ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Напрям підготовки (спеціальність) *132 «Матеріалозновство*
Освітньо-професійна програма *Відновлення та технічний сервіс автомобілів»*

на тему: «Дослідження водневої системи живлення автомобіля та розробка систем зберігання палива»

Шифр ***МР ТАМ 2221207. 000 ПЗ***

Виконав: студент *2*-го курсу, група *МТВАм 21-1* _____ *Б.А.Поперечний*
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник *к.т.н., доц. каф. ТАМ.* _____ *О.П. Бабак*
Підпис Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.
_____ *О.В. Диха*
Підпис Ініціали, прізвище
2 12 2022 р.

Хмельницький, 2022

РЕФЕРАТ

На тему: «Дослідження водневої системи живлення автомобіля та розробка систем зберігання палива»

Метою магістерської роботи є аналіз можливих варіантів автономних систем електропостачання.

У процесі дослідження виконані наступні завдання:

– Проведений аналіз автономних систем електропостачання.

– Оцінений ринок ДГУ – дизель-генераторна установка; БГУ – бензинова генераторна установка; ВСЕ – вітро-сонячна електростанція; ВСЕС – воднева система енергопостачання.

– Розроблена система електропостачання вітдаленого населеного пункту на базі водневої системи.

Об'єкт дослідження: енергетичні установки резервного електроживлення

Предмет дослідження: автономна гібридна установка енергозабезпечення на базі водневої електростанції потужністю 5кВт.

Наукова новизна роботи:

встановлення необхідного числа елементів енергосистеми для стійкого та безперебійного енергопостачання споживача;

встановлення, що розроблена автономна система енергопостачання на базі водневої системи економічно доцільна при відсутності можливості підключення до централізованої системи енергопостачання з терміном служби більше 20 років.

Практична значимість роботи:

результат роботи дозволяє встановити перспективи розвитку теми застосування малої енергетики, на базі водневої системи енергопостачання.

Апробація роботи:

Основні положення роботи були представлені у вигляді доповіді на студентських науково-технічних конференціях.

У ході дослідження був проведений порівняльний аналіз класичних систем енергозабезпечення і водневої системи малої потужності до 5 кВт. Була запропонована система на базі автономної водневої системи енергопостачання.

Структура й обсяг роботи. Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, основних висновків, переліку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 74 сторінок, , 24 малюнків, 4 таблиць, 24 літературних джерел і додатку з 19 соайдів.

Перелік ключових слів: ВОДНЕВА СИСТЕМА, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, АВТОНОМНІ СИСТЕМ, ЗБЕРІГАННЯ ПАЛИВА, ЖИВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЯ

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *інженерії, транспорту та архітектури*

Кафедра *трибології, автомобілів та матеріалознавства*
Освітньо-кваліфікаційний рівень *магістр*
Напрям підготовки (спеціальність) *132 «Матеріалозновство*
Освітньо-професійна програма *Відновлення та технічний сервіс автомобілів»*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ТАМ*
проф., д.т.н. Диха О.В.
21 жовтня 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Поперечному Борису Андрійовичу
Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи) *Дослідження водневої системи живлення автомобіля та розробка систем зберігання палива*
Керівник проекту (роботи) *Бабак Олег Петрович к.т.н., доцент*.
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від *1 липня* 2022р. № *83 (28)*
2. Строк подання студентом проекту на кафедру *10 грудня 2022 року*
3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз проблеми використання водню як палива для транспорту; Перспективи використання водню в енергетиці; 3. Порівняння класичних систем енергозабезпечення й водневої системи автономного енергозабезпечення малої потужності до 5 кВт

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання_----

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Літературний огляд*	*30.09.2022*	
2	*Технологічний розділ*	*25.10. 2022*	
3	*Дослідницький розділ*	*15.11. 2022*	
4	*Оформлення розрахунково–пояснювальної записки*	*22.11. 2022*	
5	*Оформлення презентації магістерської роботи*	*1.12. 2022*	
6	*Нормоконтроль магістерської роботи*	*5.12. 2022*	
7	*Підписання розділів. Затвердження дати захисту*	*10.12. 2022*	

Студент Підпис *Поперечний Б.А.* Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи) Підпис *Бабак О.П.* Ініціали, прізвище

Змн | Арк
Розроб.
Перевір.
Реценз.
Н. Контр
Затверд

ЗМІСТ

Вступ……..…7

1 Аналіз проблеми використання водню як палива для транспорту……12

1.1 Водневі автомобілі визначення проблем експлуатації та заправки ..14

1.1.1 Робота установок із генерації водню……..…16

1.1.2 Скільки буде коштувати заправка для водневих авто……..…17

1.2 Види накопичувачів енергії……..…..21

2 Перспективи використання водню в енергетиці……30

2.1 Одержання водню……30

2.2 Накопичувачі водню……..……..31

2.3 Металогідридний накопичувач водню……..…32

2.4 Паливні елементи……..…34

2.5 Енергоефективність паливного елемента……..…39

2.6 Відновлювачі для паливних елементів……...42

2.7 Системи резервного енергопостачання……..…45

2.8 Воднева система енергозабезпечення……46

2.9 Експериментальне дослідження одержання водню з використанням сонячної енергії……49

2.10 Розробка систем зберігання водню на основі складних гідридів металу……..…..54

2.11 Термоліз……55

2.12 Дослідження й моделювання різних ємнісних систем термоліза……55

2.13 Натрієві системи на основі ацетату натрію……..…..58

2.14 Гідроліз……..……....59

2.15 Розробка резервуара для гідролізу на основі реактора……..…..60

3 Порівняння класичних систем енергозабезпечення й водневої системи автономного енергозабезпечення малої потужності до 5 кВт……..50

3.1 Структура існуючих систем резервного енергозабезпечення на базі акумулятора і дизельного генератора……..51

3.2 Недоліки існуючих СРЕ…….51

3.3 СРЕ на базі водневої системи автономного енергозабезпечення…….53

3.4 Переваги водневої системи……..53

3.5 Оцінний аналіз класичних систем і водневої системи……...54

3.6 Дизельний генератор з буферним АКБ……56

ВИСНОВОК…….58

СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ…….60

ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

АЕС – автономна електроенергетична система; ЛЕП – лінії електропередач;

ГЕС – гідроелектростанція; ТЕС – теплоелектростанція;

ДГУ – дизель-генераторна установка; АКБ – акумуляторна батарея;

ИБП – джерела безперебійного живлення; БГУ – бензинова генераторна установка; ВСЕ – вітро-сонячна електростанція; ВСЕС – воднева система енергопостачання; ПЕ – паливний елемент;

МПВЕ – міжнародне партнерство по водневій економіці; СРЕ – системи резервного енергопостачання;

ПОМ – протоно-обмінна мембрана; ВСУ –воднева силова установка; РЕ – резервне енергозабезпечення;

ДБЖ – джерело безперебійного живлення; ДН– датчик напруги.

