіон має значний попит на енергію, але власних природних ресурсів для виробництва цієї енергії недостатньо або їх немає взагалі. Це може створювати різні економічні та політичні виклики для країни чи регіону.

Основні аспекти залежності від імпорту енергоресурсів:

- **Енергетична безпека:** Якщо країна стає сильно залежною від імпорту енергоресурсів, її енергетична безпека може бути під загрозою. Це стає особливо небезпечним у випадку, якщо імпорт здійснюється з країн, які перебувають у політичній нестабільності або мають напружені міжнародні відносини.
- **Економічні наслідки:** Велика залежність від імпорту енергії може призвести до зростання енергетичних витрат для країни-імпортера, що може впливати на економічну стабільність та конкурентоспроможність.
- **Геополітичні аспекти:** Залежність від імпорту енергоресурсів може зробити країну вразливою до впливу інших країн або міжнародних організацій, що мають контроль або вплив на постачання енергії.
- **Пошук альтернативних джерел:** Залежність від імпорту може стимулювати країну шукати та розвивати альтернативні джерела енергії або робити зусилля для підвищення енергоефективності та зменшення залежності від імпорту.
- **Рішення на державному рівні:** Державні політики та стратегії можуть бути спрямовані на мінімізацію залежності від імпорту, через диверсифікацію джерел та диверсифікацію постачальників.

У цілому, залежність від імпорту енергії може бути серйозною проблемою для країни, тому розвиток альтернативних джерел енергії, збільшення енергоефективності та розумне управління ресурсами є важливими напрямками для зменшення цієї залежності.

4. Неefективне використання:

Неefективне використання енергії відбувається, коли частина отриманої енергії не використовується для корисних цілей, а втрачається у формі тепла, що випускається в оточуюче середовище. Це є однією з основних проблем традиційних систем виробництва та використання енергії.

Основні причини неefективного використання енергії:

- **Теплові втрати:** Багато традиційних систем перетворення енергії (наприклад, теплові електростанції або двигуни внутрішнього згоряння) мають низьку ефективність. Частка енергії, яка втрачається у вигляді тепла, є значною.
- **Неefективні технології:** Старі технології часто мають низьку енергоефективність через відсталість у порівнянні з новітніми розвинутими технологіями.
- **Низька енергоефективність у промисловості:** У виробничому секторі велика кількість енергії витрачається на нагрівання, охолодження та інші процеси, і часто частина цієї енергії йде на зрівняння рівнів енергії, які можна було б використати більш ефективно.
- **Неefективне управління енергією:** У багатьох випадках енергія не використовується оптимально через погане управління процесами виробництва та споживання.

5. Поступово спадаючі залишки ресурсів:

Постійне використання нафти, природного газу та вугілля призводить до поступового вичерпання цих ресурсів. Запаси можуть зменшуватися швидше, ніж вони відновлюються. За мірою того, як вичерпні ресурси стають менш доступними, збільшується складність їх видобутку та добування, що призводить до зростання витрат на технології для їх видобування та переробки. Зменшення ресурсів «може призвести до зростання їх цін, що може мати великий вплив на економіку та енергетичну безпеку країн»[15].

Спадаючі ресурси стимулюють пошук та розвиток альтернативних джерел енергії, таких як відновлювані джерела (сонячна, вітрова енергія тощо) або нові технології для видобування та використання більш ефективних джерел.

Для подолання цих проблем важливо шукати та розвивати альтернативні, екологічно чисті та ефективні джерела енергії.

2.2 Опис існуючих альтернативних палив. Переваги та недоліки

Під альтернативними видами палива ми розуміємо паливо, отримане з відновлюваних джерел енергії. Існують також інші види палива, як, наприклад, зріджений нафтовий газ (пропанобутанові фракції) або природний газ, які є похідними викопного палива, але в багатьох країнах також вважаються паливом альтернативним нафти. Занепокоєння, що посилюється у світі, щодо стану навколишнього середовища та існуюча загроза того, що світове виробництво нафти більше не зможе задовольнити всі зростаючі потреби, ставлять проблему розвитку альтернативних видів палива в розряд пріоритетних.

Наразі існують такі альтернативні джерела енергії:

I. Відновлювані джерела енергії:

1. Сонячна енергія

Сонячна енергія - це вид альтернативної енергії, яка використовується для генерації електроенергії за допомогою сонячних панелей, які конвертують сонячне випромінювання на електричний струм.

Основні компоненти сонячної енергії:

- Сонячні панелі (фотоелектричні модулі) - це пристрої, які складаються з сонячних клітин, зазвичай виготовлених з кристалів кремнію. Коли сонячне світло падає на ці клітини, вони генерують електричний струм через фотоэффект.
- Інвертор. Отриманий від сонячних панелей постійний струм (DC) потрібно перетворити на змінний струм (AC), який

використовується в електричних системах, і для цього використовується інвертор.

Переваги використання сонячної енергії:

- Сонячна енергія є чистим джерелом енергії, яке не викидає в атмосферу шкідливих викидів.
- Сонячна енергія є безмежним та відновлюваним джерелом енергії, оскільки сонце постійно випромінює світло.
- Низькі експлуатаційні витрати. Після встановлення сонячних панелей витрати на обслуговування та експлуатацію дуже низькі
- Незалежність від енергопостачальників. Господарства або підприємства з сонячними панелями можуть стати менш залежними від енергопостачальників.

Недоліки використання сонячної енергії:

- Залежність від погодних умов. Ефективність сонячних панелей залежить від інтенсивності сонячного світла, тому що хмари або дощ можуть знизити їх продуктивність.
- Потребує багато місця. Встановлення сонячних панелей для великого обсягу виробництва енергії може вимагати великих площ.
- Початкові витрати. Витрати на придбання та встановлення сонячних панелей можуть бути високими.
- Сезонність та географічні обмеження. Ефективність сонячних панелей може коливатися в залежності від пори року та місця розташування.

Сонячна енергія залишається одним з найбільш привабливих видів відновлюваних джерел енергії через її екологічну чистоту та безмежний потенціал. Не зважаючи на деякі обмеження, технології сонячних панелей постійно розвиваються, щоб забезпечити більшу ефективність та доступність.

2. Вітрова енергія

Вітроенергетика — галузь альтернативної енергетики, яка спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну енергію. «Джерело вітроенергетики - сонце, так як воно є відповідальним за утворення вітру. Атмосфера землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно через неоднорідності її поверхні та різний кут падіння світла в різних широтах в різну пору року. Повітря розширюється та підіймається догори, утворюючи потоки. Там де повітря нагрівається більше ці потоки підіймаються вище та зосереджуються у зонах низького тиску, а холодніше повітря підіймається нижче, створюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого тиску до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря і є тим, що ми називаємо вітром»[16].

Основні компоненти вітрової енергетики:

- Вітряні турбіни - це пристрої, які мають лопасті, що обертаються від вітру, перетворюючи кінетичну енергію вітру на механічну енергію.
- Генератори. Рух лопатей турбін породжує механічну енергію, яка потім передається до генератора для створення електричної енергії.

Переваги використання вітрової енергії:

- Екологічна чистота. Використання вітрової енергії не супроводжується викидами шкідливих речовин у повітря або воду, що дозволяє знижувати вплив на навколишнє середовище.
- Вітер є постійним та безмежним джерелом енергії, що робить вітрову енергію сталим джерелом енергії.
- Вітрові турбіни займають мало простору, що дозволяє використовувати навіть невеликі ділянки землі для їх розміщення.
- Можливість використання віддалених областей. Вітрові ферми можуть бути встановлені віддалено від населених пунктів та мереж електропередачі.

Недоліки використання вітрової енергії:

- Залежність від погодних умов. Ефективність вітрових турбін залежить від наявності вітру. При недостатньому вітровому потенціалі виробництво електроенергії може бути обмеженим.
- Естетичний вплив. Для деяких людей вітрові турбіни можуть бути неестетичними та порушувати ландшафт.
- Звукове забруднення. Можливість емісії звуків від роботи вітрових турбін може бути причиною неприємностей для мешканців близько розташованих територій.

3. Гідроенергетика

Гідроенергетика - це вид відновлювальної енергетики, що використовує потенціальну та кінетичну енергію води для генерації електроенергії. Це один з найстаріших та найбільш розвинених способів виробництва електроенергії з використанням води.

Основні типи гідроенергетичних станцій:

- Гідроелектростанції з накопиченням води. Ці станції використовують великі резервуари для накопичення води. Вода зберігається у верхньому резервуарі та вивільняється через турбіни, коли потрібно генерувати електроенергію.
- Гідроелектростанції без накопичення води (проточні): Ці станції використовують потік води, що надходить безпосередньо з річки або струмка, для приведення в рух турбін та генерації електроенергії.

Переваги використання гідроенергетики:

- Гідроенергетика не виділяє вуглецевих викидів та інших шкідливих речовин під час генерації електроенергії.
- Вода є безмежним та відновлюваним джерелом енергії, оскільки цикл води на планеті постійний.

- Гідроелектростанції з накопиченням води можуть регулювати виробництво електроенергії в залежності від потреби.

Недоліки використання гідроенергетики:

- Будівництво гребель та створення водосховищ може призвести до змін у природних екосистемах, затоплення земель, порушення місцевого середовища та міграції тварин.
- Гідроелектростанції можуть вимагати переміщення населення та впливати на місцеве суспільство та його культуру.
- Гідроелектростанції можуть вимагати переміщення населення та впливати на місцеве суспільство та його культуру.

Гідроенергетика вважається ефективним джерелом енергії через її відносну надійність та відновлюваність. Проте, при плануванні та реалізації гідроенергетичних проєктів важливо враховувати екологічні та соціальні наслідки, щоб забезпечити сталий розвиток та збереження довкілля.

II. Альтернативні палива для транспорту

1. Використання електроенергії для руху автомобілів

Електромобілі - це транспортні засоби, які працюють за допомогою електричних двигунів та використовують електричну енергію з батареї для їхнього руху. Ці автомобілі можуть бути повністю електричними або гібридними (комбінованими з двигунами, які працюють на бензині або іншому виді палива). Електромобілі за останні роки пережили значний розвиток у багатьох аспектах. Останнім часом покращились такі показники як швидкість зарядки та дальність ходу на одному заряді. Виробники акумуляторів і надалі працюють над покращення цих показників. З кожним роком все більше автовиробників починають випускати свої електромобілі. На ринок виходять компанії, які раніше не займалися випуском автомобілів. Конкуренція на ринку електромобілів з кожним роком зростає. Потроху розширюється мережа зарядних станцій, в тому числі і швидких зарядок. Спонукає розвитку електромобілів і той факт, що більшість європейських

країн обрали курс на зменшення викидів CO₂. До 2035 року більшість країн Європи має намір заборонити.

У більшості електромобілів використовують літій-іонні батареї як основне джерело енергії. Ці батареї стали популярними через їхню високу енергетичну щільність, швидке зарядження, малу вагу та відносно невеликі розміри. Літій-іонні батареї володіють доброю ефективністю та можуть пропонувати достатній запас ходу для більшості потреб у щоденному користуванні.

Але в цих акумуляторів є і мінуси. Виробництво літій-іонних батарей включає в себе дорогі матеріали та технології, що призводить до високої вартості цих батарей, а запас ходу автомобіля на літій-іонній батареї обмежений. Деякі моделі електромобілів можуть не відповідати потребам користувачів, які часто подорожують на великі відстані. До мінусів ще можна віднести швидкість зарядки. Хоча останнім часом і з'являються станції швидкої зарядки електромобілів, але процес зарядження ще залишається доволі повільним у порівнянні з автомобілями на ДВЗ, яким для заправки потрібно декілька хвилин. Літій-іонні батареї мають властивість «деградувати» з часом. Тобто втрачати свою ємність і щільність. Ще можна додати і той факт, що вони є небезпечними при неправильній експлуатації і при використанні їх без належного охолодження. Батареї у своєму складі мають такі метали як літій, нікель, кобальт, алюміній та інші, які можуть бути небезпечними для навколишнього середовища, якщо не відновлюються або не утилізуються належним чином.

Електромобілі дуже перспективна альтернатива для автомобілів з ДВЗ, але вона має ряд своїх недоліків. Вони все ще набагато дорожчі, ніж автомобілі, мають свої обмеження у використанні і повністю не вирішують проблеми традиційних видів палив, так як для цього потрібно, щоб електрична енергія вироблялася теж з альтернативних джерел.

2. Біопалива

Біопалива - це вид палива, виготовленого з органічних матеріалів або біомаси, таких як рослини, різні біологічні відходи та альтернативні джерела, які використовуються для генерації енергії. Вони можуть бути використані в різних галузях, включаючи автомобільний транспорт, енергетику та промисловість.

Основні види біопалива: біодизель, біоетанол та біогаз

Біодизель — «екологічно чистий вид палива або паливна добавка. Для його виробництва використовують соняшникову, ріпакову олію чи тваринний жир. Експерти наголошують, що з 1 га ріпаку можна отримати більше 1 т біодизеля. Але, щоб відбулася реакція і біодизель мав такі ж самі характеристики, що і звичайний, потрібно додавати до олії метиловий або етиловий спирт. Перший більш поширений, бо коштує дешевше»[16].

«За своїми характеристиками біодизель повністю відповідає традиційному дизельному пальному з нафти. В ЄС такий вид палива користується попитом через екологічність. По-перше, двигуни внутрішнього згоряння на такому пальному викидають у повітря менше діоксиду вуглецю (приблизно на 80%), і у вихлопі відсутній діоксид сірки. По-друге, при потраплянні у ґрунт чи воду, впродовж місяця розкладається на біокомпоненти»[16].

Біодизель можна використовувати в чистому вигляді (B100). Та більш популярним є сумішевий вид, коли до звичайного дизпалива додають 10% чи 20% біодизеля (B10 і B20). Сумішевий вид біодизеля можна використовувати при будь-якій температурі повітря, а чистий біодизель при низьких температурах (нижче +5 °C) вимагає застосування присадок, бо паливо загусає. Ще один недолік — таке пальне потребує додаткової підготовки паливних систем та заміни фільтруючих елементів. Крім того, біодизель агресивний по відношенню до гумових деталей, тому двигуни доводиться модифікувати.

«Процес виробництва виглядає наступним чином: у відфільтровану олію додаються спирти та каталізатор. Пропорції сировини та спиртів — 9:1. В якості каталізатора може слугувати гідроксид натрію або калію. Суміш підігрівається до певної температури. Після відстоювання, рідина розшаровується на дві частини — біодизель та гліцерин. Останній потрібно злити, а готову суміш профільтрувати»[16].

Біоетанол – це паливо для транспорту, виготовлене з біомаси або спирту етилового-сирцю. Зазвичай його використовують як біопаливо або паливну добавку. Біоетанол є найбільшим за обсягом виробництва та споживання цільовим видом етилового спирту і ці обсяги зростають з року в рік. В міжнародних класифікаціях біопаливо згадується як продукт першого, другого і третього поколінь. Основна відмінність полягає в сировині:

- Біопаливо 1-го покоління виготовляють з крохмале- або цукровмісної сировини(цукор або крохмаль), що міститься в рослинних агрокультурах, перетворюється на етанол за допомогою спиртового бродіння.
- Біопаливо 2-го покоління є наступним ступенем переробки біологічної сировини, що передбачає використання таких сировинних джерел, як деревна маса (целюлоза, лігнін), відходи виробництва, сільського господарства, менш цінні аграрні культури, солома та ін.
- Для біопалива 3-го покоління використовують як сировину водорості. Виробництво вимагає великої кількості енергії та добрив. Таке пальне розкладається швидше, ніж інші види біопалива, має підвищену в'язкість за низьких температур.

«В світі сьогодні більшу частку біоетанолу виробляють із кукурудзи або з цукрової тростини, хоча сировиною для його одержання можуть бути будь-які сільськогосподарські культури з великим змістом крохмалю чи цукру: рис, ячмінь, картопля, цукрові буряки, батат, напівпродукти цукрової промисловості»[17].

Водний біоетанол з вмістом води до 95% обсягу використовується в якості замітника бензину в машинах із модифікованими двигунами

Безводний або дегідратований біоетанол, що містить не менше 99% чистого спирту, змішують зі звичайним паливом у пропорції від 5% (E5) до 85% (E85).

Біогаз – горючий газ, що утворюється під час процесів розщеплення органічних відходів у безкисневому просторі, і складається в основному з метану (55-75%) та двоокису вуглецю (25-45%) та незначної кількості супутніх газів (менше 1%). В якості сировини для біогазового виробництва використовуються як органічні агропромислові відходи тваринного походження й побутові відходи, так і рослинні рештки й енергетичні культури – силос кукурудзи, трав'яний силос, солома зернових, некондинційне зерно тощо. Кількість типів субстратів, що можуть бути утилізовані в одній біогазовій станції може варіюватись від одного до понад десяти. Процеси розщеплення органічних відходів реалізуються у газо- й водонепроникних герметичних ємностях переважно циліндричної форми, у яких підтримується сталий температурний режим та здійснюється перемішування. В агропромисловому секторі біогазова станція може бути реалізована безпосередньо на підприємстві (тваринницькій фермі або переробному підприємстві), закриваючи ланку утилізації побічних продуктів/відходів основного виробничого процесу. Також біогазова станція може бути розрахована на утилізацію обсягів органічних відходів декількох підприємств, що знаходяться у логістично-привабливій зоні. У такому випадку об'єкт розташовують або на одному із підприємств-постачальників органічних відходів для біогазової станції, або окремо від усіх. Окремо відокремлюють біогазові станції, що проектуються і реалізуються як енергетичний об'єкт, сировину для яких (найчастіше кукурудзу на силос) вирощують спеціально.

Існує ряд шляхів використання утвореного в результаті утилізації та розщеплення органічної сировини біогазу, а саме:

- Виробництво електричної та теплової енергії, або виключно електричної енергії.
- Виробництво теплової енергії шляхом прямого спалювання у котлах.
- Подача утворюваного біогазу у газотранспортну систему після відповідного його очищення й доведення до якості природного газу із вмістом метану на рівні 96,5-98%.
- Застосування в якості моторного палива після відповідного очищення й підготовки.

Супутнім продуктом біогазового виробництва є високоякісні біодобрива, готові до безпосереднього внесення в ґрунт, сприяють відновленню родючого шару ґрунту, легко засвоюються рослинами, а також не містять патогенної мікрофлори та насіння бур'янів.

Переваги біопалив:

- Оскільки вони виготовляються з органічних матеріалів, біопалива вважаються відновлюваною енергією, адже рослини можна вирощувати знову і знову.
- Використання біопалив може сприяти зменшенню викидів парникових газів, оскільки вони випускають менше вуглекислого газу під час спалювання.
- Вирощування рослин для біопалив може сприяти розвитку сільського господарства та створенню нових ринків збуту для фермерів.

Недоліки біопалив:

- Вирощування рослин для виробництва біопалив може конкурувати з продукцією їжі та вимагати значних площ землі.

- Виробництво біопалив може бути дорожчим порівняно з традиційними видами палива через високі витрати на вирощування, збирання та обробку сировини.
- Деякі види біопалив можуть мати низьку енергетичну ефективність порівняно з традиційними паливами.

3. Водень

Водень – найрозповсюдженіший елемент у всесвіті, хоча в чистому вигляді у природі його майже немає. Він міститься у воді, вуглеводнях та інших органічних сполуках. Тож для того, щоб використовувати водень у якості енергоносія, першочерговим викликом є його отримання із зазначених сполук.