Вступ

З метою підвищення ефективності традиційних джерел електроенергії (рис. В.1), такі як сонячні та вітрові електростанції, а також забезпечення надійного електропостачання резерву для споживачів, зниження екологічного навантаження на природу, вимагає досить ефективних засобів нагромадження і виробництва енергії.

«Збільшення пропускної здатності систем від електрохімічних батарей пов'язане з високими витратами, вони стають ненадійними після тривалої експлуатації, чутливі до температури і є небезпечними для навколишнього середовища при утилізації» [24].

Так само для невеликої системи виробництва енергії габаритні характеристики пристроїв зберігання енергії стають критичними. Технологія металогідридного накопичувача є гарною альтернативою іншим системам зберігання. «Час резервування енергії при використанні технології металогідридного накопичувача на основі водневих паливних елементів залежить тільки від кількості збереженого водню. У водневої системи не існує проблеми підзарядки та саморозряду, що гарантує стабільність енергетичних параметрів, спрощує роботу джерела живлення»[24].

Рисунок В. 1– Традиційні джерела електроенергії[23]

Таким чином, виникає необхідність у розвитку малої енергетики, а саме, на базі водневої системи енергопостачання. При цьому впровадження малої енергетики доцільно як у житлових будинках, так і для резервного електроживлення медичних установ, банківських систем, безперервних виробництв, телекомунікаційних вузлів, систем керування транспортом і міським господарством і т.п., що забезпечить раціонально екологічне та відповідальне використання паливно– енергетичних ресурсів.

Метою магістерської роботи є аналіз можливих варіантів автономних систем електропостачання.

У процесі дослідження виконані наступні завдання:

– Проведений аналіз автономних систем електропостачання.

– Оцінений ринок ДГУ – дизель-генераторна установка; БГУ – бензинова генераторна установка; ВСЕ – вітро-сонячна електростанція; ВСЕС – воднева система енергопостачання.

– Розроблена система електропостачання вітдаленого населеного пункту на базі водневої системи.

Об'єкт дослідження: енергетичні установки резервного електроживлення

Предмет дослідження: автономна гібридна установка енергозабезпечення на базі водневої електростанції потужністю 5кВт.

Наукова новизна роботи:

встановлення необхідного числа елементів енергосистеми для стійкого та безперебійного енергопостачання споживача;

встановлення, що розроблена автономна система енергопостачання на базі водневої системи економічно доцільна при відсутності можливості підключення до централізованої системи енергопостачання з терміном служби більше 20 років.

Практична значимість роботи:

результат роботи дозволяє встановити перспективи розвитку теми застосування малої енергетики, на базі водневої системи енергопостачання.

Апробація роботи:

Основні положення роботи були представлені у вигляді доповіді на студентських науково-технічних конференціях.

У ході дослідження був проведений порівняльний аналіз класичних систем енергозабезпечення і водневої системи малої потужності до 5 кВт. Була запропонована система на базі автономної водневої системи енергопостачання.

Аналітичний огляд інформаційних джерел по темі роботи.

«Сучасний стан світової енергетики, заснованої, головним чином, на традиційних вуглецевоводневих джерелах сировини, навіть за оптимістичними оцінками характеризується як передкризове. І справа не тільки в очевиднім виснаженні цих ресурсів, але й у зростанні небезпеки глобальних катастроф внаслідок забруднення навколишнього середовища. Безумовно, атомна енергетика з урахуванням наявних запасів урану в теорії буде відіграти все більшу роль у світовій економіці. Передбачається, що у віддаленім майбутньому вирішальне місце у великомасштабній енергетиці займе термоядерна енергія. Однак уже зараз видно, що серйозні енергетичні й екологічні проблеми наздоженуть світ перш, ніж у лад вступить перша термоядерна електростанція. Крім того, навіть якщо припустити, що атомна і термоядерна енергетика могтиме зробити необхідну кількість електроенергії, залишається неясним, яким чином отримана енергія може забезпечити, наприклад, функціонування транспорту або життєдіяльність вітдалених районів. (На сьогоднішній день транспорт використовує близько половини світового обсягу споживання нафтопродуктів, а в США – до 65%» [24]. При цьому у вихлопах двигунів внутрішнього згоряння має близько 45 токсичних речовин, у тому числі канцерогени. «Тому пошук альтернативних поновлюваних і екологічно чистих джерел, здатних забезпечити людство енергією на найближчі сотні років, є одним з безсумнівних пріоритетів сучасної науки. Цей пошук показує, що одним з найбільш ймовірних замінників органічного палива енергоносіїв для транспорту і енергетики в цілому є водень» [23].

«Водень придатний для всіх видів теплових двигунів: поршневих, турбінних, поршневотурбінних, двигунів Стірлінга і т.д. При цьому водень як паливо має високий вміст енергії на одиницю маси – 120,7 Мдж/кг, що вище, ніж у будь-якого органічного палива» [23].

«Використання водню для одержання енергії веде до різкого зниження забруднення навколишнього середовища» [24].

« При згорянні водню в кисні токсичні вихлопи повністю відсутні, тому що продуктом реакції є вода, а при згорянні в повітрі забруднення набагато нижче, ніж при використанні бензину»[24].

«Дуже важливо, що водень може бути використаний для прямого перетворення хімічної енергії в електричну. Таке перетворення відбувається в електрохімічному генераторі (паливному елементі) при з'єднанні водню з киснем на одному з електродів, шкідливі викиди при цьому практично відсутні» [17].«Коефіцієнт корисної дії (ККД) паливного елемента може досягати дуже високих значень – від 40 до 70 %, і він відносно мало залежить від установленої потужності та навантаження»[24], (нагадаємо, що ККД теплових машин, таких як двигун внутрішнього згоряння, дизель і т.д. не перевищує 40%).

«Саме прогрес у розробці паливних елементів (ПЕ) з високим ККД вселяє впевненість у перспективах використання водню як палива при створенні автономних мобільних і стаціонарних джерел енергії. Такі джерела можуть знайти широке застосування на транспорті, у тому числі в автомобілях з так званими "гібридними" двигунами (звичайний двигун плюс електродвигун на ТЕ)» [24].

«Автомобілі з ПЕ особливо перспективні для використання в міських умовах. Інший ринок, що бурхливо розвивається, ПЕ пов'язаний з необхідністю збільшення тривалості безперервної роботи малогабаритних електронних пристроїв (стільникових телефонів, портативних персональних комп'ютерів і т.д.) і заміни в них звичайних батарей і акумуляторів на більш енергоємні джерела електроживлення» [24]. Успіхи, досягнуті в розробці ПЕ, ріст коштовна

традиційні енергоносії (особливо на нафту), політична нестабільність у країнах – експортерах нафти, екологічні проблеми – усе це привело до усвідомлення на урядовому рівні необхідності прискореного розвитку досліджень і технологій в області водневої енергетики. У цьому зв'язку характерне рішення президента США Дж. Буша про включення водневої енергетики в число національних пріоритетів. Конгрес США ухвалив рішення щодо фінансування в розмірі 1,3 млрд. дол. США робіт з паливних елементів для автомобілів [1]. Японія підтримує розвиток технологій, заснованих на водні і ПЕ, шляхом 28-и літньої програми (1993-2020) із загальним бюджетом 2,4 млрд. євро. Фінансування досліджень по ПЕ в Європі становить приблизно 1/3 частину від фінансування в США і 1/4 частину від фінансування в Японії [24]. При цьому в останні роки країни ЄС активно розробляють стратегію консолідації зусиль урядів і великих меж національних компаній в області розробки водневих технологій і паливних елементів [23].

Відзначимо, що великі недержавні компанії, головним чином автомобільні, також вкладають у розробку водневих технологій значні засоби [1,3,6].

Існують ідеї і більш широкої "глобалізації" робіт з водневої енергетики. «Так, у листопаді 2003 р. підписана угода “Міжнародне партнерство по водневій економіці”. Його учасниками стали Австралія, Великобританія, Бразилія, Німеччина, ЄС, Індія, Ісландія, Італія, Канада, Китай, Норвегія, Республіка Корея, Україна, США, Франція, Японія. Передбачається, що "Міжнародне партнерство по водневій економіці" забезпечить механізм організації, оцінки і координації багатобічних досліджень, розробок і програм розгортання, які прискорять перехід до глобальної водневої економіки. Очевидно, що для переходу до водневої енергетики необхідно розв'язати серйозні наукові, технологічні та технічні проблеми. До таких проблем відносять у першу чергу одержання достатнє дешевого водню в масовій кількості, зберігання і доставку водню, ефективне його використання» [24].

1 Аналіз проблеми використання водню як палива для транспорту

Водневий транспорт — це різні транспортні засоби, що використовують у якості палива водень. Це можуть бути транспортні засоби як із двигунами внутрішнього згоряння, так і з водневими паливними елементами.

У цей час різноманітний транспорт відповідає за 23% техногенних викидів парникових газів в атмосферу Землі. По оцінках експертів, уже через двадцять років це число подвоїться і продовжить рости в міру того, як у країнах, що розвивати буде збільшуватися кількість особистих автомобілів. Крім вуглекислого газу в атмосферу викидаються оксиди азоту, відповідальні за збільшення захворюваності астмою, оксиди сірки, відповідальні за кислотні дощі і т.д.

У морському транспорті найчастіше використовуються низькосортні, дешеві сорти палива. Морський транспорт викидає оксидів сірки в 700 раз більше, ніж автомобільний транспорт. По даним International Maritime Organization викиди С2 морським торговельним флотом досяглися 1,12 млрд тонн у рік.

Іншою причиною підвищення інтересу до водневого транспорту є ріст цін на енергоносії, дефіцит палива, прагнення різних країн досягтися енергетичної незалежності.

Двигун внутрішнього згоряння

Англ. Hydrogen internal combustion engine (HICE). Водневий двигун внутрішнього згоряння.

Водень може використовуватися в якості палива у звичайному двигуні внутрішнього згоряння. У цьому випадку знижується потужність двигуна до 82 %-65 % у порівнянні з бензином. Якщо внести невеликі зміни в систему запалювання, потужність двигуна збільшується до 117 % у порівнянні з бензиновим аналогом, але тоді значно збільшиться вихід окислів азоту через більш високу температуру в камері згоряння й зростає ймовірність підгоряння

клапанів і поршнів при тривалій роботі на великій потужності. Крім того, водень при температурах і тисках, які створюються у двигуні, здатний вступати в реакцію з матеріалами двигуна та мастилом, приводячи до більш швидкого зношування. Звичайний ДВЗ для роботи на водні не підходить, тому що водень легко запалюється від високої температури випускного колектора. Звичайно для роботи на водні використовується роторний двигун, тому що в ньому випускний колектор значно вилучений від впускного.

Винахідник Франсуа Ісаак де Риваз (фр. fr:François Isaac de Rivaz 1752—1828) в 1806 році створив двигун внутрішнього згоряння. Двигун працював на водні, який винахідник робив електролізом води. Проте в більшості експериментальних ДВЗ інших винахідників використовувався в основному світильний газ. Бензин у двигунах внутрішнього згоряння став використовуватися після 1870-х років.

Сучасне застосування

У цей час обмеженими партіями випускаються:

BMW Hydrogen 7. Біпаливний (бензин/водень) легковий автомобіль. Використовується рідкий водень;

Ford E-450. Автобус;

Mazda RX-8 hydrogen. Біпаливний (бензин/водень) легковий автомобіль.

Міські низкопольні автобуси MAN Lion City Bus.

Берлінська транспортна компанія BVG (Berliner Verkehrsbetriebe) до листопада 2009 року придбала 14 автобусів MAN із двигунами внутрішнього згоряння, що працюють на водні.

Boeing Company розробляє безпілотний літак великої висоти і тривалості польоту (High Altitude Long Endurance (HALE). На літаку встановлений HICE виробництва Ford Motor Company.

1.1 Водневі автомобілі визначення проблем експлуатації та заправки

Автомобільні концерни поки не поспішають переходити на випуск транспорту із водневими паливними елементами (FCEV).