Більшість водню сьогодні отримують з природного газу на тих підприємствах, для яких це є економічно доцільним. Водень також можна отримувати з води за допомогою процесу електролізу, але для цього потрібні значні водні ресурси та електрична енергія. У дискусіях навколо розвитку водневої економіки водень розглядають як енергоносіє, який можна транспортувати та накопичувати, а не як основне джерело енергії.

Перелік основних характеристик водню виглядає так:

- Безбарвний газ;
- Не має запаху;
- Малорозчинний у воді
- Найбільш легкий серед усіх газів, має високий діапазон займистості;
- Має високу щільність енергії за вагою, але низьку щільність за об'ємом у порівнянні з дизельним паливом чи метаном, тож для його зберігання розробляються спеціальні методи та технології.

Водень – універсальний енергоносіє, який можна виробляти з будь-яких енергетичних ресурсів. Станом на сьогодні, водень використовується переважно у нафтопереробній та хімічній промисловості та виробляється з

виробничих палив із високими супровідними викидами парникових газів.

Наразі 6% світового природного газу та 2% вугілля спрямовується саме на виробництво водню. Як наслідок, водень відповідає за викиди близько 830 мільйонів тонн вуглекислого газу на рік, що еквівалентно викидам CO₂ Великобританії та Індонезії разом узятими.

Більше половини водню, що виробляється у світі, використовується для синтезу аміаку, який потім прямо чи непрямо використовується як добриво; чверть – на нафтопереробних заводах для перетворення важкої нафтової сировини у легші фракції, придатні для використання як паливо; і ще близько 10% – для виробництва метанолу. При цьому, попит на водень у світі зростає, зокрема із зростанням попиту на добрива.

Оскільки перетворення водню у теплову чи електричну енергію не спричиняє прямих викидів забруднюючих речовин або викидів діоксиду вуглецю в атмосферу, про водень все більше говорять як про чистіше у порівнянні з нафтою чи газом паливо.

Саме тому кількість країн, що підтримують інвестиції у водневій технології, збільшується разом із кількістю секторів, на які вони націлені.

Вплив водню на клімат повністю залежить від того, як він виробляється. Хоча він сам по собі прозорий, проте у промисловості має ряд «кольорових» позначень. Кліматична спільнота зазначає ж, що лише зелений водень сумісний з кліматично нейтральним майбутнім.

Types of hydrogen and technologies

Depending on the type of production used and level of emissions, different colours are assigned to hydrogen.



Рисунок 1 – Види водню

Сірий водень – це водень, що отримується з використанням викопного палива. Зазвичай його отримують із природного газу в процесі енергетичного спалювання, який відомий як паровий риформінг метану (англ. steam-methane reforming – SMR). У SMR пара змішується з природним газом, який реагує з водяною парою і розщеплює газ на окис вуглецю та водень.

Водень у меншій кількості також виробляється з нафти та вугілля. Іноді цей або будь-який водень, отриманий із використанням викопного палива, може називатися коричневим воднем.

Ці процеси виділяють значну кількість CO₂. Станом на 2018 рік на сірий водень сьогодні припадає близько 95% водню, що виробляється у світі.

Блакитний водень – це водень, який відповідає низьковуглецевому порогу, але генерується з використанням невідновлюваних джерел енергії,

таких як природний газ. Природний газ декарбонізується за допомогою технологій вловлювання, використання та зберігання вуглецю під час парового риформінгу метану. Громадські кліматичні організації вважають, що такий підхід до декарбонізації не є сталим. Адже він передбачає продовження використання вичерпних енергетичних ресурсів, при цьому відвертаючи увагу від необхідності масштабного зменшення викидів в усіх секторах економіки.

Недавнє доповнення до палітри виробництва водню – бірюза. Цей вид виробляється шляхом розщеплення метану на водень і твердий вуглець за допомогою піролізу. Бірюзовий водень може здатися відносно сталим з точки зору викидів, оскільки вуглець може бути або вловлений, або використаний для виробництва сталі або акумуляторів. Тим не менше, зазначені вище проблеми з використанням технологій уловлювання вуглецю є актуальними і для такого виду водню. Окрім того, метан є потужним парниковим газом і будь-які його витoki є проблематичними з точки зору впливу на клімат.

Рожевий (або жовтий) водень – це водень, що виробляється електролізерами, які живляться електрикою з атомних електростанцій. Таке виробництво водню має високі ризики й екологічні наслідки, пов'язані із діяльністю атомної енергетики. У деяких випадках водень, вироблений з будь-якої суміші електроенергії, називають “жовтим”. Наразі у світі для виробництва електроенергії переважно використовують викопне паливо, тож для багатьох країн жовтий водень може виявитися не кращим за брудний “сірий” чи “коричневий”.

Зелений водень – це водень, який відповідає пороговому рівню з низьким вмістом вуглецю та генерується з використанням відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна енергія або вітер. Це найкраще кліматично-дружнє рішення з усіх перерахованих, особливо зараз, коли ціна вітрової та сонячної енергії знижується. Поки що через електроліз виробляється дуже малий відсоток світового водню, як побічного продукту при виробництві

хлору. Що ж стосується саме зеленого водню, то поки що його виробництво обмежується лише демонстраційними проектами.

При електролізі для виробництва великої кількості водню потрібно багато води високої якості, електролізер(и) та електроенергія. Якщо електроенергія надходить з відновлюваних джерел, то єдині викиди вуглецю – це викиди, пов'язані із створенням інфраструктури для виробництва.

Але для широкого та швидкого розповсюдження зелених водневих технологій існують перепони, ось лише деякі з них:

- Ціна та ємність електролізерів. Головним фактором, що визначає вартість зеленого водню, є вартість електроенергії, необхідної для його виробництва, а також ціна електролізерів, яка поки що є високою. У секторі транспорту, технології паливних елементів стримуються високою ціною платини – важливого для виробництва паливних елементів металу.
- Низька ефективність технологій. На усіх етапах від виробництва до транспортування та використання зеленого водню втрачається значна кількість енергії. Під час електролізу втрачається близько третини енергії, перетворення водню в інші носії може призвести до втрат чверті енергії, транспортування – ще 10% втрат. При використанні водню у паливних елементах, втрати можуть сягати 50%. Чим більші втрати енергії – тим більше потужностей ВДЕ потрібно мати для виробництва необхідної кількості водню.
- Доступність енергії з відновлюваних джерел. Широкий та ефективний розвиток зеленого водню вимагає значної кількості відновлюваної електроенергії, що може стати проблемою в короткостроковій перспективі, оскільки ВДЕ вже потрібні для декарбонізації існуючого та майбутнього попиту на електроенергію.
- Зберігання та транспортування водню. Оскільки щільність водню є набагато меншою у порівнянні з бензином, його складно та дорого

зберігати та транспортувати. Для цього водень потрібно охолодити до -253°C щоб перетворити у рідину та/або стиснути до сотень разів атмосферного тиску щоб використовувати як стиснений газ. При криогенному зберіганні водень має меншу вагу, але зрідження вимагає великих витрат енергії. Сьогодні водень переважно виробляється поблизу до місця його використання, тож транспортна інфраструктура є малорозвиненою. Використання наявної газової інфраструктури у світі для транспортування водню також має свої обмеження.

- Потреба у великій кількості очищеної води. Для виробництва кожної тони зеленого водню потрібно щонайменше кілька тон води. Мова йде про очищену воду, для отримання якої зазвичай потрібні додаткові витрати електроенергії та звісно ж наявність самих водних ресурсів у достатній кількості. Ми вже писали про те, що нестача води може стати критичною проблемою у контексті зміни клімату для України та інших країн світу. Вже сьогодні Україна є однією з найменш забезпечених питною водою європейських країн. Тож збільшення навантаження на водні ресурси може стати ще одним обмежуючим фактором у випадку активного розвитку водневої економіки.

Хоча водень з відновлюваних джерел може стати конкурентоспроможним, скоріш за все, пройде певний час, перш ніж він конкуруватиме з воднем, отриманим з викопного палива. Існують оптимістичні прогнози щодо зниження ціни зеленого водню вже протягом найближчого десятиліття. Вони обумовлені тим, що з великою вірогідністю вартість виробництва електроенергії з відновлюваних джерел продовжуватиме падати, вартість електролізерів знижуватиметься у разі розвитку цього ринку, а ціна викидів парникових газів зростатиме із впровадженням більш амбітних кліматичних політик у світі.

Але вартість виробництва – не єдиний фактор, що формує кінцеву ціну для споживача. Витрати на транспортування, особливо якщо водень

імпортується, а також вартість транспортування водню всередині країни, додана вартість від компаній також впливатимуть на ціну.

Загалом, як зауважують експерти, з точки зору економіки та енергетики, водень будь-якого кольору практично не має сенсу. Усі перетворення, які необхідно здійснити для його виготовлення та використання, призводять до надто великих втрат енергії. Світ заговорив про водень тому, що для здійснення енергетичного переходу потрібно знайти рішення проблеми мінливості генерації з відновлюваних джерел енергії. І водневі технології наразі розглядаються як одне, хоча не єдине, з таких рішень.

3. Технологія водневих паливних елементів

Технологія паливних елементів (ПЕ) представляє собою перспективний напрямок в галузі енергетики, який відкриває нові можливості для створення чистої та ефективної енергії. Ця технологія базується на використанні хімічних реакцій між воднем та киснем для виробництва електроенергії, що має значний потенціал у різних галузях.

Процес електрохімічної реакції в паливному елементі базується на взаємодії водню та кисню, яка відбувається у присутності каталізаторів та електроліта.

На аноді, який зазвичай виготовляється з платини, відбувається окислення молекул водню (H_2). Ця реакція представлена рівнянням:



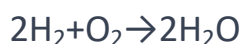
Дві молекули водню розщеплюються на чотири протони (H^+) та чотири електрони (e^-).

Електрони, які виникають на аноді внаслідок окислення водню, переносяться через зовнішнє електричне коло, створюючи електричний струм, який може бути використаний для виконання роботи.

На катоді, зазвичай також з платинового каталізатора, протони (H^+) та електрони (e^-) реагують з молекулами кисню (O_2), утворюючи воду (H_2O). Ця реакція виглядає наступним чином:



Чотири протони та чотири електрони реагують з молекулою кисню, утворюючи дві молекули води. Повний процес в паливному елементі можна представити як суму анодної та катодної реакцій:



Молекули водню та кисню об'єднуються, утворюючи молекули води та виділяючи електричну енергію.

Цей процес використовує електроліт (часто прокладений між анодом та катодом) для переміщення іонів водню (протонів) через електроліт між анодом та катодом. Результатом є виробництво електроенергії та води без викидів шкідливих газів, що робить паливні елементи екологічно чистим та ефективним джерелом енергії.

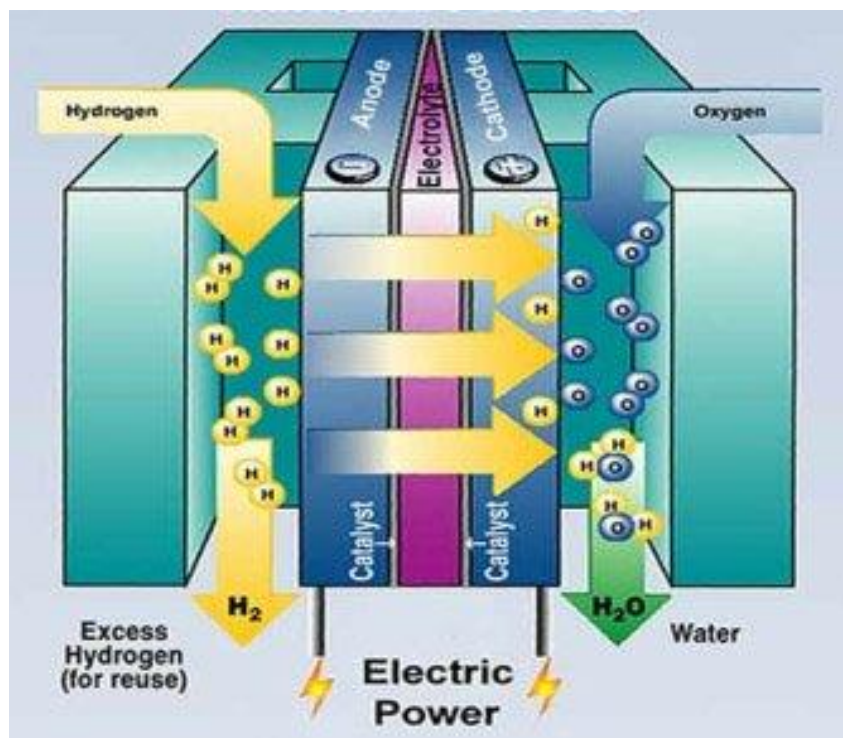


Рисунок 2 – Загальна структура паливного елемента

Використання катода та анода для взаємодії водню та кисню у паливному елементі визначається принципами електрохімічної реакції, яка лежить в основі роботи паливного елемента. Зазвичай анод виготовляється з платини або іншого каталізатора. На аноді відбувається окислення молекул водню (H_2). У результаті цього процесу водень розщеплюється на протони (H^+) та електрони (e^-). Утворені електрони переміщуються з аноду через зовнішнє електричне коло. Цей потік електронів через зовнішній коло створює електричний струм, який може бути використаний для виконання роботи, наприклад, для забезпечення електроенергії для електричного двигуна автомобіля.

Катод також виготовляється з платини або подібного каталізатора. На катоді відбувається редукція молекул кисню (O_2) за участю протонів (H^+) та електронів (e^-), утворюючи молекули води. Процес редукції кисню та одночасне з'єднання протонів, що пройшли через електроліт від аноду, створюють воду. Чиста вода (H_2O) є єдиним продуктом реакції на катоді та є викидом цього процесу.

Види паливних елементів:

1. Лужні паливні елементи (ЛПЕ)

Лужні паливні елементи отримали найбільше застосування в космічній галузі (в тому числі, для кораблів багаторазового використання). Вартість виготовлення і обслуговування, особливо для ядра паливного елемента, є порівняно доступною. Наприклад, сепаратор для паливного елемента з протонообмінною мембраною коштує від 800\$ до \$1100 метр квадратний, а для лужного його ціна навіть не береться у розрахунок (її можна порівняти з ціною квадратного метра сепаратора свинцево-кислотного акумулятора і вона складає 5\$). Також економія досягається шляхом відсутності необхідності в системі контролю за водними ресурсами. Коефіцієнт корисної дії такого паливного елемента знаходиться в районі 60%. Но у нього є і недоліки, наприклад, його фізичні розміри конструктивно більше, ніж у

версії з протонообмінною мембраною, також йому необхідно дуже чистий водень і кисень. Використання кисню із оточуючої середи, в складі якої є вуглекислий газ, може вивести такий елемент із ладу.

2. Мембранні паливні елементи (МПЕ)

Паливні елементи з протонообмінною мембраною використовують полімерний електроліт. МПЕ є однією з найбільш розвинених і використовується частіше за інші види паливних елементів. Такі елементи використовують у транспорті, портативних джерелах живлення і в якості резервного живлення. Система МПЕ має компактну конструкцію і забезпечує високе співвідношення енергії до маси. Ще однією перевагою є можливість відносно швидкого запуску. Паливний елемент працює при помірній температурі в 80°C і його ККД складає 50% (показник двигуна внутрішнього згорання – 25-30%).

До недоліків системи можна віднести високі виробничі витрати і складну систему управління подачі води. Ядро паливного елемента не може бути запущено просто пуском водню і кисню, також необхідна певна стартова кількість води в ньому. Водень, для даного виду паливного елемента, повинен бути надзвичайно чистим, в іншому випадку він може визвати засмічення або навіть розкладання мембрани. Налаштування і обслуговування систем таких паливних елементів дуже складні. Наприклад, 150-вольтові системи дуже складні і складаються з 250 окремих елементів, які необхідно правильно налаштувати.

Паливний елемент чутливий до низьких температур, адже це може призвести до утворення льоду. Це вимушує додавати до системи нагрівальні елементи, які підвищують кінцеву вартість. Запуск у прохолодну погоду займає більше часу, а продуктивність значно менша. Надмірне теплоутворення також може призвести до виходу із ладу комірки. Системи контролю температури і подачі кисню використовують приблизно 30% енергії, що генерується.

При монтажі у транспортний засіб, мембранний паливний елемент має розрахунковий термін служби 2000-4000 годин. Внаслідок нерівномірного навантаження відбувається надмірне зволоження чи, навпаки, висихання комірки, що сприяє зносу мембрани. При монтажі в пристрій з безперервним циклом роботи, паливний елемент може нормально функціонувати протягом 40000 годин. Зниження функціонування відбувається плавно, що робить його схожим на електрохімічну батарею. Заміна ядра паливного елемента є основною розхідною частиною обслуговування.

3. Твердооксидні паливні елементи (ТОПЕ)

В великих стаціонарних установках використовується три види паливних елементів – на розплаві карбонату (РКПЕ), на основі фосфорної кислоти (ФКПЕ) і твердооксидні (ТОПЕ). ТОПЕ є найменш поширеним, но в останній час із-за прориву в дослідженнях матеріалів і конструкції ядра елемента, на цю технологію звернено підвищену увагу. Завдяки новому поколінню керамічних матеріалів вдалось знизити робочу температуру з 800-1000°C до 500-600°C. Це дозволяє використовувати нержавіючу сталь замість дорогої кераміки для допоміжних деталей.

Висока температура дозволяє здійснювати пряме вилучення водню з природного газу шляхом процесу каталітичного риформінга. Саме здатність споживати вуглекисле паливо без необхідності попереднього реформінгу забезпечує високу ефективність і створює значні переваги для цього типу паливних елементів. Завдяки теплоутворенню, побічному продукту процесів в ТОПЕ, яке також можливо використовувати для генерації електроенергії за допомогою турбін. ККД твердооксидних паливних елементів може сягати 70%, що є самим високим показником серед усіх видів паливних елементів. Серед недоліків – необхідність використовувати термостійкі і дорогі матеріали для ядра паливного елемента, які мають лімітований строк служби.

4. Паливний елемент з прямим окисленням метанолу (ПОМПЕ)

Портативні паливні елементи є вкрай цікавим і привабливим напрямком, і найбільш перспективною технологією для їх створення – це пряме окислення метанолу. Паливні елементи з прямим окисленням метанолу мають невеликий розмір, недорогі в виготовленні, зручні в використанні і не потребують стисненого газоподібного водню. ПОМПЕ мають гарні електрохімічні характеристики, їх заправка відбувається шляхом вприскування рідини або заміни картриджа, що дозволяє продовжувати роботу без простоїв. Серед недоліків цих паливних елементів – отруйність і вогнебезпечність метанолу, із-за яких його використання і транспортування жорстко регулюється.

Розробки та покращення в сфері паливних елементів відбуваються поступово, малий показник питомої потужності не дозволяє бути прямим конкурентом електричним батареям.

Паливним елементам властиві такі обмеження як повільний пуск, низька вихідна потужність, повільна реакція на потрібність в електроенергії, погані навантажувальні характеристики, маленький діапазон потужності, короткий строк служби і висока вартість. Подібно електричним батареям, продуктивність всіх паливних елементів знижується з віком, це відбувається із-за поступової деградації компонентів ядра паливного елемента. Така проблема втрати ефективності набагато менше виражена, наприклад, у двигунів внутрішнього згорання.