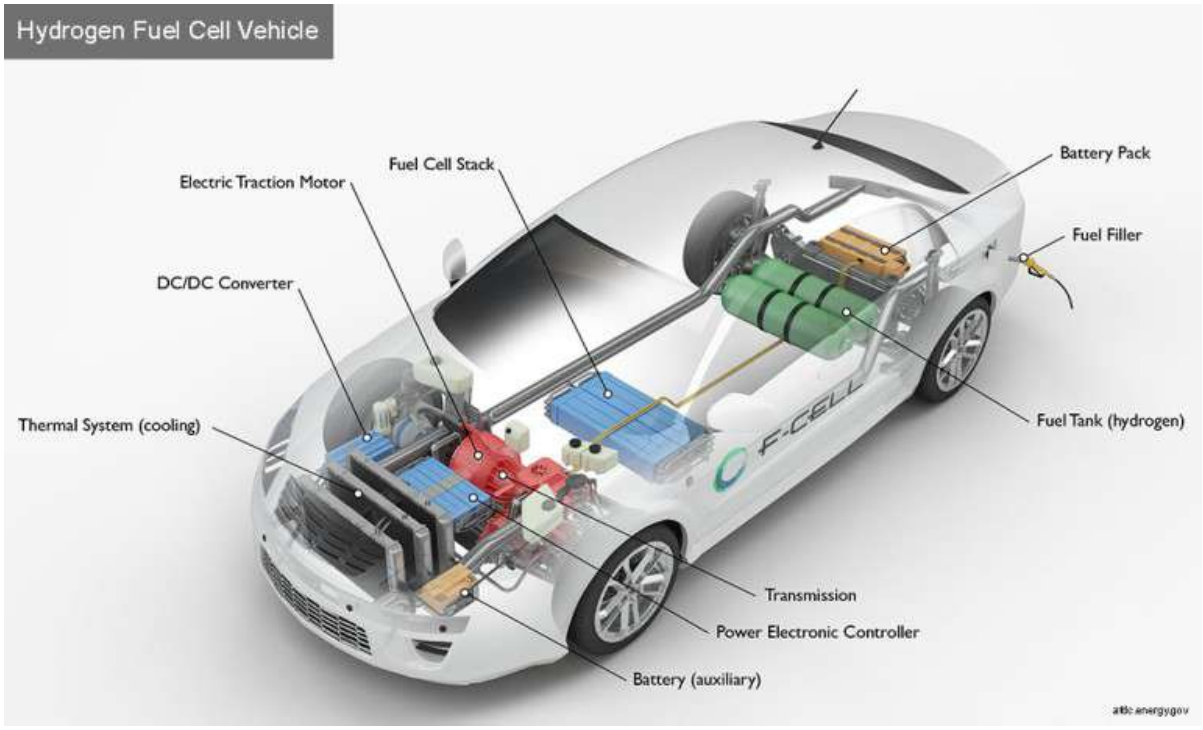


Рисунок 1.1 - Принципова схема роботи автомобіля з водневими елементами

FCEV – fuel cell electric vehicles – це електромобіль на паливних осередках (елементах). У такому автомобілі використовується паливний елемент замість батареї або у поєднанні з батареєю або суперконденсатором для живлення бортового електродвигуна.

І тому є чимало причин – ціни, нерозвинена інфраструктура, небезпека виробництва палива для довкілля.

Хоча водневі автомобілі вже існують – майже всі моделі лише у вигляді концепту, і лише деякі випускаються серійно.

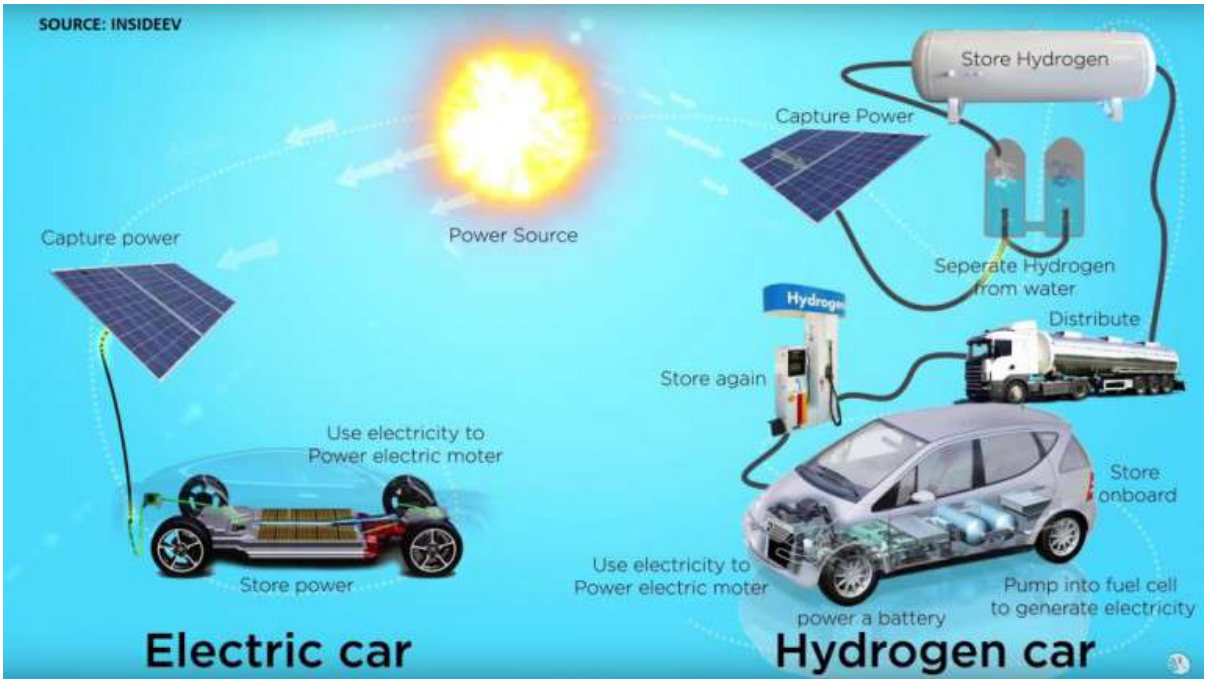


Рисунок 1.2 - Особливості заправки воднем

Працюючі на водневому паливі авто заправляти складніше, ніж звичайний транспорт. Заправка виконується газом у стислому або зрідженому стані.

При цьому водень зменшується в обсязі майже в 850 разів, температура в рідкому вигляді досягає -259 ° С, а тиск газу – 350 або 700 атмосфер.

На більшості заправок паливо продається у газоподібному стані. Рідина зустрічається лише з 10% станцій.

Час заправки водневим паливом становить близько 5 хвилин. Приблизно стільки ж витрачається заповнення повного бака бензинового транспорту. Сучасні технології дозволяють зменшити цей час до 3 хвилин – швидше, ніж доведеться чекати заповнення балона з природним газом.

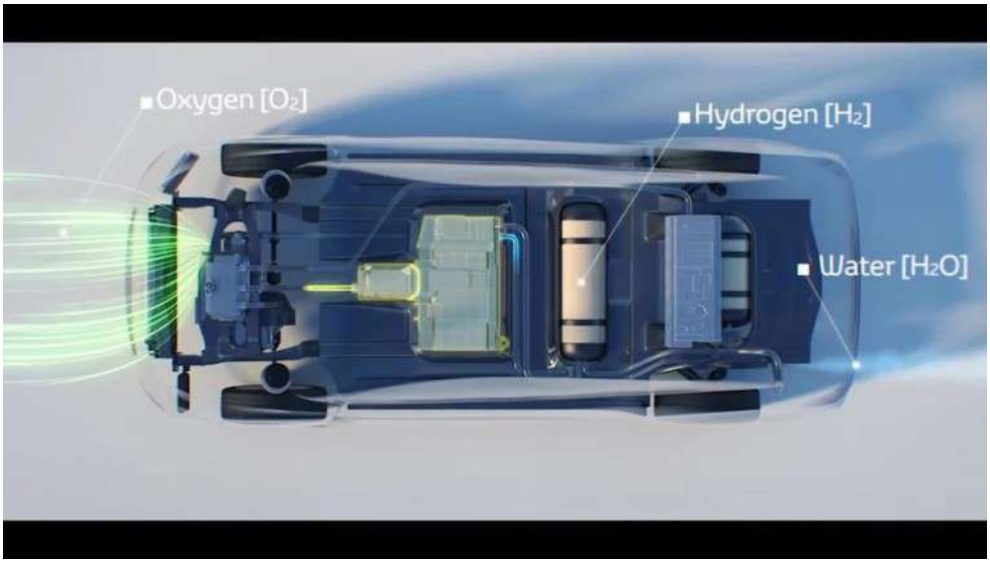


Рисунок 1.3 - Працююче на водневому паливі авто

1.1.1 Робота установок із генерації водню

Водневі заправні станції (ВЗС) можуть бути мобільними, стаціонарними та домашніми.

Перший вид призначений для заправки автомобілів у місцях без належної інфраструктури.

Стаціонарні заправки зазвичай належать великим компаніям та продають водневе паливо автомобілістам. Більшість таких станцій знаходиться в Канаді та США, Китаї, Японії та Німеччині.

Домашня заправка – набір обладнання для приватного використання. Виробляє до 1000 кг чистого водню на рік – достатньо для щоденної заправки 1-5 автомобілів. Газ виробляється методом гідролізу води в нічний час, щоб не створювати різких стрибків напруги в електромережі.

За обсягами продукції стаціонарні станції ділять на три типи:

малі, що випускають до 20 кг водню на добу (вистачить на заправку 5-10 автомобілів);

середні, що забезпечують щоденну заправку 250 легкових авто або 25 вантажних – норма виробітку від 50 до 1250 кг на день;

промислові – заправляють більше 500 автомобілів на добу, надаючи від 2500 кг газу.

У конструкцію водневої заправки входить електролізер, системи очищення та зберігання водню, компресор (якщо паливо знаходиться в газоподібному стані) та диспенсер, що забезпечує роздачу водню споживачам. Причому, на малих та середніх станціях газ може випускатися як за допомогою електролізу води, так і за рахунок каталітичного риформінгу вуглеводнів – процесу, що проводиться за температури близько 500 градусів і тиску до 4 МПа.

1.1.2 Скільки буде коштувати заправка для водневих авто

Ринкова вартість водню в Європі зараз становить близько 9 євро за кілограм, що відповідає приблизно 45 євро для повного бака автомобіля Toyota Mirai.

Рисунок 1.4 - TOYOTA Mirai 2021

При запасі ходу 500 км сума виходить лише на рівні 9 євро на 100 км. Враховуючи, що вартість бензину на європейських заправках близько 1,3-1,35 євро, споживання водневого авто приблизно відповідає середній витраті седана з бензиновим мотором 1,5-2 літри в комбінованому режимі.

З одного боку, це не багато – але тільки якщо не порівнювати з електромобілями. При використанні електродвигунів власник автомобіля Tesla Model S або Toyota Prius витратить близько 2,5 євро на ту ж стокілометрову відстань. Тому поки ціна на водень для автомобілів не знизилася хоча б до 25-30 євро за повний бак, перевага залишиться за електрокарами.

Китай витратить 17 млрд доларів на водневі автомобілі. На ці гроші буде налагоджено масштабне виробництво паливних елементів, побудовано мережу високотехнологічних АЗС та створено ланцюг поставок. Водневі автомобілі ідеально доповнять електричні, для яких Китай вже став найбільшим ринком.

За даними Bloomberg, китайські інвестиції у водневий транспорт до 2023 року становитимуть понад $17 млрд. $7,6 млрд. з них вкладе Китайська національна корпорація важких вантажівок. Гроші підуть на створення водневих автомобілів на заводі у провінції Шаньдун на східному узбережжі країни.

За рахунок цих коштів планується налагодити масштабне виробництво паливних елементів, звести мережу високотехнологічних АЗС, створити підприємства з виробництва водневих автомобілів, а також довести до ладу держпрограму субсидування таких транспортних засобів. На даний момент водневі автомобілі субсидується так само, як і електротранспорт. Судячи з того ж плану, вже наступного року в Китаї з конвеєра зійде 5 тис водневих автомобілів, до 2025 їх кількість складе як мінімум 50 тис, а до 2030 їх число має досягти 1 млн!

За прогнозами Елейн Ву з JPMorgan, автомобілі на водневих паливних елементах незабаром стануть великим гравцем на ринку комерційних вантажівок Китаю.

“В даний час автомобілі на паливних елементах складають менше 5% ринку комерційних вантажних автомобілів в Китаї, і в 2050 році ця частка може зрости приблизно до однієї третини від загальної частки ринку”, – сказала Ву.

Електромобілі на паливних елементах працюють електрикою, що працює на водні. Водень – це чисте паливо, і за його споживанні у паливному елементі утворюється лише вода.