Паливним елементам потужністю менше 1кВт, як правило, не потрібен тиск при роботі і подача кисню відбувається тільки за допомогою вентилятора. Системам з потужність більше 1кВт герметичні і потребують компресора, який знижує загальну ефективність і є доволі шумним. Відносно високий внутрішній опір представляє собою ще одну проблему. Кожна комірка ядра генерує близько 1В у відкритому ланцюзі, підключення високого навантаження призводить к помітному падінню напруги. Подібно електричній батареї, потужність паливного елемента зменшується з віком.

Окремі комірки можуть виходити з ладу і викликати збої в роботі, що приводить к неправильному функціонуванню всієї системи або забрудненню оточуючої середи. На рисунку 3 показані значення напруги і потужності в залежності від навантаження.

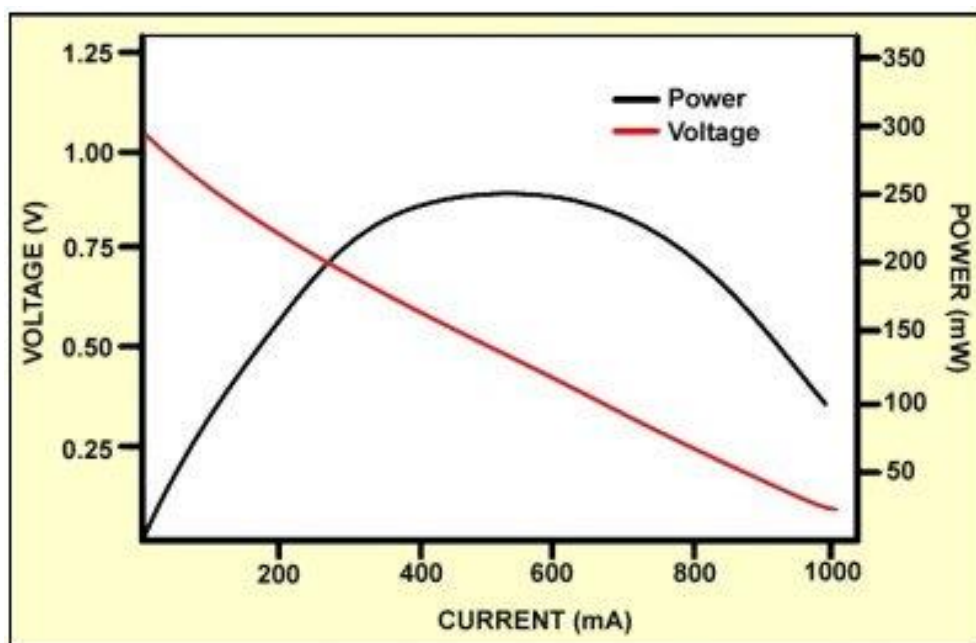


Рисунок 3 – Значення напруги і потужності в залежності від навантаження

Електромобілі на основі паливних елементів (Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV) використовують полімерні електролітні мембранні паливні елементи (PEMFC) або інші технології для перетворення водню на електроенергію. Такі електромобілі мають великий потенціал для зменшення залежності від нафти та обмеження викидів CO₂.

Паливні елементи вже знайшли застосування в легкових автомобілях. Вони використовуються в: Toyota Mirai, Hyundai Nexa, Honda Clarity Fuel Cell, Mercedes GLC F-cell, Renault Kangoo Z.E. Hydrogen.

Автомобіль на паливних елементах схожий на електричний автомобіль, оскільки він використовує водень для зарядки бортових батарей, які живлять електродвигун, який повертає колеса. Автомобіль на паливних елементах оснащений резервуаром, який заправляють воднем під тиском протягом

декількох хвилин. Коли цей водень пропускається через паливний елемент, генерується електрика для батарей і двигуна автомобіля.

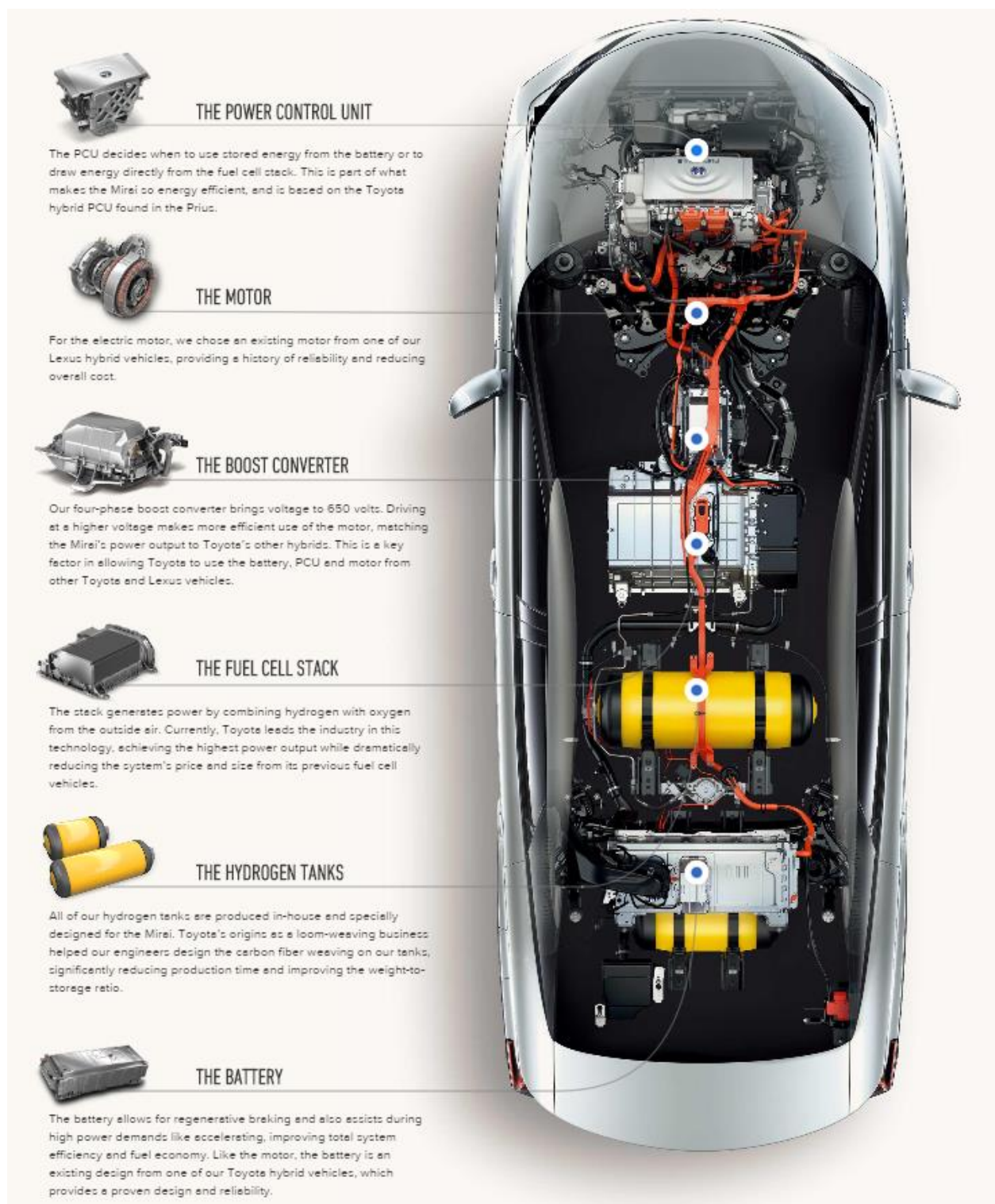


Рисунок 4 – Структура Toyota Mirai

Toyota Mirai – автомобіль на водневих паливних елементах з двигуном потужністю 153к.с. Розгін від 0 до 100км/год складає 9,4с, а максимальна швидкість обмежена електронікою і складає 170км/год. Автомобіль має

гібридну структуру, так як об'єднує водневий паливний елемент і нікель-металгідридну тягову батарею. В двох баках зберігається водень під тиском 700 бар. Балони тришарові і зроблені вуглепластику. Балон баку що знаходиться за заднім сидінням дорівнює 60літрів, іншого – 62,4л. З баків водень через фільтр потрапляє в паливний елемент, де об'єднується з киснем, який потрапляє до паливного елементу з оточуючого повітря через повітрязбірники. Водень на аноді вступає в реакцію з каталізатором і розкладається на протони і електрони. Саме за рахунок цього виробляється електроенергія, яка потрапляє в перетворювач. Він підвищує напругу до 650В і передає енергія на синхронний електродвигун, який і рухає автомобіль. На катоді паливного елемента утворюється вода, за рахунок об'єднання протонів водню, кисню і електронів, що виконали роботу в електричному колі. В передній частині розташований блок керування, який керує роботою електромотора, перетворює постійний струм в змінний і розподіляє електричну енергію в автомобілі. Енергія від рекуперації або надлишкова енергія від паливних елементів накопичується в тяговій батареї. Батарея має ємність 21 кВт*год.

Основними проблемами розвитку автомобілів на паливних елементах наразі є велика вартість водню у порівнянні з традиційними видами палива і електроенергією, а також слабкий розвиток інфраструктури заправних станцій. У багатьох регіонах відсутність достатньої кількості заправок для водню ускладнює користування автомобілями на основі паливних елементів. Це може обмежувати масове використання таких транспортних засобів. Розгортання інфраструктури для заправлення воднем потребує значних інвестицій. Створення та утримання заправок для паливних елементів може бути дорогим процесом. Робота з воднем вимагає високого технічного рівня та безпеки, а його транспортування є доволі складним процесом. Системи зберігання повинні бути безпечними, ефективними та екологічно прийнятними.

Розвитку інфраструктури заправних станцій сприятиме:

- Зростання популярності електромобілів на основі паливних елементів. За рахунок цього з'явиться більше стимулів для будівництва нових заправок та покращення існуючих.
- Глобальна співпраця між країнами та стандартизація технологій інфраструктури.
- Залучення інвестицій від урядів, приватних компаній та міжнародних організацій.
- Розробка та впровадження нових технологій заправок.
- Заходи для стимулювання попиту на автомобілі на паливних елементах, такі як фінансові пільги або інші стимули для покупців, можуть зробити ці транспортні засоби більш привабливими для споживачів.
- Заправки для паливних елементів, що живляться відновлюваною енергією, можуть сприяти сталому розвитку та зменшенню викидів парникових газів.
- Розгортання паливних елементів не лише в транспорті, але й в інших галузях, таких як енергетика, може створити додатковий попит та підтримку для інфраструктури.

Прогнози, щодо розвитку паливних елементів:

1. Очікується збільшення кількості моделей FCEV та їх виробництва з більшим запасом ходу. Розвиток транспортних засобів на паливних елементах може стати ключовим фактором для розширення інфраструктури та підтримки від виробників.
2. Поширення інфраструктури для заправлення воднем буде ключовим етапом. Зростаюча кількість заправок у великих містах та міжміських трасах може робити FCEV більш привабливими для споживачів.
3. Паливні елементи будуть застосовуватися не лише в автомобілях, але й у вантажівках, автобусах, потягах та інших транспортних

засобах. Диверсифікація застосувань розширить ринок та створить нові можливості.

4. Зростання виробництва зеленого водню (виробленого за допомогою відновлювальних джерел енергії) може поліпшити екологічні характеристики паливних елементів, знизити викиди CO₂ та робити їх більш конкурентоспроможними.
5. Міжнародна співпраця та спільні стандарти можуть сприяти розвитку паливних елементів. Глобальні угоди та регулювання можуть створити сприятливі умови для розвитку та використання цієї технології.
6. Дослідження нових матеріалів та технологій у галузі паливних елементів буде продовжуватися, що сприятиме поліпшенню їх характеристик та збільшенню їхнього застосування.

Загалом, розвиток паливних елементів обіцяє бути важливим етапом у переході до сталої енергетики та транспортної системи. Однак багато викликів, таких як інфраструктурні питання, економічна конкуренція та доступність водню, все ще потребують вирішення для широкого впровадження цієї технології.

4. Станції для заправки автомобілів, що працюють на водневих паливних елементах

4.1 Розвиток мережі станцій заправки воднем

З кожним роком кількість заправних станцій збільшується. Деякі країни вже досягли значних успіхів у розвитку інфраструктури для водневих автомобілів. Їх розвиток стимулюють уряди країн, що беруть курс на зелену енергетику, зменшення залежності від традиційних енергоносіїв і зменшення викидів вуглекислого газу у атмосферу Землі, а також автовиробники, що активно розвивають водневі технології (такі як Hyundai, Toyota та Honda).

Японія є однією з лідерів у розвитку інфраструктури для водневих транспортних засобів. Тут розташовано значну кількість заправних станцій воднем, особливо в мегаполісах. На кінець 2022 року Японія налічувала 165 станцій заправки воднем.

Німеччина активно розвиває інфраструктуру для водневих автомобілів та є лідером по кількості станцій заправки воднем у Європі (105 станцій). Тут діють заправки воднем у великих містах та на автобанах. Ряд виробників, таких як BMW, Mercedes-Benz, Audi, розглядають та випробовують технології на основі паливних елементів. Після Німеччини по кількості станцій йде Франція (44 станції), Велика Британія і Нідерланди (по 17 станцій) і Швейцарія (14 станцій). Загалом у Європі вже 254 станції.

У США інфраструктура для водневих транспортних засобів також активно розвивається. Є заправні станції в регіонах Каліфорнії, Гаваї та інших штатах. Також великі автовиробники, такі як Toyota та Honda, поставляють свої моделі FCEV на американський ринок. Наразі в США діє 89 станцій заправки воднем.

Південна Корея вкладає зусилля у створення інфраструктури для автомобілів на паливних елементах. Тут працюють заправні станції воднем, і деякі місцеві автовиробники також розробляють водневі моделі. На території цієї держави налічується 149 станцій.

Китай показує зростаючий інтерес до технологій на основі паливних елементів. В кількох містах Китаю діють заправки воднем, а великі китайські виробники, такі як BYD та SAIC Motor, вивчають можливості розробки водневих автомобілів. Приблизна кількість станцій у Китаї – 138.

Ці країни та інші продовжують вкладати зусилля в розгортання заправних станцій воднем, щоб створити стабільну інфраструктуру та підтримати зростання використання паливних елементів у транспорті.

4.2 Принцип роботи станцій заправки воднем

На більшості заправок паливо продається в газоподібному стані. Рідина зустрічається тільки на 10% станцій. Використовують її машину теж трохи, включаючи випущену в 2007-2008 роках модель BMW HydroGen 7 і авто HydroGen3 від GM з баками для газоподібного і рідкого водню.

Існують станції заправки воднем для: легкових автомобілів; автобусів і вантажівок; спеціальної техніки, наприклад навантажувач. Станції для заправки легкових автомобілів нагнітають газ під тиском 10 000 psi (H70), для заправки інших транспортних засобів використовується тиск 5 000 psi (H35).

Усі станції зазвичай мають однакове обладнання, але станції використовують різні конструкції залежно від того, як виробляється, доставляється, зберігається та розподіляється водень. Кожна станція включає, як мінімум:

- Обладнання для зберігання водню – залежно від розташування та потужності станції, водень можна зберігати у вигляді рідини або газу під високим або під низьким тиском. Резервуари для зберігання водню повинні відповідати стандарту ASME.
- Принаймні один компресор. За його допомогою водень стискається до визначеного тиску щоб зменшити використовуваний об'єм. Як правило, для поповнення буферного накопичувача використовується один компресор. Резервуари для зберігання рідини та газу за низького тиску можуть використовувати декілька компресорів.
- Охолоджувач. Водень охолоджується під час заправки щоб не перевищувати температурний поріг визначений стандартом. (Станції для транспортних засобів великої вантажопідйомності та транспортно-розвантажувального обладнання не можуть використовувати холодильні машини.)
- Диспенсери – призначенні для роздачі водню споживачам.

В залежності від виду станції кількість і вид обладнання може відрізнятися

Таблиця 1 – Види заправок та перелік обладнання

Метод доставки/виготовлення водню	Обладнання станції	Переваги	Недоліки
Доставка рідини	Ємність для зберігання рідини Теплообмінник Компресор Резервуар для зберігання водню у вигляді газу Охолоджувач Диспенсер	Може зберігати більше палива (більша місткість)	Набагато більший слід Можливість кипіння палива Використання двох типів резервуарів
Доставка газу	Резервуар для зберігання газу Компресор Охолоджувач Диспенсер	Менший слід ніж у доставки рідини Обладнання може мати різні варіації	Зберігає менше водню, ніж інші методи
Електроліз води на заправці	Сонячна батарея Очищувач води Електролізер Компресор Резервуар для зберігання газу Дожимний (бустерний) компресор Охолоджувач Диспенсер	Паливо не потрібно доставляти, воно виробляється на самій станції Відсутність вуглецевих викидів	Більша кількість обладнання Більш дорогий варіант
Доставка водню по трубопроводу	Осушувач Резервуар для зберігання газу Компресор Охолоджувач Диспенсер	Більша місткість	Станція повинна мати трубопровід поруч Більше обладнання

Водень такий же безпечний, як і інші види палива. Він легший за повітря і швидко дифузує. Важко сконцентрувати водень настільки, щоб він загорівся, не кажучи вже про вибух. Техніка та цистерни проходять усі перевірки на безпеку.

Воднева колонка виглядає подібно до паливної колонки і зазвичай має два різних шланги, по одному для кожного тиску. Клієнти не можуть приєднати сопло високого тиску до ємності з нижчим тиском, подібно до дизельного сопла, яке не підходить до бензинового порту. Коли клієнт активує колонку, водень тече з резервуарів для зберігання в колонку і через сопло в транспортний засіб у замкнутій системі. У разі заповнення H70 водень проходить через компресор і охолоджувач перед тим, як потрапити в дозатор. Якщо форсунка неправильно прикріплена до автомобіля, паливо не буде надходити. Щоб заправити легковий автомобіль, потрібно менше п'яти хвилин, а для автобуса – близько 10 хвилин. Коли бак заповнюється, подача припиняється.

4.3 Вимоги до заправних станцій і стандарти, що їх регулюють

Спілка автомобільних інженерів, що відома як SAE International (Society of Automotive Engineers) розробила ряд стандартів, для заправки водневих автомобілів.

Основні стандарти, що регулюють вимоги до заправних станцій воднем: SAE J2719, SAE J2601, SAE J2799, SAE J2600, ISO 19880-1:2020, ISO 14687:2019.

Стандарт SAE J2719 регулює мінімально допустиму чистоту водню і максимальну кількість домішок у ньому. Домішки негативно впливають на платиновий каталізатор, що наноситься на поверхню аноду в паливному

елементі. Водень, що має велику кількість домішок призводить до погіршення продуктивності паливних комірок.

Таблиця 2 – Вимоги до водневого палива

Характеристики	Газоподібний водень	Лабораторні методи визначення концентрації
Індекс водневого палива (мінімальна об'ємна концентрація)	99,99%	
Максимальне значення концентрації неводневих інгредієнтів		
Загальний вміст газів	100мкмоль/моль	
Вода (H ₂ O)	5мкмоль/моль	ASTM D6348, ASTM D5454, ASTM D1946, ASTM D5466, JIS K0225
Усього вуглеводнів	2мкмоль/моль	EPA TO12, EPA TO15, ASTM D1946, ASTM D5466, ASTM D6968, JIS K 0114
Кисень (O ₂)	5мкмоль/моль	ASTM D1946, ASTM D5466, JIS K 0225
Гелій (He), азот (N ₂), аргон (Ar)	100мкмоль/моль	ASTM D1946, ASTM D5466, JIS K 0114
Вуглекислий газ (CO ₂)	2мкмоль/моль	ASTM D1946, ASTM D5466, JIS K 0114, JIS K 0123

Закінчення таблиці 2

Монооксид вуглецю (CO)	0,2мкмоль/моль	EPA 25с, ASTM D1946, ASTM D5466, JIS K 0114, JIS K 0123
Усього з'єднань сірки	0,004мкмоль/моль	ASTM D1946, ASTM D5466, ASTM D5504, JIS K 0127
Формальдегід (HCHO)	0,01 мкмоль/моль	EPA метод 11, NIOSH 2541, EPA T015, ASTM D1946, ASTM D5466, JIS K 0114, JIS K 0124, JIS K 0123
Мурашина (метанова) кислота (HCO)	0,2мкмоль/моль	ASTM D1946, ASTM D5466, JIS K 0123, JIS K 0127
Аміак (NH ₃)	0,1мкмоль/моль	ASTM D1946, ASTM D5466, EPA T015, JIS K 0127
Всього галогеновмістних сполук	0,05мкмоль/моль	EPA 200.7, JIS K0101
Максимальний розмір частинок	10мкм	SCAQMD метод 301-91
Максимальна концентрація частинок	1 мкг/л при 20°C і 101,325 кПа	EPA 625/R-96/010A

Всі ці домішки по різному впливають на роботу паливного елемента. Для них характерний оборотний і необоротний вплив.

Оборотний вплив – вплив, що виражається у тимчасовому погіршенні робочих характеристик енергетичної установки на паливних елементах, які можуть бути відновлені зміною робочих режимів ПЕ та/або складу газу.

Необоротний вплив – Вплив, що виражається у погіршенні робочих характеристик енергетичної установки на паливних елементах, які не можуть бути відновлені за рахунок змін робочих режимів ПЕ та/або складу газу.

Вода (H_2O) зазвичай не впливає на працездатність паливного елемента, проте вона бере участь у механізмі транспортування таких розчинних у воді елементів як K і Na , присутніх у вигляді аерозолів. Рекомендується, щоб концентрація K та Na не перевищувала 0.05 мкмоль/моль. Крім того, вона може бути не бажаною для бортових систем живлення транспортних засобів. При встановленій максимальній допустимій концентрації вода залишатиметься в пароподібному стані в процесі всього робочого циклу експлуатації паливних елементів.

Вуглеводневі сполуки в залежності від фізико-хімічних властивостей мають різний вплив на роботу паливних елементів. Ароматичні вуглеводні зазвичай на поверхні каталізатора адсорбуються сильніше, ніж парафінові сполуки, тим самим погіршуючи їхню працездатність. Метан (CH_4) по відношенню до паливних елементів вважається інертним газом, однак його наявність у водневому паливі призводить до зниження концентрації водню та ефективності роботи системи.

Кисень (O_2) у малих концентраціях вважається інертним інгредієнтом, оскільки він не має негативного впливу на працездатність системи паливних елементів. Тим не менш, він може при перевищенні допустимих концентрацій представляти проблему для бортових систем зберігання у дорожніх транспортних засобах.

Такі складові, як гелій (He), азот (N_2) та аргон (Ar) є інертними і зазвичай не реагують з матеріалами компонентів систем на паливних

елементах. Однак вони розбавляють газоподібний водень і негативно впливають на ефективність роботи систем паливних елементів в цілому.

Вуглекислий газ (CO_2) не істотно впливає на працездатність паливних елементів. Однак він може негативно впливати на бортові системи зберігання водню, у разі, якщо в них використовуються металогідридні з'єднання.

Монооксид вуглецю (CO) є сильним забруднювачем каталізаторів паливних елементів. Однак ця реакція вважається оборотною.

З'єднання, що містять сірку, вважаються сильними забруднювачами, що викликають необоротне погіршення робочих характеристик паливного елемента. Мінімальне значення вмісту сполук сірки необхідно контролювати особливо ретельно в ході перевірки якості водневого палива одержуваного на основі конверсії природного газу.

Формальдегід (HCHO) і мурашина кислота (HCOOH) мають вплив аналогічний забрудненню каталізаторів монооксидом вуглецю (CO). Однак, через повільнішу кінетику відновлення інгредієнти HCHO та HCOOH мають на роботу паливного елемента більш жорсткий вплив, ніж CO .

Аміак (NH_3) викликає необоротне погіршення робочих характеристик паливного елемента через забруднення протоніобмінної мембрани та реагуванням з протонами водню з утворенням іонів NH_4^+ .

Максимальний розмір частинок повинен нормуватися на тій підставі, що вони становлять небезпеку для ущільнювальних з'єднань у резервуарах.

Призначення стандарту SAE J2601 – встановити єдиний всесвітній протокол заправки легких транспортних засобів на паливних елементах (FCEV) на заправних станціях з тиском 35 МПа та 70 МПа. Збільшення стиснення водню до 70 МПа дозволяє підвищити дальність поїздки FCEV на одній заправці. Стандарт SAE J2601 відноситься до легких FCEV з водневим баком, що вміщає від 2 до 10 кг водню при тиску 70 МПа і від 2,4 до 6 кг при тиску 35 МПа. Окремі документи стандарту стосуються заправки важких вантажівок та вилкових навантажувачів.

Стандарт SAE J2601 дозволяє безпечно та швидко (протягом 3-5 хвилин) повністю заправити легкі транспортні засоби на паливних елементах, включаючи моделі з дальністю поїздки понад 500 км. При цьому досягається високий рівень наповнення водневих баків і сховищ водню без перевищення експлуатаційних обмежень. SAE J2601 вважається ключовим стандартом, необхідним для комерціалізації автомобілів на паливних елементах та водневих заправних станцій.

SAE J2601 встановлює обмеження щодо безпеки та вимоги до продуктивності роздавального пристрою газоподібного водню. Критерії включають: максимальну температуру палива у сопла дозатора, максимальну швидкість закінчення палива, максимальну швидкість підвищення тиску та інші параметри, що базуються на охолоджувальній здатності роздавальної колонки станції.

Стандарт SAE J2601 для FCEV малої вантажопідйомності використовує довідкові таблиці для заправки при тиску 35 МПа та 70 МПа. Ці таблиці можуть бути запрограмовані в блок керування роздавального пристрою для контролю за заправкою. Стандарт J2601 визначає чотири типи роздавальних колонок залежно від температури, до якої попередньо охолоджується водень. У пристроях типу "А" газ охолоджується до -40°C , типу "В" - до -30°C , типу "С" - до -20°C , пристрої типу "D" не мають функції охолодження.

Швидкість заправки безпосередньо пов'язана з здатністю охолоджувальної роздавальної колонки. Охолодження необхідно для компенсування тепла, що виділяється під час стиснення газу. Як вихідні дані в таблицях використовуються початковий тиск у баку FCEV, температура навколишнього середовища та тип роздавального пристрою. За цими значеннями обчислюється допустима швидкість заправки (середня швидкість підвищення тиску в рампі) та кінцевий тиск, при якому відключається дозатор.

Якщо порівнювати автомобілі на паливних елементах з електромобілями, то з урахуванням нинішнього ККД FCEV, що досягає 60%, заправка воднем (5-10 кг) еквівалентна заряду 100-200 кВтг електроенергії за час, що не перевищує 5 хвилин. Завдяки SAE J2601 на даний момент FCEV можна вважати єдиною технологією з нульовим викидом, яка здатна конкурувати за часом заправки та дальності поїздки з автомобілями з бензиновими ДВС.

На додаток до стандарту SAE J2601 з метою подальшої оптимізації процесу заправки та забезпечення високого ступеня наповнення (95-100%) було розроблено стандарт бездротового зв'язку між FCEV та водневою станцією SAE J2799. Цей опціональний протокол використовує технологію інфрачервоної передачі даних (Infrared Data Association technology) для обміну інформацією між транспортним засобом, водневим баком та дозатором. Підвищення наповнюваності бака дозволяє досягти більшої дальності поїздки без дозаправки.

SAE J2600 регламентує конструкцію та порядок випробування заправних роз'ємів, сопел та ємностей, призначених для заправки наземних транспортних засобів, у яких як паливо використовується стислий водень. Роз'єми, сопла та ємності обов'язково повинні відповідати вимогам стандарту та пройти всі встановлені випробування, щоб вважатися сумісними з SAE J2600. Стандарт застосовується до пристроїв, які мають класи тиску H11, H25, H35, H50 та H70. Цілями розробки SAE J2600 є:

- запобігання можливості заправки автомобіля на паливних елементах (FCEV), що має клас тиску нижче, ніж клас тиску дозатора;
- допуск можливості заправлення FCEV дозатором, який має рівний або менший клас тиску;
- запобігання можливості заправлення FCEV на заправних станціях іншого стисненого газу (не водню);

- запобігання можливості заправлення інших транспортних засобів, що використовують як паливо стислий газ, на водневих заправних станціях.

Стандарт SAE J2601 відкритий для змін, надаючи розробникам можливість вносити вдосконалення та пропонувати свої рішення для швидкого заправлення. Одним із таких рішень є MC Default.

MC Default – це не нормативний протокол заправки, описаний у додатку до стандарту SAE J2601. Метод MC Default, розроблений науково-дослідним центром Honda R&D є математичною конструкцією, за якою розраховується здатність поглинання тепла водневим баком. Метод є аналогом довідкових таблиць, що використовуються в SAE J2601.

Як і протокол J2601, MC Default розроблено для заправних систем, розрахованих на тиск водню до 70 МПа. Основною відмінністю між ними є те, що Honda пропонує динамічне керування швидкістю заправки, засноване на вимірюванні температури газу, а не швидкості підвищення тиску, що використовується довідковими таблицями. Завдяки своїм адаптивним якостям MC Default надає більше гнучкості у дизайні станції та її найкраще використання.

ISO 19880-1:2020. Цей документ визначає мінімальні вимоги до проектування, встановлення, введення в експлуатацію, експлуатації, перевірки та технічного обслуговування щодо безпеки та, у відповідних випадках, щодо продуктивності громадських і недержавних заправних станцій, які роздають газоподібний водень легким дорожнім транспортним засобам, що працюють на водневих паливних елементах. Цей документ не застосовується для заправки рідким воднем або воднем у складі метал-гідридів.

ISO 14687:2019. Цей документ визначає мінімальні якісні характеристики водневого палива, що розповсюджується для використання в транспортних засобах і стаціонарних установках.

4.4 Розгляд стандарту ISO/TS 20100:2008

Цей стандарт визначає технічні вимоги до водневих заправних станцій загального призначення, а також до відомчих заправних станцій, встановлених на територіях підприємств або організацій, призначених для заправки наземних транспортних засобів газоподібним воднем, що використовується як паливо. З цих технічних вимог виключено побутові (домашні) заправні станції для наземних транспортних засобів. Воднева заправна станція включає пристрої та системи:

- системи подачі водню по трубопроводу та в автоцистернах у газоподібному та (або) рідкому вигляді;
- автономні генератори водню, що використовують процес електролізу води, або генератори водню, що використовують технології переробки палива;
- системи зберігання, перекачування та випаровування зрідженого водню;
- системи компримування та очищення газоподібного водню.
Якщо на заправній станції використовується автономний генератор водню, до нього зазвичай вбудовується система компримування/очищення;
- пристрої для зберігання газоподібного водню;
- паливо-роздавальні колонки газоподібного водню

Hydrogen generation

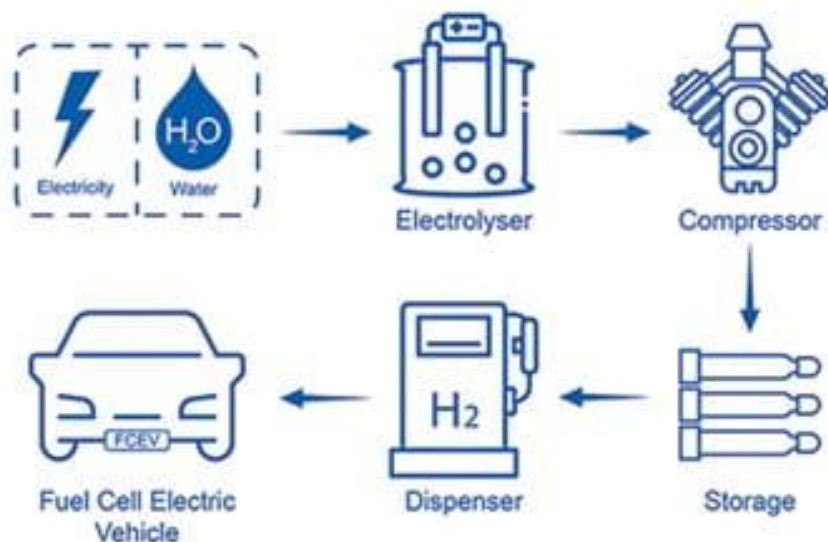


Рисунок 5 – схема обладнання заправки з автономним видобутком водню

Основні терміни:

Допоміжне обладнання та приладдя (accessory) - частини, що мають самостійні функції та сприяють функціонуванню обладнання, для якого вони використовуються.

Продувний клапан (bleed venting) – пристрій продування або вентиляції внутрішніх порожнин обладнання таких пристроїв, як клапани, регулятори тиску або перемикачі.

Буферні резервуари для зберігання (buffer storage tanks) – герметичні резервуари, що встановлюються між водневим генератором та компресором для забезпечення рівномірного закачування потоку газу в компресор або між компресором і паливо-роздавальною колонкою для накопичення стиснутого газу під час заправки транспортних засобів.

Система керування (control system) – система, призначена для автоматичного контролю та управління заправною станцією в умовах нормальної експлуатації. Система управління включає в себе функції контролю, вимірювання, моніторингу та реєстрації даних.

Розрахунковий тиск (design pressure) – максимально допустимий тиск у резервуарі або у трубопровідній системі заправної станції. На підставі розрахункового тиску з урахуванням температурного фактора виконується встановлення значення тиску скидання в запобіжних пристроях, призначених для захисту трубопровідної системи від руйнування.

Паливо-роздавальна колонка (dispenser) – устаткування заправної станції для заправки стиснутим воднем, через яке здійснюється дозована подача стисненого газу транспортний засіб. Паливо-роздавальна колонка може включати корпус, газовий витратомір, заправний шланг та заправний вентиль.

Паливо-роздавальна система (dispensing system) – система, що включає в себе обладнання для виконання безпосереднього заправлення транспортного засобу.

Тиск заправки (fill pressure) – тиск, що досягається під час виконання заправки. Тиск заправки може встановлюватись залежно від температури газу в системі зберігання водню транспортного засобу за різних умов навколишнього середовища.

Заправний майданчик (forecourt) – територія заправної станції з твердим покриттям у місці заправки транспортних засобів, включаючи зону заправки та площі, що знаходяться під навісом.

Паливо-заправний вентиль (fueling nozzle) – пристрій заправки паливом, що дозволяє здійснювати подачу водню через штуцер до балону в автомобілі.

Паливо-заправний приймач (fueling receptacle): Пристрій, встановлений на транспортному засобі або системі зберігання водню, призначене для з'єднання із заправним вентилям і дозволяє здійснювати заправлення воднем.

Зона заправки (fueling position) територія, що примикає до паливо-роздавальної колонки, де клієнти зупиняють свої транспортні засоби для заправки.

Воднева заправна станція, ВЗС (fueling station) – об'єкт, призначений для дозованої подачі водню, що включає стаціонарне обладнання для виробництва, стиснення, зберігання та роздачі водню, що використовується як паливо для наземних транспортних засобів.

Захисна огорожа (guard) – частина обладнання спеціально призначена для забезпечення захисту у вигляді фізичного бар'єру.

Розривна муфта заправного шлангу (hose breakaway device): Пристрій для захисту паливо-роздавальної колонки від пошкодження у випадку, якщо транспортний засіб, що заправляється, почне рух із приєднаним заправним шлангом.

Очищувач водню (hydrogen purifier) – устаткування для очищення водню від кисню, вологи та інших домішок.

Максимальний тиск заправки (maximum fill pressure) – максимальний тиск, при якому може здійснюватися заправка транспортного засобу воднем.

Робочий тиск номінальний (nominal working pressure) – рівень тиску, за якого зазвичай працює елемент чи система.

Основа (plinth) – піднята частина заправного майданчика, що підтримує та захищає паливо-роздавальні колонки та відповідне обладнання.

Безпечна відстань (safety distance) – мінімальна відстань між джерелом небезпеки та об'єктом (людиною, обладнанням або навколишніми предметами), яка дозволить мінімізувати вплив передбачуваної надзвичайної ситуації та запобігти переростанню незначної надзвичайної ситуації у серйозну.

Основні вимоги до станцій заправки воднем:

Водневі заправні станції повинні розташовуватися таким чином, щоб мінімізувати ризик виникнення небезпеки для споживачів та обслуговуючого персоналу станції, а також для об'єктів нерухомості, що знаходяться поруч зі станцією, мешканців прилеглих будинків та персоналу підприємств, розташованих поруч із об'єктом. Необхідно брати до уваги всі потенційні

небезпеки та ризику в залежності від місця розташування та умов експлуатації заправної станції. Зокрема, для зниження пожежо- та вибухонебезпеки повинні прийматися такі заходи у зазначеній черговості:

- запобігання утворенню горючих або вибухонебезпечних сумішей та зниження потенційної сили вибуху для вибухонебезпечних середовищ, що утворюються внаслідок потенційних витоків або викидів;
- усунення джерел займання;
- проведення заходів щодо зменшення шкоди внаслідок пожежі чи вибуху.

При проектуванні та монтажі обладнання необхідно звести до мінімуму кількість з'єднань та інших можливих місць витoku чи викиду небезпечних речовин у повітря. Необхідно уникати таких конструкцій, при яких існує ймовірність утворення вибухонебезпечного середовища в замкнутому чи обмеженому просторі. Заходи щодо запобігання ризику пожежі та вибуху повинні враховувати можливі несправності та неправильне використання обладнання. Для будь-якої надзвичайної ситуації на заправній станції, при якій існує небезпека пожежі та вибуху, повинні бути визначені заходи, спрямовані на її локалізацію та ліквідацію. Якщо вибухонебезпечна суміш може накопичуватися на заправній станції після випадкового викиду водню, всупереч існуючим засобам виявлення, відключення та вентиляції, необхідно прийняти додаткові заходи щодо зменшення наслідків вибуху.

Під час проектування заправної станції необхідно забезпечити вільний доступ уповноваженого персоналу у робочу зону станції. Зони подачі та зберігання водню мають бути легкодоступними для уповноваженого персоналу та пересувного обладнання на рівні землі. Повинні бути передбачені під'їзні дороги та інші засоби доступу для аварійно-рятувального обладнання, наприклад, пожежної техніки. У місцях, де передбачені огорожі для запобігання доступу сторонніх осіб, мінімальна відстань між огорожею

та обладнанням повинна складати 0,8 м для забезпечення вільного входу та виходу.