Одна з причин, чому автомобілі на паливних елементах є «дуже хорошим варіантом» для ринку комерційних вантажівок, полягає в тому, що час їх дозаправки становить лише близько 10–15 хвилин, зазначила Ву. У них також є запас ходу близько 800 кілометрів, що на 50-100% більше, ніж електромобілі з літієвими батареями.

Великі автовиробники, такі як Toyota, Honda та BMW, вже виходять на ринок водневих паливних елементів.

За словами аналітика JPMorgan, Китай має намір серйозно просувати цей сегмент.

«Це подібна політика, реалізована близько десяти років тому, коли уряд почав виробляти електромобілі з літієвими батареями. І ми побачили, наскільки це було успішним», – сказала Елейн Ву.

Пекін заявив, що до 2025 року уряд хотів би, щоб 20% проданих автомобілів були на новій енергії. Конкуренція на внутрішньому ринку електромобілів дуже висока, і Tesla конкурує з такими місцевими гравцями, як Nio та Xpeng.

За словами Ву, з обіцянкою Китаю до 2060 року стати вуглецево-нейтральною державою, водень, ймовірно, займе значне місце у важкій промисловості як екологічно чисте джерело енергії.

«Для цього сектора важкої промисловості потрібна висока тепловмісткість, і тому відновлювані джерела енергії не є хорошим варіантом для палива важкого промислового сектора, на відміну від водню», – сказала вона.

Сьогодні Китай є світовим лідером із виробництва водню, і його частку припадає третина світового виробництва.

Рисунок 1.5 - Пересувна запрана станція ВЗС

Чи є майбутнє у водневих авто?

Машини, що працюють на водневому паливі, не виділяють у повітря вуглекислого газу, а отже, не шкодять навколишньому середовищу і не сприяють глобальному потеплінню.

Ця перевага – серйозна нагода для переходу на цей газ, але не єдина.

Є у водневих авто та інші плюси:

Безшумна робота. На відміну від ДВЗ, водневі двигуни практично не створюють шуму. Високий момент, що крутить, на самому початку руху. Причина – використання у конструкції таких автомобілів лише електричних двигунів. Великий робочий діапазон. 1 г водню дозволяє отримати втричі більше енергії порівняно з 1 г бензину.

Швидка заправка. Нові технології дозволяють залити бак із воднем швидше, ніж заряджатиметься будь-який електромобіль, і майже так само швидко, як заливається бензин.

Запас ходу до 500-600 км, що перевищує показники більшості електромобілів. Звичайно, з бензиновими авто ця цифра не зрівняється – але різниця не така велика. У багатьох машин, що працюють на бензині, дальність поїздки з повним баком не перевищує 800-900 км.

Серед серйозних мінусів відзначають, що водневе паливо поки що занадто дороге порівняно з електрикою.

Навіть якщо порівнювати його з бензином (ціна 1 км шляху майже однакова), варто приділити увагу високій вартості водневих автомобілів. Переплачуючи за електрокар, можна розраховувати на економію у майбутньому – переплата за машину з водневим двигуном не окупиться.

Серед інших мінусів водню варто відзначити його вибухонебезпечність, необхідність зберігання у спеціальних балонах, що зменшують внутрішній простір багажного відділення, та шкідливий вплив газу на металеві частини циліндропоршневої групи. Підсилюючи конструкцію автомобіля, виробники зроблять машини з водневими двигунами ще дорожчими. Ще один важливий момент, що впливає на поширеність автомобілів FCEV – нерозвинена інфраструктура заправок.

Проблему із заправками вже вирішують уряди різних країн – Китаю, Японії, Німеччини.

Так, у КНР до 2030 року планується встановити понад 1000 водневих станцій, кількість японських ВЗС перевищила сотню, німецьких – 50.

Інтерес до розвитку технології виявили такі відомі виробники як VW, GM, Daimler AG та BMW. Коли заправок буде більшим, водневий транспорт стане серійним, популярність FCEV може збільшитися.

1.2 Види накопичувачів енергії

У якості систем акумулювання і наступного виробництві енергії розглядаються різні типи накопичувачів, такі як: механічно-потенційні, накопичувачі водню, електрохімічні акумулятори, суперконденсатори й ін.

Одна з елементарних систем зберігання великого числа енергії є гідроакумулятори (рис. 1.6). Робота їх заснована на обертанні лопат турбіни потоком води, що стікається з верхнього в нижню ємність: частина потенційної

енергії потоку води переходить у кінетичну, а далі в електричну енергію. Продуктивністю такі систем обумовлені кількістю води та перепадом висот.

Рисунок 1.6–Гідроакумулятори [24]

« При надлишках електроенергії вода нагнітається у верхню ємність за допомогою насоса. Проте, у таких системах є ряд недоліків: поширення гідроакумуляторів обмежене кліматичними умовами, рельєфом місцевості, проблемою затоплення більших територій. Але деякі із цих недоліків можливо усунути, застосовуючи поршневий спосіб, коли циліндр-поршень вирізьблюється в масиві породи й під нього накачується вода під тиском. Коли поршень піднімається нагору гідротиском енергія запасається, а коли опускається, вода, що виштовхується поршнем обертає лопати турбін. Обсяг енергії, що запасається, залежить від маси й висоти підйому поршня. Мається на увазі, що ефективність може вирости до 86%» [24].

«Іноді використовують стиснене повітря для акумулювання енергії. Це відбувається таким чином, при надлишках електроенергії компресори набирають повітря під тиском у бак, а коли не вистачає електроенергії стиснене повітря, обертаючи газову турбіну, виробляє електроенергію. Тому що повітря видаваний на газову турбіну прохолоджується через розширення, то в такому випадку його потрібно підігрівати за рахунок спалювання природного газу» [24].

«Також існують накопичувачі теплової енергії, які доповнюють ці системи. Вони потрібні для того, що б виділяєме тепло при стиску повітря в компресорі накопичувалося в теплообмінниках, а так само для підігріву вихідного повітря перед турбіною»[24].

«Робота термодинамічних акумуляторів (рис.1.7) заснована на застосуванні теплового циклу робочої речовини, де відбувається перехід газу в рідину і назад. У таких систем існують свої переваги, так і свої недоліки. Перша перевага — це можливість глибокого розряду. Друге – висока енергоємність, ну й третє – незалежність від рельєфу місцевості й зовнішніх природних умов» [24].