Повинні бути передбачені засоби евакуації у надзвичайних ситуаціях. Якщо обслуговуючий персонал може бути заблокованим усередині будівлі, необхідно передбачити не менше двох окремих виходів, що відкриваються назовні та знаходяться на віддаленні один від одного і розташовані з урахуванням ступеня передбачуваної небезпеки.

Всі ворота повинні відчинятися назовні і бути достатньо широкими для забезпечення безперешкодного входу та виходу персоналу. Доступ на об'єкт через ворота під час експлуатації повинен здійснюватися лише при використанні спеціального ключа. Необхідно забезпечити додатковий аварійний вихід, якщо цього вимагають розміри обгородженої території чи місцезнаходження обладнання. Доступ до обладнання повинен бути заборонений всім стороннім особам. Необхідно розмістити відповідні застереження. Для огорож не повинна застосовуватися деревина та інші легкозаймисті матеріали. Висота огороження має бути не менше 2 м.

Генератори водню, які використовують процес електролізу води, повинні відповідати вимогам стандарту ISO 22734-1.

При спрацюванні будь-якого пристрою аварійної зупинки заправної станції має відбуватися відключення генераторів водню, що використовують процес електролізу води.

Можуть використовуватися всі типи компресорів за умови, що вони придатні до роботи з воднем. Необхідно встановити запірні клапани, щоб кожен компресор міг бути від'єднаний щодо технічного обслуговування. Якщо компресори встановлюються паралельно, то кожен нагнітальний трубопровід повинен обладнатися зворотним клапаном.

Між взаємозалежними системами заправної станції, а також між трубопроводом подачі газоподібного водню та всмоктувальним трубопроводом компресора повинні бути передбачені системи компенсації

вібрації та осьових переміщень. Будь-які вібрації, які можуть негативно вплинути на міцність трубопроводів, не повинні передаватися на трубопровід.

У корпусі компресора не повинен накопичуватися водень, випущений у результаті витоку. У конструкцію корпусу компресора не повинні вноситися зміни, що призводять до утруднення вентиляції. Якщо до корпусу компресора примикає стіна існуючої будівлі, то така стіна має бути газонепроникною і володіти мінімальною межею вогнестійкості.

Системи, що забезпечують безпеку експлуатації обладнання, повинні відстежувати умови, при яких рівень тиску і температури не повинен виявлятися вище або нижче за встановлені робочі значення. Тиск на вході має контролюватись за допомогою манометра/реле тиску з метою запобігання утворенню вакууму у впускному трубопроводі і, як наслідок цього, надходження повітря. Манометр/реле тиску повинен відключати компресор до досягнення тиску на вході значенню, що дорівнює атмосферному тиску. Якщо водень надходить від джерела низького тиску або якщо існує можливість його забруднення киснем, то вміст кисню у водні має постійно вимірюватися. Якщо вміст об'ємної частки кисню становитиме 1%, компресор повинен автоматично відключитися. Аналізатор кисню може встановлюватися безпосередньо перед всмоктувальним патрубком компресора, що є кращим варіантом, або після першого ступеня компресора, якщо тиск у всмоктувальному патрубку є недостатнім для вимірювань. Температура на виході з останнього ступеня компресора або температура після охолоджувача, якщо він встановлений, повинні контролюватись з використанням індикаторного/сигнального пристрою, відключає компресор при досягненні заданої максимальної температури.

Тиск на виході з останнього ступеня компресора має контролюватись з використанням індикаторного / сигнального пристрою, що відключає компресор або виконує альтернативні дії, наприклад, рециркуляцію із

заданим максимальним тиском, який нижче значення, заданого для скидання тиску. Якщо в картері компресора знаходиться стислий азот або інші інертні гази, то має бути передбачено сигнальний пристрій реєстрації низького тиску/витрати газу, що дозволяє відключити компресор. Конструкція компресора повинна перешкоджати утворенню воднево-повітряної суміші в картері.

Для очищення водню, що містить домішки, повинні встановлюватись фільтри, а при необхідності – сепаратори. Фільтри та сепаратори повинні бути розраховані на максимальну витрату газоподібного водню та на передбачуваний вміст домішок у водні, а також мають бути оснащені відстійниками та збірними резервуарами достатньої ємності. Фільтри та сепаратори, наскільки це можливо, повинні виконуватись у вигляді єдиного блоку. Необхідно використовувати фільтри встановленої пропускної спроможності. Слід контролювати засмічення фільтра у потоці водню. Це може бути зроблено шляхом проведення регулярних перевірок або за допомогою обладнання для моніторингу, наприклад, диференціальних манометрів за допомогою максимального значення, вказаного постачальником фільтра. Фільтри та сепаратори повинні розташовуватися та встановлюватися таким чином, щоб їх можна було безпечно відкривати та чистити. У разі частого відкриття та закриття фільтри та сепаратори повинні оснащуватися швидкодіючими вентилями. Для видалення рідини (продуктів конденсації) має бути передбачено ручний або автоматичний зливний пристрій, що має відстійник.

Буферні резервуари для зберігання газоподібного водню мають бути виготовлені відповідно з ISO 16528-1. Якщо між собою з'єднуються резервуари, розраховані на різний тиск, то вони повинні бути захищені таким чином, щоб у резервуарах, розрахованих на нижчий тиск, не створювалося надлишкового тиску через будь-які несправності. Якщо як проміжні резервуари використовуються збірні резервуари, то при проектуванні установки необхідно передбачити засоби запобігання їх розриву у разі

пожежі. Як заходи захисту можуть використовуватися протипожежні установки, вентиляція та тепловий захист. Конструкція буферного резервуара для газоподібного водню повинна запобігати прямому контакту газу, що вийшов внаслідок витоку, із сусіднім резервуаром. Кожна група проміжних резервуарів повинна обладнати власним набором захисних пристроїв незалежно від інших груп.

Паливо-роздавальні колонки повинні розташовуватися на відкритому майданчику. Вони не повинні перебувати під навісом, а також у межах 0,9 м від вертикальної проекції краю даху навісу на майданчик, за винятком випадків, коли конструкція навісу виключає ймовірність скупчення водню в нішах або між стелею та дахом навісу.

Паливо-роздавальні колонки повинні розташовуватися на бетонній основі або на підставі висотою не менше 120 мм над рівнем землі або закріплюватися на елементах конструкцій на висоті щонайменше 4,25 м над зоною заправки. Мінімальна відстань від краю піднятої основи до кожної сторони паливо-роздавальної колонки має становити 200 мм. Фундамент паливо-роздавальної колонки та зони заправки повинен витримувати навантаження всіх компонентів, включаючи транспортні засоби, що заправляються. Паливо-роздавальна колонка має бути захищена від контакту із транспортним засобом. Паливо-роздавальні колонки необхідно захищати від їхнього несанкціонованого використання в неробочий час. Ця вимога вважається виконаною, коли паливо-роздавальні колонки надійно заблоковані або відключені від джерела живлення в місці, яке є недоступним для сторонніх осіб.

Зона заправки транспортних засобів воднем має бути рівною. Ухил поверхні основи повинен забезпечувати відведення води. Заправний майданчик повинен бути виконаний з негорючих матеріалів, що забезпечують електричне заземлення перед приєднанням заправного вентиля

до транспортного засобу. Максимальний опір між заправним майданчиком та заземленням заправної станції має становити $1 \times 10^6 \text{ Ом}$. Ця вимога вважається виконаною, якщо заправний майданчик споруджений з бетону та з'єднаний із заземленням. Паливо-роздавальні колонки повинні розташовуватися таким чином, щоб запобігти переміщенню транспортних засобів через інші потенційно вибухонебезпечні зони заправної станції, наприклад, через зону буферних резервуарів.

Усі пристрої, що використовуються в системі паливо-роздавальних колонок, мають бути зібрані таким чином, щоб бути захищеними від деформацій та інших ушкоджень, а також мають бути надійно приєднані. Усі частини, з якими можливий контакт під час експлуатації та технічного обслуговування, не повинні мати гострих виступів, ребер та гвинтів, що виступають. Усі компоненти, що піддаються регулярному технічному обслуговуванню, повинні бути легкодоступні для виконання регулювання та технічного обслуговування, а також для заміни у процесі техобслуговування. Паливо-роздавальні колонки повинні бути обладнані засобами захисту всіх органів управління та електропроводки з урахуванням кліматичних умов експлуатації. Паливо-роздавальні колонки повинні бути обладнані засобами захисту паливозаправних вентилів та паливозаправних приймачів. Необхідно забезпечувати гарантоване заземлення паливозаправного вентиля та паливозаправного приймача перед їх з'єднанням одного з іншим. Паливо-роздавальна колонка повинна бути обладнана ручним продувним або випускним клапаном, який має бути захищений механізмом блокування або кожухом для запобігання доступу сторонніх осіб.

Для проведення технічного обслуговування паливо-роздавальної колонки має бути передбачено ручний запірний клапан. Перед заправним шлангом паливо-роздавальної колонки має бути встановлений надійний запірний клапан, який автоматично перекриває подачу газу, якщо система контролю безпеки виявляє перевищення максимально допустимих значень

(наприклад, тиску та температури). Паливо-роздавальна колонка повинна бути стійкою до будь-яких домішок, які можуть утримуватися у паливі. Внутрішній простір корпусу паливо-роздавальної колонки повинен провітрюватися з використанням природної чи штучної вентиляції. Для природної вентиляції в паливо-роздавальній колонці повинні бути передбачені два отвори площею не менше 100 см², один - у верхній частині, а інший - у нижній частині. Ці два отвори повинні розташовуватися на протилежних сторонах та на різній висоті для забезпечення достатньої природної вентиляції. Стислі гази, що виходять із пристрою скидання тиску, повинні безпечно відводитися та розсіюватися, щоб уникнути утворення вибухонебезпечного газового середовища в корпусі паливо-роздавальної колонки. Паливо-роздавальна колонка має бути сконструйована таким чином, щоб не допустити виведення вентилязованого газу у внутрішній простір корпусу на будь-якому етапі заправки транспортних коштів. Повинні бути передбачені пристрої для виявлення витоків, які можуть призвести до утворення вибухонебезпечного середовища всередині корпусу паливо-роздавальної колонки. У корпусі паливо-роздавальної колонки може бути встановлений датчик газу для перекриття подачі, коли об'ємна частка водню у повітрі перевищує 1%.

Трубопроводи, труби, фітинги та арматура трубопроводів повинні бути призначені для використання у середовищі стиснутого газоподібного водню. Вони повинні бути розраховані на температурний діапазон та тиск паливо-роздавальної колонки. Трубопровідна арматура має бути хімічно сумісна з відповідними компонентами і має бути стійкою до електролітичного впливу. На кінцях трубопроводів не повинно бути задирів і будь-яких пошкоджень.

Заправний шланг повинен бути достатньо міцним, щоб витримувати передбачуване навантаження (розтягування та скручування) під час експлуатації. Він має бути захищений від стирання та перегинів, а також повинен для заправки витягуватися без зусиль і не торкатися землі. Заправні шланги повинні розташовуватися після аварійних та запірних клапанів.

Необхідно вжити заходів щодо блокування заправного запірнього клапана, коли станція знаходиться без нагляду персоналу. Довжина заправних шлангів повинна становити не більше 5 м і не менше 3 м. Заправний шланг коли не використовується не повинен торкатися землі або стін. Матеріал повинен забезпечувати стійкість до просочування водню через заправні стінки шлангу та його арматуру. Якщо передбачено наявність зовнішнього обплетення, то воно повинно відповідним способом зміцнювати шланг, запобігаючи його небажаній деформації. Заправний шланг повинен бути стійким до утворення тріщин від впливу навколишнього середовища. Він повинен бути джерелом концентрації статичної електрики. Електричний опір між сполучними пристроями на кінцях шлангу не має перевищувати 10 Ом. Зовнішні рукави шлангів повинні виготовлятися із неелектропровідних матеріалів. На заправних шлангах, що включають вентиляційні пристрої, вентиляційний трубопровід повинен бути розрахований на тиск, що дорівнює розрахунковому тиску заправного шлангу або перевищувати його. Вентиляційний трубопровід також повинен задовольняти тим самим вимогам до електричної провідності, що передбачені для заправного шлангу. Кожен заправний шланг повинен пройти гідравлічні випробування, які проводяться виробником, та мати сертифікат про проведення таких випробувань. На заправному шлангу мають бути вказано дату його виготовлення та максимальний робочий тиск. Арматура повинна виготовлятися з корозійностійкого металу або сталі з антикорозійним покриттям. Для виготовлення арматури повинні застосовуватись матеріали, стійкі під час роботи в середовищі водню під тиском. Для розрахункового тиску, що перевищує 4 МПа, заправні шланги повинні обладнуватися утримуючим тросом або фіксуєчим пристроєм для обмеження переміщень шлангу у разі його ушкодження. Заправний шланг повинен пройти випробування відповідно до ISO 14113 та ISO 7751. Заправний шланг повинен щодня оглядатися перед використанням та перевірятись на відсутність пошкоджень, порізів, тріщин, здуття, бульбашок та перегинів. Заправний шланг повинен

перевірятися не рідше одного разу на шість місяців на відсутність витоків за допомогою мильної піни або еквівалентного матеріалу. Використання шлангу, в якому виявляється витік, не допускається.

У заправний шланг і вентиляційний трубопровід повинна встановлюватися самоущільнююча розривна муфта для запобігання пошкодженню паливо-роздавальної колонки та заправних шлангів та можливого аварійного витоку водню, якщо транспортний засіб внаслідок помилки персоналу починає рух із приєднаним заправним шлангом. Розривна муфта заправного шлангу повинна встановлюватись відповідно до вимог виготовлювача та від'єднуватись при впливі на нього зусилля до 660 Н (але не менше 220 Н). Це умова повинна виконуватися за будь-якого тиску всередині шлангу. Розривна муфта заправного шлангу повинна автоматично від'єднувати джерело подачі газоподібного водню в паливозаправну ланку. Розривна муфта заправного шлангу повинна включати два запірні пристрої, що ізолюють обидві сторони при від'єднанні. Розривна муфта заправного шлангу повинна розташовуватися таким чином, щоб вона спрацьовувала, коли заправний шланг витягується вздовж своєї осі, і не викликала пошкоджень корпусу паливо-роздавальної колонки. Розривна муфта заправного шлангу повинна витримувати 100 000 циклів імпульсів тиску газоподібного водню без від'єднання чи витоку.

Паливозаправні приймачі та вентиляції подачі для компримованого газоподібного водню повинні відповідати ISO 17268. Використання перехідників забороняється. Паливозаправний вентиль для подачі водню повинен надійно фіксуватися та бути захищеним від сторонніх предметів та речовин (наприклад, снігу, льоду чи піску), які можуть перешкодити його роботи. Заправна система (заправні шланги, трубопроводи та з'єднувальні ланки) повинна запобігати проникненню повітря в паливну систему транспортного засобу та обладнання заправної станції. Сполучна ланка заправної системи має бути сконструйована таким чином, щоб від'єднання заправного вентиля від приймача транспортного засобу могло здійснюватися

тільки після скидання тиску. Газ, що виходить після скидання тиску, повинен відводитися за допомогою вентиляції із застосуванням заходів безпеки. Сполучна ланка має бути захищена від будь-якого ненавмисного від'єднання, наприклад, за допомогою засобу примусового блокування. Паливозаправний вентиль має бути обладнаний пристроєм блокування, який запобігає від'єднанню заправного шлангу від паливозаправного приймача або автоматично перекриває потік водню в результаті від'єднання вентиля від приймача. Пристрій блокування перешкоджає заправленню воднем у разі від'єднання або неправильного приєднання заправного вентиля. Конструкція паливороздавальної колонки повинна виключати можливість виходу з неї газу, якщо вона не використовується для заправлення транспортного засобу.

Заправка транспортних засобів повинна здійснюватися до тиску, що не перевищує:

- значення, номінального робочого тиску в системі зберігання водню транспортного засобу при температурі 15°C;
- значення, що в 1,25 рази перевищує величину номінального робочого тиску в системі зберігання транспортного засобу одразу після заправки незалежно від температури.

Щоб запобігти перевищенню наведених вище максимальних значень при заправці необхідно враховувати температурну дію навколишнього середовища.

Паливо-роздавальні колонки повинні припиняти процес заправки після досягнення максимального значення тиску. Процес заправки повинен бути припинений при досягненні значення температури газу понад 85 °C у системі зберігання транспортного засобу. При необхідності паливо-роздавальна колонка може бути обладнана вимірювальним пристроєм з індикатором, на якому відображається кількість водню для кожної операції заправки транспортного засобу. Паливо-роздавальна колонка повинна бути обладнана вимірювальною пристроєм, що показує загальну кількість

заправленого водню. Конструкція запобіжного клапана на лінії подачі газу повинна запобігати негативним явищам, пов'язаним з суттєвим перевищенням надлишкового тиску у системі зберігання водню транспортного засобу. Засоби захисту від підвищеного тиску будуть недоцільні, якщо газ знаходиться у паливо-роздавальній колонці під тиском, що перевищує 150% від номінального робочого тиску баку транспортного засобу. Встановлена величина тиску клапана скидання тиску не повинна перевищувати величини номінального робочого тиску більш ніж у 1,38 разу.

Паливо-роздавальна колонка повинна бути обладнана пристроєм аварійного відключення. При спрацьовуванні аварійного пристрою відбувається перекриття подачі газу від паливо-роздавальної колонки до транспортного засобу та відключення електрообладнання систем паливо-роздавальної колонки. Крім того, при спрацьовуванні пристрою аварійного відключення відбувається припинення подачі електрики та водню в компресор та паливо-роздавальну колонку. Повинна бути передбачена можливість ручного увімкнення пристрою аварійного відключення як у зоні заправки, і на віддаленій відстані від зони заправки. Пристрій аварійного відключення має розташовуватись на висоті 1,80 м над рівнем заправної і бути чітко позначено. Додаткові ручні пристрої аварійного вимкнення повинні знаходитися всередині будівлі заправної станції, у зоні компресора та у зоні резервуарів для зберігання водню.

Засоби увімкнення пристрою аварійного відключення повинні бути чітко позначені для швидкого розпізнавання із використанням стаціонарного чітко помітного знаку. Схеми управління повинні бути встановлені таким чином, щоб при увімкненні пристрою аварійного вимкнення або при відключенні електроенергії системи залишалися закритими доти, доки вони не будуть відремонтовані і активовані вручну після переходу до безпечного стану. Для відновлення роботи паливо-роздавальної колонки повинні використовуватись пристрої з ручним керуванням. Кожен трубопровід між

резервуаром для зберігання водню та паливо-роздавальної колонкою повинен мати клапан, який закривається при виникненні наступних ситуацій:

- відключення електроживлення паливо-роздавальної колонки;
- увімкнення пристрою аварійного відключення на заправній станції.

Паливо-роздавальна колонка повинна бути обладнана клапаном, що самостійно зачиняється, який приводиться в дію після завершення циклу заправки або спрацьовування пристрою аварійного відключення. Кожен сорт палива має бути вказаний на паливо-роздавальній колонці. Повинно встановлюватись попередження, що інформує клієнтів про те, що для транспортних засобів, у яких використовуються паливні елементи з протоннообмінною мембраною (РЕМ) може використовуватись тільки паливо сорту D. У зоні радіусом 3м від будь-якого технологічного обладнання, пов'язаного з воднем, не повинні присутні горючі матеріали та рослинність. Для всіх зон обслуговування та заправки транспортних засобів має бути передбачене освітлення для безпечного виконання всіх дій.

Безпечні відстані від систем зберігання водню до складів, виробничих об'єктів, громадських та житлових будівель та інших об'єктів визначаються відповідно до обсягу резервуару, значенням робочого тиску і кількістю газоподібного водню, що зберігається, і класифікуються на чотири категорії, як показано на рисунку 6. Обсяг резервуарів для зберігання водню приймається рівним мірному об'єму води, що використовується для його вимірювання (об'єм по воді).

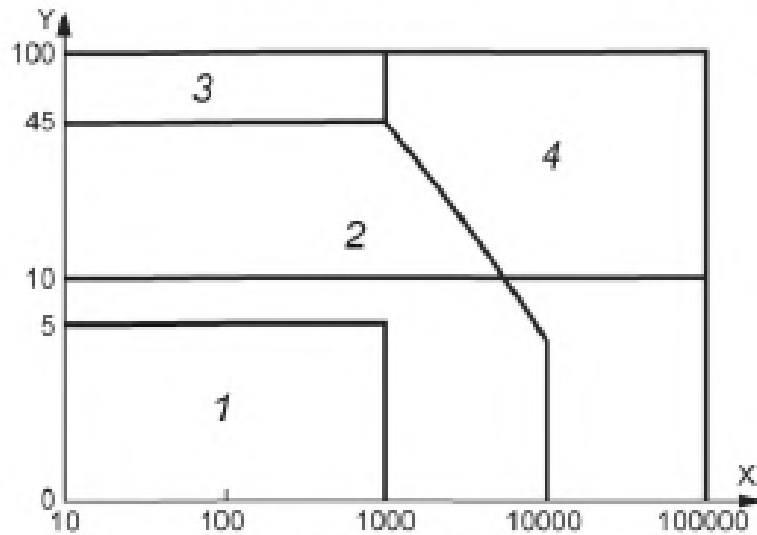


Рисунок 6 – класифікація резервуарів зберігання газоподібного водню для визначення безпечних дистанцій, де X – об'єм, л (по воді), Y – робочий тиск, МПа

Категорія 1: Об'єм не більше 1000 л (по воді), робочий тиск не більше 5 МПа.

Категорія 2: Об'єм не більше 1000 л (по воді), робочий тиск понад 5 МПа, але не більше ніж 45 МПа; або обсяг більше 1000 л (по воді), але не більше 10000 л і кількість водню, що зберігається, не перевищує 30 кг.

Категорія 3: Об'єм не більше 1000 л (по воді), робочий тиск понад 45 МПа.

Категорія 4: Об'єм понад 1000 л (по воді), кількість водню, що зберігається, перевищує 30 кг; або об'єм понад 10000 л (по воді).

Системи зберігання газоподібного водню повинні розташовуватися від виробничих складів, громадських об'єктів, житлових будівель та інших об'єктів на мінімальних безпечних відстанях, зазначених у таблиці 3.

Таблиця 3 – Мінімальні безпечні відстані для систем зберігання газоподібного водню

Найменування	Категорія 1	Категорія 2	Категорія 3	Категорія 4	Основна небезпека
Наземний резервуар з легкозаймистою рідиною об'ємом менше 4000 л	1,5м	3м	4м	4м	1) Виникнення пожежі, викликаного займанням водню та що приводить до нього 2) Поширення пожежі, викликаного займанням легкозаймисті рідини, на сховища водню
Наземний резервуар з легкозаймистою рідиною об'ємом більше 4000 л	2м	4м	6м	8м	
Підземний резервуар з легкозаймистою рідиною, отвори для вентиляції та заправки	2м	3м	3м	4м	Поширення пожежі, викликаного займанням легкозаймисті рідини, на резервуари для зберігання водню
Резервуар для зберігання горючого газу обсягом понад 500 м3	1,5м	3м	4м	4м	1) Виникнення пожежі, викликаного займанням водню, що призводить до його поширення. 2) Поширення пожежі, викликаного займанням легкозаймистих матеріалів, на резервуари для водню
Склад горючих матеріалів, наприклад, пиломатеріалів	2м	3м	3м	4м	
Відкритий вогонь	1,5м	3м	4м	4м	Займання вибухонебезпечного середовища внаслідок витоку
Повітряний кондиціонер та повітряний компресор	1,5м	3м	4м	4м	Попадання вибухонебезпечної воднево-повітряної суміші до будівлі або системи кондиціонування повітря

Закінчення таблиці 3

Дії, не пов'язані із заправкою (наприклад, миття та техобслуговування автомобілів, майстерня)	1,5м	3м	4м	4м	Потенційна можливість утворення вибухонебезпечного середовища / виникнення пожежі та його поширення в у разі витоку водню
Місця присутності людей	2м	4м	6м	8м	Безпосередня небезпека для людей, які не пройшли спеціального навчання
Пішохідні доріжки, припарковані автомобілі, кордон території	1,5м	3м	4м	4м	Потенційна можливість утворення вибухонебезпечного середовища / виникнення пожежі та його поширення в у разі витоку водню
Електричні дроти для трамваїв та поїздів, повітряні лінії високої напруги	3м	6м	8м	12м	Подальше поширення надзвичайної ситуації з ймовірністю залучення залізничного транспорту
Інші повітряні лінії електропередачі	1,5м	1,5м	1,5м	1,5м	Падіння електричних проводів на систему подачі водню

Для систем зберігання газоподібного водню об'ємом понад 1000л безпечні відстані також визначаються від усіх компонентів системи зберігання, що містять водень, до першого захисного пункту відключення з автоматичним чи дистанційним керуванням. З розрахунку можуть бути виключені трубопроводи з характеристиками, що задовольняють умові $PS \cdot ND^2 < 100$, де PS – робочий тиск у МПа, а ND – номінальний діаметр у міліметрах. Якщо існує кілька систем зберігання і якщо вони з'єднані між собою таким чином, що у разі пошкодження елемента трубопроводу водень виходитиме з однієї із систем, то безпечні відстані мають бути визначені з

урахуванням кожної системи. Якщо пошкодження елемента трубопроводу може призвести до викиду водню з декількох систем зберігання, тоді безпечні відстані повинні розраховуватися з урахуванням усіх цих систем зберігання. Дотримання безпечної відстані між двома системами зберігання водню обсягом менше 1000 л не потрібно. Безпечна відстань між двома системами зберігання водню, коли хоча б одна з них має об'єм понад 1000 л, розраховується з використанням безпечних відстаней, наведених для систем трубопроводів, що розглядаються як індивідуальні підсистеми.

Безпечні відстані, наведені в таблиці 4, повинні застосовуватись для технологічних підсистем з максимальним робочим тиском понад 5 МПа, для яких існує потенційна можливість викиду понад 0,1 кг водню.

Таблиця 4 — Мінімальні безпечні відстані для підсистем газоподібного водню

Найменування	$5 < P < 45$ МПа	$P > 45$ МПа	Основна небезпека
Будівля з негорючих матеріалів	Відстань встановлюється в відповідно до вимог для проведення технічного обслуговування та перевірки та ремонту		
Будівля з горючих матеріалів	4м	6м	Поширення пожежі, спричиненої займанням водню, на будівлі

Продовження таблиці 4

Проріз у стіні будівлі на висоті, не перевищує водневу систему	2м	3м	Наявність вибухонебезпечного середовища у будівлі через витік водню
Проріз у стіні будівлі на висоті, перевищує водневу систему	3м	4м	Вибухонебезпечне середовище в будівлі через витоку водню
Наземні ємності для легкозаймистих рідин або резервуари для зберігання газу	4м	6м	Виникнення пожежі, спричиненої займанням водню, що приводить до його поширення
Склад горючих матеріалів, наприклад пиломатеріалів	3м	3м	Виникнення пожежі, спричиненої займання водню і приводить до його поширення
Відкритий вогонь	3м	4м	Займання вибухонебезпечного середовища внаслідок витоку

Закінчення таблиці 4

Повітряний кондиціонер та повітряний компресор	3м	4м	Попадання вибухонебезпечної воднево-повітряної суміші в будівлю чи систему кондиціонування повітря
Дії, не пов'язані із заправкою (наприклад, миття та техобслуговування автомобілів, майстерня)	3м	4м	Потенційна можливість виникнення вибухонебезпечного середовища / пожежі та її поширення у разі витоку водню
Місця присутності людей	4м	6м	Безпосередня небезпека для людей, що не пройшли спеціального навчання
Пішохідні доріжки, припарковані автомобілі (виключаючи автомобілі, що заправляються), кордон території	3м	4м	Потенційна можливість виникнення вибухонебезпечного середовища / пожежі та її поширення у разі витоку водню
Електричні дроти для трамваїв та поїздів, повітряні лінії високої напруги	6м	8м	Подальше поширення надзвичайної ситуації з ймовірністю залучення залізничного транспорту
Інші повітряні лінії електропередач	1,5м	1,5м	Падіння електричних проводів на систему подачі водню

При оцінці кількості водню повинні враховуватися всі елементи водневого трубопроводу, підключені до підсистеми пристроїв захисного відключення, які повинні перекриватися автоматично або вручну з точки, що розташована на мінімальній відстані 3 м від межі підсистеми.

Безпечні відстані повинні визначатися від точок потенційного витоку, таких як клапани і зварні з'єднання труб, а також роз'ємні з'єднання (наприклад, з'єднання паливних заправних вентилів та заправних приймачів транспортних засобів). Дотримання безпечних відстаней від нероз'ємних герметичних з'єднань, що не мають ущільнювальних поверхонь, не потрібно. Безпечні відстані не стосуються відкриття запобіжного пристрою скидання тиску у транспортному засобі під час виконання заправки. Цю подію можна вважати малоймовірною, якщо конструкція паливо-роздавальної колонки відповідає цьому стандарту. Якщо витік зі шлангу або заправного вентиля не виключається, то процедура заправки та інструкції для користувачів повинні враховувати необхідність забезпечення захисту людей у разі виникнення небезпечної ситуації, спричиненої тим, що водень у шланзі перебуває під тиском. Безпечні відстані, наведені в таблицях 3 і 4, не застосовуються, якщо між системою газоподібного водню та будь-яким об'єктом, що наражається на ризик, встановлюється протипожежна перегородка з межею вогнестійкості 2 години, таким чином, щоб між системою газоподібного водню і підданим ризику об'єктом не було прямої видимості. При використанні відкритої системи зберігання газоподібного водню протипожежна перегородка не повинна охоплювати систему зберігання водню, не повинна встановлюватись більш ніж з двох її сторін (будівля вважається частиною такої конструкції). Крім того, протипожежна перегородка повинна розташовуватись на відстані не далі 1,5 м від системи зберігання водню.

Зони навколо обладнання водневої заправної станції повинні класифікуватися відповідно із ДСТУ EN IEC 60079-10-1:2022

Необхідно вжити пасивних та активних заходів щодо запобігання утворенню вибухонебезпечних середовищ у результаті витоку або викиду водню у приміщеннях та замкнутих просторах.

Пасивні заходи включають:

- використання засобів, які обмежують максимальну швидкість випуску до заданого значення;
- наявність природної вентиляції.

Активні заходи включають:

- наявність штучної вентиляції;
- використання систем виявлення горючих газів;
- застосування інших засобів виявлення витоків (наприклад, за допомогою вимірювання тиску та порівняння його з контрольними параметрами).

При використанні природної або штучної вентиляції для запобігання накопиченню горючих сумішей повинна підтримуватись об'ємна частка водню на рівні нижче 1 % або нижче 25% від нижньої межі займистості для будь-яких інших горючих газів. Для зон, у яких у разі займання при максимальній очікуваній швидкості витоку пального газу, визначеного виробником, цілісність конструкції корпусу не буде порушена, дотримання зазначеної вимоги необов'язково. Виробник повинен підтвердити придатність обладнання для даних умов. Вказана швидкість вентиляції може не підтримуватись постійно, якщо вентиляція керується системою виявлення горючих газів та підтримує вміст об'ємної частки водню 0,4% або 10% від нижньої межі займистості для будь-яких інших горючих газів. У разі використання водню під тиском, незалежно від того, чи знаходиться система в процесі експлуатації чи ні, повинна підтримуватися швидкість вентиляції, необхідна для запобігання утворення вибухонебезпечного середовища внаслідок передбачуваних витоків (наприклад, природних витоків через арматуру або дифузії водню через неметалеві матеріали). У разі зростання

максимальної об'ємної концентрації водню до значення 1% та 25% від нижньої межі займання для інших газів електрообладнання, що не відповідає встановленій категорії, що має знеструмлюватися. Устаткування, яке залишається включеним у цій ситуації, наприклад, системи вентиляції та виявлення газоподібного водню, має бути призначене для використання в таких зонах. Для розробки конструкції штучної та (або) природної вентиляції та засобів виявлення водню для необхідного захисту може застосовуватися розрахунковий аналіз, використання апаратури, призначеної для роботи з воднем, індикаторний газ або аналогічні методи, зазначені в ДСТУ EN IEC 60079-10-1:2022.

Раптове та повне руйнування резервуарів чи трубопроводів не повинно розглядатися як сценарій витoku, якщо захист від таких руйнувань вже був передбачений під час розробки резервуарів та трубопроводів. Необхідно забезпечити захист від попадання горючих газів у прилеглі приміщення чи відсіки, якщо розташоване в них обладнання відповідає класифікації основної зони. Методи запобігання попаданню горючих газів у прилеглі зони або відсіки включають:

- ущільнення;
- підтримання вищого тиску в прилеглому приміщенні або відсіку, ніж у зоні або відсіку, в якому може міститися горючий газ.

Один із методів полягає у використанні «негативного тиску» при здійсненні вентиляції в зонах, в яких може бути горючий газ.

Датчики виявлення легкозаймистого газу повинні встановлюватися у тих місцях, де викиди пального газу можуть призвести до його небезпечного скупчення (наприклад, у закритих приміщеннях). Датчики виявлення легкозаймистого газу можуть також використовуватися для виявлення витоків, якщо такі витoki призводитимуть до підвищення концентрації газу.

Датчики виявлення легкозаймистого газу, що використовуються для забезпечення безпеки, повинні відповідати вимогам ДСТУ EN IEC 60079-10-

1:2022 та мати захисні функції, що відповідають аналізу безпеки, проведеного виробником, щоб при порозі спрацьовування сигналізації враховувалися умови експлуатації системи та можливі збої у роботі вимірювальної апаратури. Датчики виявлення легкозаймистого газу, що використовуються для забезпечення безпеки, повинні бути надійними та відповідати цілям, для яких вони використовуються. Датчики не повинні залежати від іншого обладнання, якщо їх функції безпеки можуть бути порушені використанням такого обладнання. Датчики виявлення легкозаймистого газу повинні встановлюватися в оптимальних місця для забезпечення раннього виявлення горючих газів. Схеми управління датчиків виявлення легкозаймистого газу повинні відповідати вимогам ІЕС 61069-7 та ІЕС 61511-1. Схема управління датчика виявлення легкозаймистого газу має забезпечувати перемикання обладнання для заправки воднем у безпечний стан у разі відмови критично важливих частин устаткування, що використовується в ній, або:

- безпечно відключати кероване обладнання;
- завершувати робочий цикл та блокувати запуск наступного циклу.

Схема управління датчика виявлення легкозаймистого газу повинна забезпечувати умови, при яких після заміни електрообладнання та з'єднувальних проводів або клем критично важливих функціональних компонентів, що виявилися несправними, здійснювалася можливість перевірки працездатності цього компонента. Для датчиків газоподібного водню, використовуваних з метою безпеки повинні бути передбачені засоби самоперевірки.

Резервуари для зберігання газоподібного водню повинні встановлюватися на відкритому повітрі і розташовуватися на залізобетонних плитах або еквівалентних підставах, які можуть бути частиною резервуару. Дані резервуари повинні розміщуватися у спеціально відведеній для цього

зоні. Резервуари для зберігання газоподібного водню, що знаходяться в радіусі 15м від наземних ємностей для зберігання всіх класів легкозаймистих та горючих рідин, повинні розташовуватися вище таких резервуарів, за винятком випадків, коли використовуються обвалування, огороження, бордюри, розділові перегородки для запобігання накопиченню вказаних рідин під резервуарами для зберігання газоподібного водню Резервуари для зберігання газоподібного водню повинні бути стійкі до пошкоджень, спричинених недбалим керуванням транспортними засобами, або повинні мати захист від пошкоджень, спричинених таким керуванням транспортними засобами.

Слід уникати використання різнорідних металів у трубопроводах, фітингах та іншій арматурі. Необхідно вжити заходів щодо запобігання контакту між різнорідними металами для запобігання електrolітичній корозії. Особлива увага має бути приділена запобігання контакту між деталями з менш благородних металів та деталями з більш благородних металів. Металеві фітинги повинні бути сумісні із матеріалами металевого трубопроводу. Фланцеві з'єднання повинні мати ущільнення "метал-метал" або прокладку з матеріалу, такого як графіт, який зберігатиме свою працездатність при впливі високих температур, наприклад під час пожежі. Еластоміри та пластмаси не повинні використовуватися як прокладки та ущільнення, якщо їх пошкодження через підвищену температуру може призвести до витoku водню.

Вузли, в яких здійснюється використання водню або водневмісних рідин, а також усі деталі, які використовуються для ущільнення з'єднань таких вузлів, повинні бути стійкими до хімічних та фізичних впливах водню в умовах експлуатації. Зокрема, при виборі матеріалів та методів виробництва необхідно враховувати стійкість до водневої корозії. При виборі металів для водневих систем необхідно враховувати різні фактори. Додаткова інформація про вибір матеріалів, зокрема, вибір сталі, стійкої до

водневого окрихчення, наводиться в ISO/ТО 15916. Заходи, що вживаються для захисту від водневого охрупчування, зазвичай пов'язані з обробкою поверхні, вибором матеріалів та забезпеченням міцності конструкції (запобігання деформаціям). Застосування чавунних труб та фітингів не допускається. Литі вироби не повинні використовуватись у зв'язку з їх можливою пористістю та проникністю водню. Трубопроводи, призначені для підключення різних систем заправної станції, повинні відповідати ISO 15649. Елементи трубопроводів повинні бути розраховані на задані значення тиску та температури та виготовлятися з матеріалів, призначених для використання у водневому середовищі. Трубопроводи для подачі водню повинні мати добре помітне маркування у вигляді колірного та (або) символічного кодування. Якщо трубопровід для газоподібного водню повинен прокладатися у загальному каналі або траншеї з електричними кабелями, всі з'єднання трубопроводу в каналі/траншеї повинні бути звареними. Трубопроводи для водню повинні розташовуватись вище, ніж інші трубопроводи. Якщо передбачається присутність аміаку чи хлору як атмосферних забруднень, то мідь і сплави міді/олова/цинку не повинні використовуватися для трубопроводів та фітингів, оскільки ці матеріали чутливі до впливу цих речовин. Необхідно також приділити увагу ймовірності наявності інших забруднювачів. Всі системи газоподібного водню, що знаходяться під тиском, і обладнання повинні бути захищені від надлишкового тиску з використанням одного або кількох запобіжних пристроїв скидання тиску, таких як розривні мембрани або пружинні клапани скидання тиску. Пристрої скидання тиску повинні бути частиною обладнання, що працює під надлишковим тиском. Клапани скидання тиску повинні відповідати вимогам ISO 4126-1 або одного з стандартів, зазначених у ISO 16528-1. Розривні мембрани повинні відповідати вимогам ISO 4126-2 або один із стандартів, зазначених у ISO 16528-1. Повинні бути виявлені джерела статичного заряду. Необхідно вжити

заходів щодо їх повного усунення або зниження ймовірності їх появи. На стадії проектування необхідно перевірити заправну станцію на наявність можливих небезпек, пов'язаних з електростатичними зарядами, та визначити вимоги до заземлення. Електростатичні заряди можуть виникати при механічному терті однакових або різних речовин, а також під час обтікання газом, у якому містяться крапельки або частинки пилу, твердої поверхні, наприклад при проходженні газу через отвір клапана або через з'єднання шлангу або труби. У разі розряду накопиченого електростатичного заряду утворюється іскра, здатна спалахнути водень. Заземлювальні пристрої повинні:

- являти собою обладнання, необхідне для забезпечення безпечної експлуатації заправної станції;
- бути помітними, забезпечувати належне функціонування заправної станції та швидко виявлення будь-яких несправностей;
- бути міцними і встановлюватися таким чином, щоб запобігти їх можливому забрудненню речовинами, що мають високий опір, наприклад, продуктами корозії або фарбами.