До недоліків можна віднести нездатність тривалого зберігання енергії зрідженого газу через його теплообмін з навколишнім середовищем.

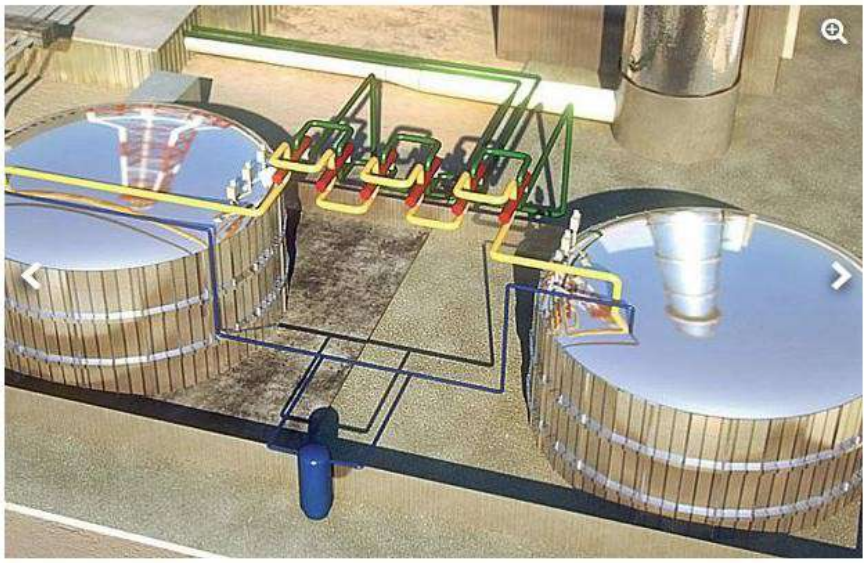


Рисунок 1.7–Термодинамічний акумулятор[24]

Ще одна із систем акумулювання — це кінетичний накопичувач (рис.1.8). Його робота заснована на перетворенні кінетичної енергії в електричну і назад. При заряді відбувається розкручування маховика до високої швидкості, а при розряді маховик обертає тільки генератора і переводить кінетичну енергію в електричну.

«Плюсом такої системи є те, що він здатний моментально розвити найвищу продуктивність, але зате вимагають більших капітальних вкладенні, тому що

маховик дуже дорогою. Такий маховик має найвищі міцністні дані, а також зменшений рівень втрат на тертя і на опір повітря. Ще однією перевагою є тривалість акумулювання енергії, але на жаль, це призводить ще більшим грошовим витратам через застосування надпровідників і необхідності забезпечення їх робочого режиму» [25].

Рисунок 1.8–Кінетичний накопичувач[7]

Одні з найбільш доступних і дешевих видів акумуляторів це свинцево-кислотні (рис. 1.9). Головним мінусом є невисока питома енергоємність, недовговічний, сприйнятливий до температури, наявність ефекту пам'яті.

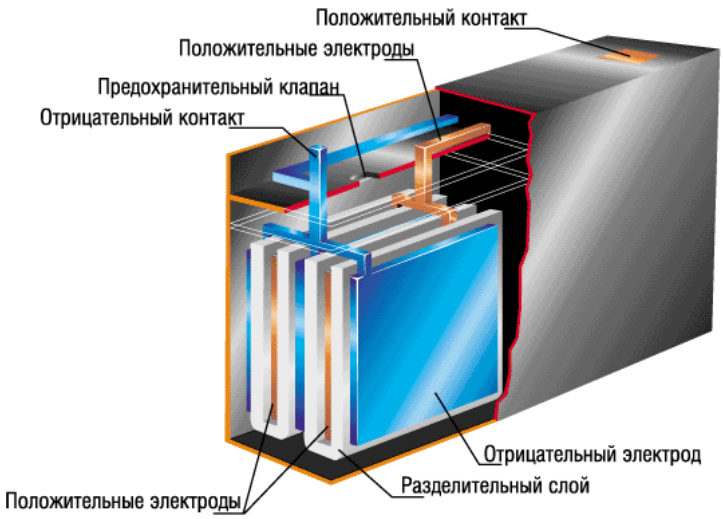


Рисунок 1.9–Свинцево-кислотний акумулятор[1]

Але є й змінені типи таких акумуляторів з полімерним або гелієвим електролітом. Вони вже більш довговічні й не вимагають обслуговування. Зараз подібні акумулятори залишаються популярними в області акумулювання електроенергії в невеликих енергетичних установках, так само із застосуванням поновлюваних джерел енергії.

Інший тип акумулятора це нікель-кадмієві (рисунок 1.10). Одним з переваг такого типу акумулятора є його термін служби, який може досягати до 21-27 років. Так само він може працювати при знижених температурах.

Рисунок 1.10–Нікель-кадмієвий акумулятор[24]

Але є й мінуси – присутність «ефекту памяті», отже, необхідний повний розряд батареї і далі потрібно зберегти характеристики.

« Так само існує нікель-металогідридний акумулятор. З позитивних сторін такого акумулятора це високі струми заряду і розряду, ємність, стабільна напруга. Ще одним плюсом є можливість тривалих робіт з невисоким енергоспоживанням, здатність до струмовітдачі, невеликий опір. До мінусів такого типу можна віднести, то що в нього невеликий ресурс і високий саморозряд» [24].

Наступний тип – натрій-сірчаний акумулятор. Даний акумулятор працює в інтервалі 291–359ºС. Із кращих сторін цього акумулятора, те що він має велику питому енергію і потужністю, непоганою оборотністю й величезним ресурсом. Так само залучає своєю відносною дешевизною й доступністю натрію та сірки. Мінуси – губиться деяка частина енергії і висока робоча температура.

В останні роки стрімко розвивається і поширюється літійіоні акумулятори (рис. 1.11). Даний тип використовується в багатьох галузях на автомобілях з елетродвигуном, у переносних джерелах живлення, космічній і авіаційній техніці. Літійіоним акумуляторам властива більша енергоємність, глибокі цикли заряду - розряду, маленький «ефект пам'яті». Але на жаль такому типу властива– висока ціна.

Рисунок 1.11– Літійіоний акумулятор [10]

Інший тип акумуляторів — це редокс-акумулятори. «Даний накопичувач складається з резервуара хімічних сполук з різними ступенями окиснення, насоси для прокачування електроліту і електрохімічних гнізд. Робота базується на взаємодії окиснення реагенту і переходу електрона за допомогою зовнішнього ланцюга це відносно одному з електродів. В іншого ж електрода перенесена через іонообмінну мембрану протон відновляє реагент» [26].