Заправна станція повинна обладнуватися пристроєм або системою заземлення резервуарів, встановлених на транспортних засобах. У деяких класифікованих вибухонебезпечних зонах має бути обмежене використання непровідних матеріалів.

Системи, що використовуються для водню, резервуари, трубопроводи та фланці повинні бути заземлені відповідно до вимог ІЕС 60204-1. Всі відкриті провідні частини електрообладнання та іншого провідного обладнання повинні бути заземлені. У разі від'єднання будь-якого елемента або вузла (наприклад, для проведення технічного обслуговування) заземлення інших елементів має перериватися. У ланцюзі заземлення не повинні присутні перемикачі, захисні пристрої від перевантаження по струму або засобу виявлення струму для таких пристроїв. Для захисту обладнання та

людей на заправній станції все обладнання повинно мати загальний потенціал заземлення. Ця вимога стосується резервуарів, трубопроводів для транспортування рідин та газу, а також підключеного до них електроустаткування.

Конструкція клапанів, що використовуються в системах трубопроводів для газоподібного водню, повинна відповідати вимогам ISO 15649.

Матеріали клапанів повинні відповідати EN 1503-2. У стандарті EN 1503-2 наводиться перелік марок сталі для клапанів, корпусів та кожухів відповідно до стандартів ASTM. Для перекриття частини системи трубопроводів у надзвичайних ситуаціях та проведення регламентного технічного обслуговування, повинні використовуватися запірні клапани з механізмом блокування. Запірний клапан повинен встановлюватися в доступному місці в трубопроводі для подачі водню таким чином, щоб потік водню за потреби міг бути перекритий. Конструкція та розташування приладів повинні зводити до мінімуму ризик для персоналу у разі витоку водню або руйнування обладнання та подальшої пожежі. Необхідно використовувати манометри в безпечному виконанні з безосколочним склом і задньою кришкою, що відкидається. Конструкція шаф та корпусів, в яких розміщується обладнання для контролю за водневими системами та пристроями, не повинна сприяти накопиченню водню.

Водневі системи повинні бути обладнані вентиляційними або випускними каналами безпечного відведення водню в атмосферу у процесі вентиляції. Вентиляційні канали мають забезпечувати відведення водню як під час експлуатації, так і у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Вентиляційні трубопроводи повинні бути розраховані таким чином, щоб тиск у вентиляційному трубопроводі не перешкоджало роботі пристроїв скидання тиску. Для вентиляційної системи низького тиску має забезпечуватися низький опір. Вентиляційна система має бути спроектована таким чином, щоб усі її елементи відповідали умовам експлуатації за розміром, номінальним тиском та матеріалом. Для джерел високого та низького тиску

повинні бути передбачені індивідуальні вентиляційні системи. Для виконання продування повинна бути передбачена вентиляційна труба, що відводить потік газу в атмосферу. Вентиляційні канали, включаючи вентиляційні канали пристроїв скидання тиску, повинні розташовуватися таким чином, щоб газ відводився в безпечне місце і не потрапляв на людей, резервуари, клапани чи фітинги. Вентиляційні канали повинні бути обладнані для кожного трубопроводу. Використання колектора не допускається. Газ із вентиляційних каналів не повинен відводитися в місця його можливого накопичення, наприклад під карнизи будівель. Вентиляційні канали повинні бути розраховані на номінальні значення тиску, об'єму та температури. Вентиляційна труба має бути належним чином закріплена. Необхідно прийняти заходи щодо герметизації вентиляційної труби та запобігання потраплянню до неї води, льоду та сміття. Вихідні отвори вентиляційних труб не повинні обладнуватися пристроями, які порушують природну підйомну силу водню або перешкоджають вертикальному переміщенню газового потоку із вентиляційної труби.

Воднева заправна станція має бути обладнана системами контролю та безпеки, які мають бути спроектовані таким чином, щоб забезпечити безпеку та надійність всіх об'єктів заправної станції. Для всіх захисних систем на водневій заправній станції повинні бути визначені вимоги з безпеки. Технічні характеристики, конструкція та експлуатація систем безпеки та контролю мають відповідати вимогам ІЕС 61508. Система контролю повинна забезпечувати функціонування водневої заправної станції в межах заданих параметрів Система безпеки має протидіяти чи обмежувати розвиток небезпечної ситуації та автоматично вмикатися при виявленні аварійної ситуації Система безпеки повинна блокувати систему керування. Система безпеки має бути стійкою до відмови. Проектування систем контролю та безпеки має здійснюватися відповідно із потенційними ризиками. Для систем управління процесами та систем безпеки мають бути передбачені окремі пристрої подавання вхідного сигналу. Для вихідних сигналів цей принцип є

обов'язковим. Пристрої передачі вхідного сигналу повинні бути підключені до моніторів у центральному пункт управління. У разі виникнення системної помилки у системі безпеки процесу вихідні сигнали активізують режим відключення живлення приладів, перемикають клапани та інші пристрої в безпечний режим та вимикають електрообладнання. Усі одиниці обладнання заправної станції повинні оснащуватися пристроями, які будуть забезпечувати безпечну роботу такого обладнання та всієї заправної станції під час експлуатації, технічного обслуговування, перевірки та демонтажу.

Система безпеки може включатися вручну та автоматично. Системи та обладнання, що приєднуються до системи безпеки, повинні містити:

- пристрої скидання тиску;
- резервне джерело живлення;
- системи відключення;
- механізми блокування;
- аварійне джерело живлення;
- системи пожежогасіння.

Аварійні системи, що залежать від енергоносіїв, повинні бути забезпечені документами, що описують їх принцип дії, в яких мають бути передбачені процедури випробувань для забезпечення безпеки системи, визначено періодичність та обсяг випробувань. Перед початком виконання процедур, що вимагають відключення систем безпеки, має здійснюватися аналіз дій та проводитись їх документальне підтвердження. Для контролю роботи паливо-роздавальної колонки та подачі палива з резервуарів для зберігання у паливо-роздавальній колонці має використовуватися автономна система контролю, незалежна від інших операцій/функцій заправної станції.

Центральна система здійснює управління системою безпеки, аварійною системою та системою керування. Для різних категорій операторів має бути передбачене обмеження допуску до цих систем через центральну систему з допомогою пароля. Усі сигнали тривоги, вимірювання та дії з боку оператора

повинні реєструватися в база даних системи. Конфігурація всіх систем, що функціонують у межах заправної станції, повинна мати відповідну конструкторську документацію. Усі сигнали тривоги вимагають дій із боку диспетчера чи відповідального оператора. Перед кожним відключенням обладнання повинен подаватися сигнал тривоги, щоб у диспетчера було достатньо часу для виконання відповідних дій до вимкнення. Вимкнення обладнання, яке здійснюється системами безпеки, має супроводжуватися подачею сигналу тривоги. У разі виникнення несправностей критично важливих вузлів електричних та автоматичних контрольно-вимірювальних систем має подаватися сигнал тривоги.

Система безпеки повинна переводити потенційно небезпечну ситуацію в безпечний режим, перемикаючи всі види контрольно-вимірювальних приладів у безпечне положення. Системи безпеки в надзвичайних ситуаціях повинні залишатися активними у всіх режимах роботи. Аварійна система має відключати всі функції та операції, які можуть перешкодити виконанню процедури аварійного зупинки станції. Аварійна зупинка категорії 0 відповідно до ІЕС 60204 не допускається. Існують два стану аварійного управління: аварійна зупинка та аварійне відключення. Ці стани докладно розглядаються у ІЕС 60364. Системи управління та моніторингу, які безпечно функціонують у небезпечній ситуації, можуть залишатися під напругою передачі інформації про систему. Ручні пристрої аварійного керування повинні бути доступними. Вони мають бути передбачені на всіх пунктах управління, а також у всіх місцях, де може бути потрібна така зупинка.

Електроустаткування, компоненти та пристрої повинні:

- використовуватися строго за призначенням;
- встановлюватися і використовуватися в межах відповідних небезпечних або безпечних зон та відповідно до інструкцій виробника.

Система електробезпеки повинна забезпечувати захист від ураження електричним струмом, пожежі та опіків під час експлуатації та під час проведення монтажних робіт. Методи монтажу електропроводки мають відповідати вимогам ІЕС 60204-1. Провідники для силових ланцюгів повинні мати відповідне колірне кодування для полегшення їх ідентифікації. Система управління повинна мати резервні джерела живлення для всіх пристроїв, якщо відсутність електроживлення може негативно вплинути на подачу палива, безпеку та навколишню середу. Електроживлення на всі основні пристрої системи керування має подаватись через джерела безперебійного живлення (ДБЖ), які повинні забезпечувати подачу електроживлення протягом, щонайменше 30 хв після відключення електроживлення. Електротехнічне та електричне обладнання не повинно створювати електромагнітних перешкод, рівень яких перевищує допустиме значення для передбачуваного місця експлуатації. Крім того, електротехнічне та електричне обладнання має бути стійким до електромагнітних перешкод, забезпечувати належне функціонування обладнання в умовах експлуатації.

Для кожної заправної станції за погодженням з місцевими органами пожежної безпеки визначається порядок дій у надзвичайних ситуаціях. Необхідно забезпечити регулярне проведення навчань. Для протидії надзвичайним ситуаціям, що виникають внаслідок випадкового викиду водню, повинні бути передбачені такі системи безпеки:

- система виявлення водню;
- система виявлення пожежі, спричиненої займанням водню;
- система аварійного відключення;
- система аварійної вентиляції або система продування інертним газом;
- системи пожежогасіння.

Якщо для критично важливого водневого обладнання існує ризик пожежі, причиною якої є обладнання, не пов'язане з використанням водню,

незважаючи на всі прийняті конструктивні заходи, то мають бути передбачені такі системи безпеки:

- спринклерні системи водяного охолодження обладнання у зоні пожежі;
- системи аварійної вентиляції проміжних резервуарів для зберігання газоподібного водню.

Повинні бути передбачені засоби виявлення пожежі, спричиненої займанням водню, для запобігання розповсюдженню вогню на сусіднє обладнання. Для виявлення пожежі можна використовувати ультрафіолетові датчики. Для обладнання, при експлуатації якого існує небезпека пожежі, якщо така пожежа може торкатися системи зберігання газоподібного водню під тиском повинні бути передбачені засоби виявлення пожежі (наприклад, димові датчики).

Повинні бути передбачені аварійні запірні клапани для припинення подачі водню у разі виникнення надзвичайної ситуації. Органи керування клапанами мають бути легкодоступними та перебувати за межами передбачуваної небезпечної зони. Якщо водень використовується у закритих приміщеннях, то органи управління клапанами повинні перебувати поза приміщенням. Повинен бути передбачений ручний запірний клапан для перекриття подачі водню, що знаходиться в безпечному місці.

Якщо використовуються компресори для водню або насоси для зрідженого водню, повинно бути передбачено ручний пристрій аварійного відключення для перекриття подачі водню та відключення джерела живлення. При включенні системи аварійного зупину робота всіх насосів та компресорів має бути припинено. Шланги (для заправки транспортних засобів та розвантаження автоцистерн) повинні обладнатися засобами перекриття подачі водню для запобігання витоку у разі розриву шлангу.

Якщо буферні резервуари для зберігання газоподібного водню можуть піддаватися впливу пожежі, що призводить до їх руйнування, необхідно

передбачити клапани, що приводяться в дію вручну або за допомогою термоприводу для безпечного відведення вмісту всіх резервуарів для зберігання водню. В цьому випадку система вентиляції має бути спроектована відповідним чином.

Розташування та кількість протипожежного обладнання визначається залежно від розмірів заправної станції за погодженням із місцевими органами пожежної безпеки. Об'єм та тиск води, призначеної для забезпечення протипожежного захисту (для пожежогасіння та охолодження обладнання при пожежі), повинні бути відповідними та підлягають погодження з місцевими органами пожежної безпеки. У безпосередній близькості від небезпечних зон повинні розташовуватися засоби пожежогасіння і перебувати у стані готовності до використання. Усе обладнання має бути узгоджено з місцевими органами пожежної безпеки. Оцінка джерел небезпеки та ризиків повинна виконуватись на всіх етапах експлуатаційного циклу заправної станції та щодо всіх видів небезпеки. Результати оцінки джерел небезпеки та ризиків повинні використовуватись для аналізу наслідків небезпечних ситуацій та визначення відповідних дій щодо зниження ризику. Дії щодо зниження ризику повинні ґрунтуватися на наступному:

- застосуванні безпечних технологій;
- використанні принципів забезпечення безпеки під час проектування систем управління;
- зниження ймовірності виникнення небезпеки шляхом підвищення надійності обладнання;
- захисних заходах;
- регулярному технічному обслуговуванню та ремонті обладнання.

Заправні станції повинні бути обладнані захистом від блискавок відповідно до вимог ІЕС 62305. Металеві конструкції та елементи обладнання, що мають підвищені розміри, такі як резервуари або

вентиляційні труби повинні приєднуватися безпосередньо до точки заземлення. Використання трубопроводів як засобів заземлення не допускається. Заходи щодо забезпечення захисту від блискавок не повинні перешкоджати катодному захисту від корозії.

До початку проведення випробування під тиском необхідно встановити обладнання для вимірювання тиску, призначене для проведення даного випробування. Під час випробування повинні бути вжиті заходи щодо запобігання надлишкового тиску в системі. Після проведення будь-якого гідравлічного випробування система/обладнання повинні бути випорожнені, ретельно просушені та перевірені. При проведенні пневматичного випробування повинна використовуватися суміш, що складається з азоту та гелію з мінімальною об'ємною часткою 5 %. Тиск у системі має збільшуватися поступово до величини випробувального тиску. Будь-які дефекти, виявлені на вході проведення випробування, повинні бути усунені затвердженим способом. Випробування повинні повторюватися доти, доки не будуть отримані задовільні результати. Випробування під тиском повинно проводитись у присутності кваліфікованого персоналу та бути документально оформленим. Повинен бути підписаний та виданий відповідний протокол про проведення випробування під тиском. Звіти про проведення випробування під тиском та протоколи повинні зберігатися для подальшого використання. Проведення випробування під тиском для підсистем, які були перевірені перед установкою, не вимагається. Нероз'ємні з'єднання таких підсистем із заправною станцією не повинні перевірятися, якщо вони розраховані на відповідні значення температури та тиску.

Обладнання та елементи різних систем (системи управління, системи безпеки процесу, аварійної системи) повинні бути випробувані відповідно до вимог виробника. Необхідно провести випробування підсистем та всіх систем у всіх можливих режимах роботи. Заправна станція може бути готова до пуску лише у випадку, коли всі системи функціонують без збоїв

Результати всіх випробувань мають бути документально оформлені та збережені.

4.5 Побудова станції заправки воднем

План побудови станції:

1. Визначення типу станції та основних характеристик;
2. Побудова схеми трубопроводів і приладів;
3. Заповнення переліку обладнання і його вартості.

4.5.1 Визначення типу станції

Щоб визначити тип станції для початку розглянемо їх види і класифікацію. Станції заправки воднем різняться за типом зберігання водню, способом його отримання та методом подачі водню до паливороздавальної колонки.

За типом зберігання класифікують два основні види:

- зберігання у газоподібному стані;
- зберігання у рідкому.

За способом отримання:

- доставлення резервуарів з воднем за допомогою вантажівок;
- доставлення за допомогою трубопроводів;
- генерування водню за рахунок електролізу або за допомогою переробки палива.

Методи подачі водню різняться в залежності типу його зберігання, так як для зберігання рідкого водню потрібне інше обладнання і резервуари.

Розглянемо основні види подачі водню при його зберіганні у вигляді газу:

1. Каскадна система подачі (рис.7). За такої схеми, після подачі водню у систему, газ закачується у три резервуари для його зберігання під

високим тиском (до 950бар). Коли починається процес заправки балону автомобіля, газ поступає спочатку із резервуара з найнижчим тиском. Коли тиск у балоні автомобіля і резервуарі вирівнюється, починається процес заправки з резервуара з більшим тиском. Цей процес продовжується поки автомобіль не буде повністю заправленим.

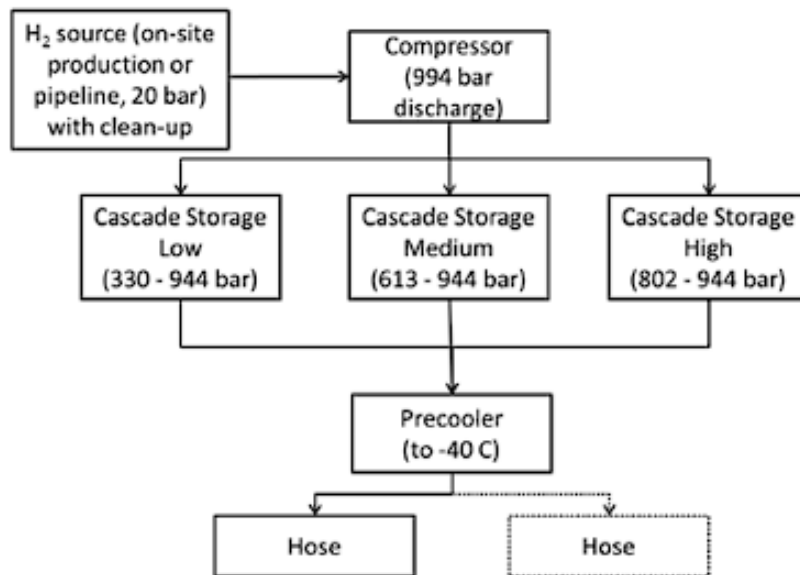


Рисунок 7– Каскадна схема подачі водню

2. Система з двома компресорами (рис.8). У цій схемі застосовується два компресори, резервуари, в яких водень зберігається під меншим тиском, ніж у каскадній системі і акумуляторні резервуари, що зменшують коливання тиску від роботи бустерного компресора. Коли автомобіль починає заправлятися, водень з резервуарів починає поступати до бустерного компресора, який стискає його і відправляє в охолоджувач.

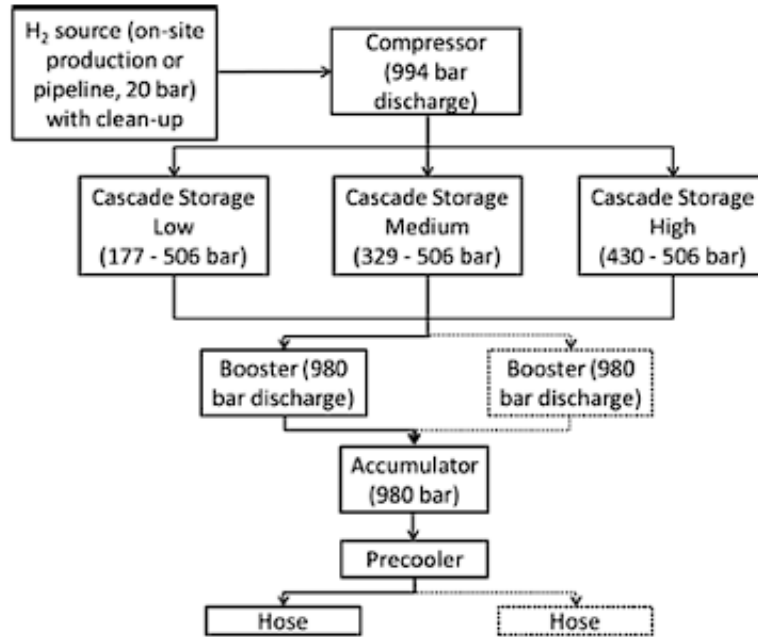


Рисунок 8 – Схема с двома компресорами

Виходячи з того, що воднева енергетика в Україні має низький рівень розвитку, а автомобілі з водневими паливними елементами не набули широкого розповсюдження, буде доцільно спроектувати схему заправної станції, що розрахована на невеликий об'єм автомобілів, з самостійним виробленням водню та яка потребуватиме мінімальних капіталовкладень, порівняно з іншими. Для цього нам підходить станція, що буде виробляти водень за рахунок електролізу, матиме каскадну систему заправки воднем і буде розрахована на заправку невеликої кількості автомобілів (приблизно 20 автомобілів або 100кг водню на день).

4.5.2 Побудова схеми трубопроводів і приладів

Визначившись з типом станції для побудови, побудуємо схему трубопроводів і приладів (P&IDs). Для цього ознайомимося зі стандартами ANSI/ISA S5.1, ISO 14617-6 і ISO/TS 20100:2008, а також з прикладами побудови таких схем. Згідно схеми наведеної на рисунку 6 і стандарту ISO/TS 20100:2008 визначаємо основний список обладнання і вимоги до них.

А саме вимоги до розташування ручних і пневматичних клапанів і їх кількості. Будемо схематичне зображення усіх елементів систему, трубопроводу, розташування клапанів і систем контролю. Підписуємо кожен елемент згідно поділу на зони та таблиці наведеної у стандарті ANSI/ISA S5.1 (таблиця 5).

Таблиця 5 – Позначення елементів на схемі

	Measured Variable	Readout of function	Output Function	Modifier
A	Air	Alarm		
B	Burner	Storage	Users Choice	Users Choice
C	Compressor			Closed
D	Dispenser			
E	Electrolyzer	Sensor (primary Element)		
F	Flow	Filter		
G	Chiller	Glass, viewing		
H	Hand			High
I	Current	Indicator		
J	Power			
K	Time		Control Station	
L	Level	Light		Low
M	Conductivity			Middle
N	Users Choice	Users Choice	Hydrogen	Users Choice
O	Water	Orifice, restriction	Air	Open
P	Pressure			
Q	Quantity			
R	Radiation	Record, Reduce		
S	Speed, Frequency		Switch	
T	Temperature		Transmit	
U	Multivariate	Multifunction	Multifunction	Multifunction
V	Vibration		Valve	
W	Weight	Well	Water	
X	Unclassified	Unclassified	Unclassified	Unclassified
Y	State		Relay	
Z	Position		Actuator	

У результаті отримуємо готову схему (Додаток А). З її допомогою можемо визначити мінімальну кількість обладнання і оцінити вартість заправки

4.5.3 Заповнення переліку обладнання і його вартості

Взявши схему трубопроводів і приладів, розрахуємо кількість необхідного обладнання і його вартість (таблиця 6).

Таблиця 6 – Перелік обладнання і його вартість

Найменування	Кількість	Ціна за 1шт, \$	Загальна ціна, \$
Електролізер	1	85000	85000
Компресор	1	110 000	110000
Резервуар для водню	3	40000	120000
Охолоджувач	1	350000	350000
Паливороздавальна колонка	1		0
Повітряний компресор	1	1000	1000
Ресивер	1	700	700
Осушувач	1	2500	2500
Повітряний фільтр	1	50	50
Фільтр водню	1	2500	2500
Клапан кульовий	12	500	6000
Зворотній клапан	2	400	800
Електромагнітний клапан	5	50	250
Пневматичний клапан	5	1750	8750
Датчик тиску водню	6	1000	6000
Датчики положення клапану	5	250	1250
Запорно-спускний клапан	6	500	3000
Пульт керування	1	5000	5000
Трубопровід	1	20000	20000
Сумма			722800

В результаті підрахунків отримуємо, що на побудову маленької станції заправки воднем потрібно буде витратити 722800\$ тільки на обладнання. У розрахунках не враховувались витрати на будівельні матеріали, плату за працю і логістичні витрати. Можемо припустити, що з усіма іншими витратами загальна вартість заправки з легкістю перевищить 1 000 000\$. В результаті підрахунків можемо зробити висновок, що відкриття станції заправки воднем нині є дуже дорогим, особливо, якщо порівняти вартість водневої заправки і бензинової. Вартість звичайної АЗС складає приблизно – 160 000\$. Така ціна на водневі заправки пов'язана з новизною і

нерозвиненістю цієї технології та з більш жорсткими вимогами до обладнання станції. Наразі мережа автозаправних станцій для водневих авто слабо розвинена у світі, але багато держав стимулюють розвиток інфраструктури співпрацюючи з великими компаніями, які зацікавлені в розвитку водневих технологій. Тому, доки технологія побудови водневих заправок не досягла певного розвитку, вона буде залишатися дорогою і малодоступною, а її розвиток буде напряму залежати від дій держав, зацікавленості великих компаній у цій технології і від наукових досягнень у цій області, і в області альтернативних палив загалом.

Висновок

В наш час проблеми традиційних палив цілком очевидні і вони змушують шукати нас альтернативні енергоносії, заради зменшення впливу від країн з великими ресурсами традиційних палив, а також в цілях боротьби з парниковим ефектом і проблеми глобального потепління. Наразі вже досягнуто певного розвитку у розвитку тих чи інших технологій. Найперспективнішими варіантами наразі є розвиток відновлюваних джерел енергії і впровадження водню в якості основного енергоносія, бо саме ці варіанти допоможуть відійти від викопного палива і знизити викиди вуглецю і інших газів у атмосферу Землі. Що стосується альтернативних палив для автомобілів, то тут домінують електромобілі, але поки не зрозуміло в якому вигляді ми їх будемо експлуатувати, так як автомобілі з водневими паливними елементами також можна вважати електромобілями, просто від звичайних електромобілів вони відрізняються тим, що не накопичують енергії у великих акумуляторних батареях, а виробляють її за рахунок взаємодії водню з киснем у паливному елементі. Електромобілі з літій-іонними акумуляторами набагато ефективніше використовують енергія, так як напряму заряджаються електроенергією, на відміну від водню, який

потрібно виробити, доставити і витратити енергія на його заправку у автомобіль. ККД у звичайного електромобіля також вище ніж у авто на водневих паливних елементах (більше 90% у електромобіля і 50-60% у FCEV). Але електромобіль потребує довгої зарядки, а автомобіль на паливних елемента зрівнюється по цьому показнику з автомобілями з ДВЗ. За рахунок цього водневі автомобілі мають свою перспективу, але вона дуже сильно залежить як від розвитку водневих технологій, так і від розвитку акумуляторних батарей для електромобілів. Якщо вийде зменшити час заряджання електромобілів і наблизити його до часу заправки традиційних транспортних засобів, то перспективи будуть під питанням. Але розвитку водневим авто може допомогти політика держав, спрямована на розвиток водневих технологій. За рахунок цього технологія може набути ширшого застосування і стати більш дешевою, ніж вона зараз є. Багато країн вже підготували свої стратегії розвитку водневої енергетики, але це багаторічні плани, розраховані на 5-10 років наперед. У підсумку можна сказати, що технологія автомобілів на паливних елементах має свої перспективи, але вона ще дуже дорога і не розповсюджена, а її розвиток напряму залежить від розвитку водневої енергетики і технологічного прогресу.

Список літератури

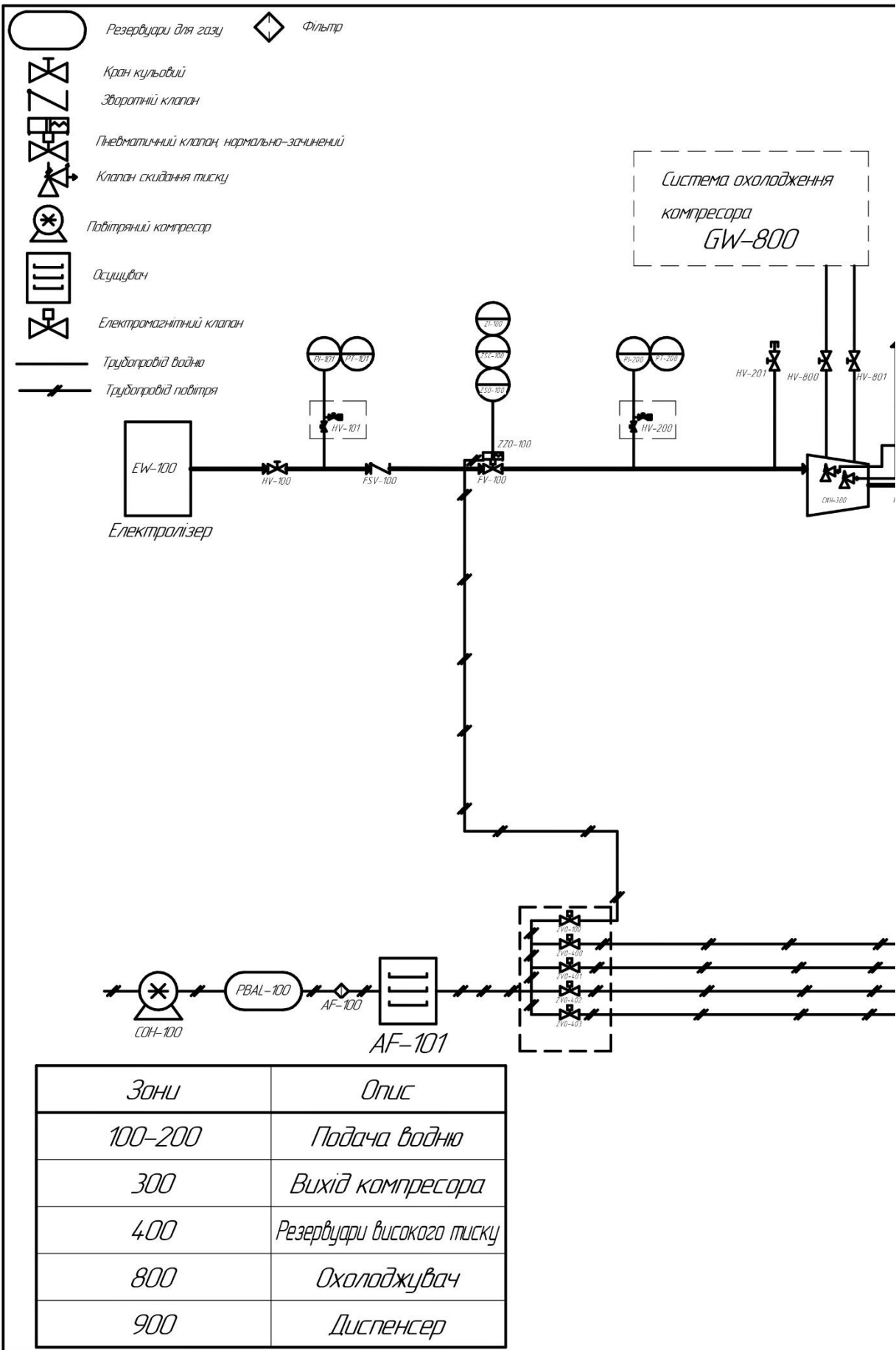
1. Gaseous hydrogen – Fuelling stations. Part 1: General requirements. BSI Standards Publication. BS ISO 19880-1: 2020.
2. Reddi K, Elgowainy A, Rustagi N, Gupta E. Impact of hydrogen refueling configurations and market parameters on the refueling cost of hydrogen. *Int J Hydrogen Energy* 2017;42:21855-21865.
3. Reddi K, Elgowainy A, Rustagi N, Gupta E. Impact of hydrogen SAE J2601 fueling methods on fueling time of light-duty fuel cell electric vehicles. *Int J Hydrogen Energy* 2017;42:16675-16685.

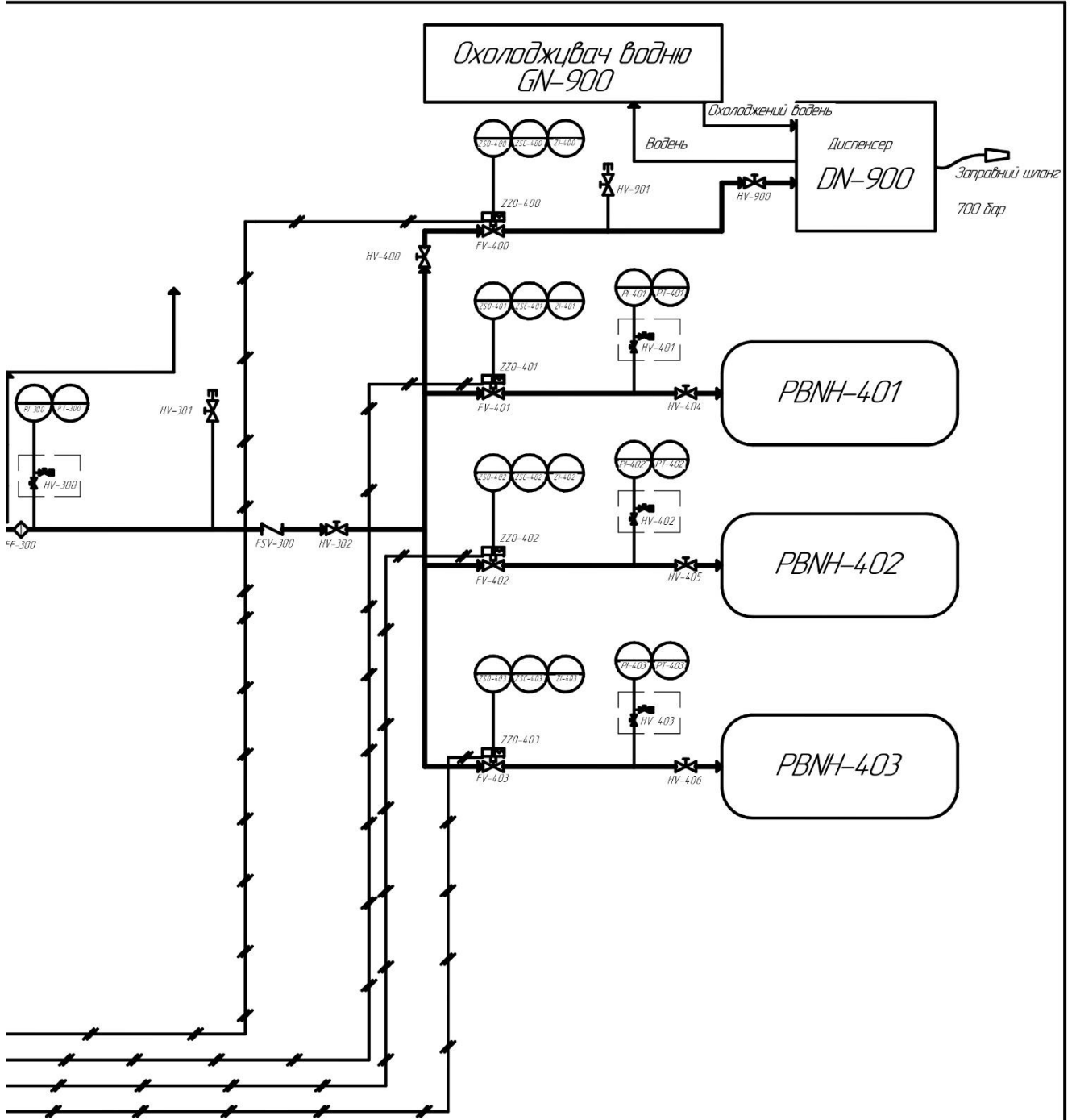
4. SAE (Society of Automotive Engineers). Fueling protocols for light duty gaseous hydrogen surface vehicles. Surface Vehicle Standard. J2601. July 2014.
5. Elgowainy A, Reddi K, Sutherland E, Joseck F. Tube-trailer consolidation strategy for reducing hydrogen refueling station costs. *Int J Hydrogen Energy* 2014;39:20197-20206.
6. Eisler, Matthew N. *Overpotential: Fuel Cells, Futurism, and the Making of a Power Panacea*. Rutgers University Press, 2012.
7. Kevin Kendall, in *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2022
8. James Larminie, Andrew Dicks: *Fuel Cell Systems Explained*, 2003
9. Цоколов, Максим. "Альтернативні види палива". Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Екологія. Людина. Суспільство", 20 травня 2021, 268–71.
<http://dx.doi.org/10.20535/ehs.2021.233413>.
10. Мітков Б.В., Мітков В.Б., Шульга О.В. Альтернативні палива для транспортних засобів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 1, Т. 3. С.137145.
11. Мітков Б.В., Мітков В.Б., Бойко О.В. Використання альтернативних палив для ДВЗ – важливий шлях до зниження забруднення навколишнього середовища. *Вісник Придніпровської академії будівництва та архітектури*. Дніпропетровськ, 2012 . Вип. 6. С. 213-216.
12. Saikia, Kaustav; Kakati, Biraj Kumar; Boro, Bibha; Verma, Anil (2018). "Current Advances and Applications of Fuel Cell Technologies". *Recent Advancements in Biofuels and Bioenergy Utilization*. Singapore: Springer. pp. 303–337. doi:10.1007/978-981-13-1307-3_13. ISBN 978-981-13-1307-3.

13. Nice, Karim and Strickland, Jonathan. "How Fuel Cells Work: Polymer Exchange Membrane Fuel Cells". How Stuff Works, accessed 4 August 2011
14. Grove, William Robert (1842). "On a Gaseous Voltaic Battery". The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 3rd series. 21 (140): 417–420.
15. Natalia Afanasieva "Digital Innovations in the Socio-Economic Sphere", The University of Technology in Katowice Press, 2023
16. Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті", 2–3 квітня 2020 р. – К.: НУХТ, 2020 р. – Ч.1. – 409 с.
17. ЕКОЛОГІЯ. ДОВКІЛЛЯ. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. 2023 : колективна монографія / під ред. О. В. Степової. Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка. 2023. 246 с.

Додатки

Додаток А





						Лім.	Маса
Зм. Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата				Масштаб
Розробив	Бондарев В.В.						1:1
Перевірив						Аркуш 1	Аркушів 1
Т.контр.							
Н.контр.							ХАІ
Затвердив							