У цих накопичувачів продуктивність обумовлюється числом електрохімічних гнізд, енергоємність числом розчину. «Перезарядження виконується через запуск процесу в протилежну сторону за допомогою подачі зовнішньої напруги, а можна просто поміняти розчин. Плюсом такого роду системи визначається більша ресурсна характеристика, надійність до високих струмів заряду-розряду, можливість розряду до 100% і зменшення питомої ціни при масштабуванні. Найважливішим мінусом цієї системи є недостатність концентрації солей ванадію в сірчаній кислоті, що знижує їхню енергоємність, і до того ж більша ціна акумулятора» [

«Маховикові накопичувачі (рис. 1.12) запасають кінетичну енергію при розгоні ротора, щоб віддати її в потрібний момент у вигляді електроенергії. У якості розгінного двигуна і засобу відбору електроенергії використовується звичайно вертикальний двигун-генератор. Цикл нагромадження енергії — хвилини» [15].

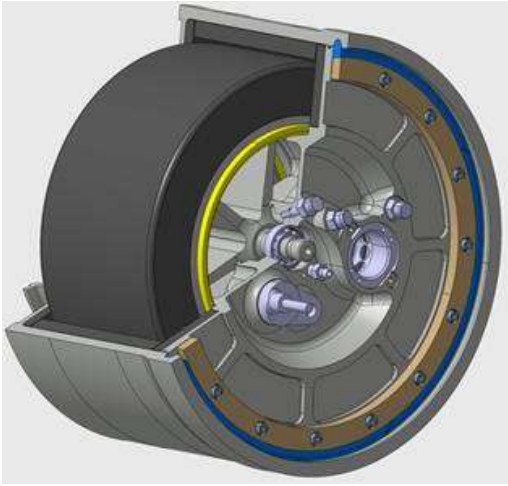


Рисунок 1.12 – Маховикові накопичувачі [8]

«Високошвидкісні маховики виготовляються зі зроблених композитних матеріалів з низькою масою і великою міцністю до відцентрових сил. Вони більш компактні в порівнянні з низькошвидкістними, маховик яких виконується з металу» [13].

«Недоліком кінетичних накопичувачів є більша потреба у відході, чим в акумуляторів» [13].

«Наступний тип накопичувачів це суперконденсатори (рис. 1.13). Якщо зіставляти з акумуляторами, то можна побачити ряд переваг. По-перше, висока питома продуктивність, пристойний ресурс і більша глибина розряду. Даний суперконденсатор має два пористі електрон-провідних електродів, поділеним електролітом сепаратором. З метою одержання найбільшої ємності слід забезпечити як можна більшу поверхню контакту електроліту з електронним провідником, отже, у провіднику використовуються нанопористі вуглецеві матеріали. Для того що б уникнути короткого замикання рідкий електроліт містять у пористий полімерний або азбестовий сепаратор» [24].

«Головний недолік суперконденсатора полягає в його вартості, у невисокій питомою ємністю і втрата його згодом, сильною залежністю ємності від температури і складністю нарощування ємності та продуктивності» [20].

Рисунок 1.13 – Суперконденсатор [9]

І нарешті останним видом накопичувачів енергії накопичувач водню, інформація з якого представлена в наступній главі.

Висновки:

У такий спосіб пошук альтернативних поновлюваних і екологічно чистих джерел, здатних забезпечити людство енергією на найближчі сотні років, є одним з безсумнівних пріоритетів сучасної науки. Цей пошук показує, що одним з найбільш ймовірних замінників органічного палива енергоносіїв для транспорту і енергетики в цілому є водень.

2 Перспективи використання водню в енергетиці

2.1 Одержання водню

В останні роки стає усе більш очевидним, що акцент на більш чисте паливо приведе до істотного використання водню. Водень - це хімічний елемент із символом H і атомним номером 1. При атомній вазі 1,00794 водень є найлегшим елементом у періодичній таблиці. Його одноатомна форма (H) є найпоширенішою хімічною речовиною у Всесвіті, на відміну від кисню, водень не знайдений як вільний у природі при будь-якій значній концентрації, що становить приблизно 75% усієї маси. Водень є першим елементом таблиці Менделєєва, що робить його найлегшим елементом на Землі. Оскільки газоподібний водень настільки легкий, він піднімається в атмосфері і тому рідко зустрічається в чистому виді, H_2.

Водень виробляється з використанням як поновлюваними, так і не поновлюваними ресурсами з різними технологічними рішеннями. Наявні технологія по одержанню водню - це реформування природного газу, газифікація вугілля і біомаси, розщеплення води електролізом води, фотоелектролізом, фотобіологічною продукцією, гідротермічним термохімічним циклом і високотемпературним розкладанням.

Основні способи одержання водню включають процеси електролізу води і природного газу. В усьому світі зростаючий попит на водень, наприклад, на водневі паливні елементи, зробив вирішальним для пошуку методів одержання водню з недорогих простих процесів, багато дослідників запропонували деякі інноваційні шляхи. Цікаво, що велика кількість методів включала гідрооксид натрію як основного інгредієнта. Використання гідроокису натрію для виробництва водню не ново і було застосовано навіть в XIX столітті[24].

2.2 Накопичувачі водню

Водневе паливо являє собою паливо з нульовим рівнем викидів, у якому використовуються електрохімічні елементи, згоряючи усередині двигуна, тим самим харчує транспортний засіб і електричні пристрої. Він також використовується у двигуні космічного корабля і може застосовуватися для пасажирських транспортних засобів і літаків.

Енергія водню сприятлива для навколишнього середовища. «Через екологічні проблеми актуальність експлуатації водню як універсального палива, а також створення систем резервування і акумулювання енергії є сучасної та актуальною. Тому, що подібні системи необхідні для збільшення ефективності використання класичних і поновлюваних джерел електроенергії, з метою споживання енергії, зниження екологічного навантаження на природу. Крім того, існує великий попит на системи додаткового електроживлення для, комп'ютерної обробки даних, транспортної інфраструктури, для керування роботою і забезпечення безпеки автономних і інших об'єктів електроспоживання» [24].

«Накопичувачі водню (рис. 2.1) використовують одержуваний електролізом води газ, який запасається в ємностях і потім використовується в якості пального для паливних елементів або газових турбін» [24].

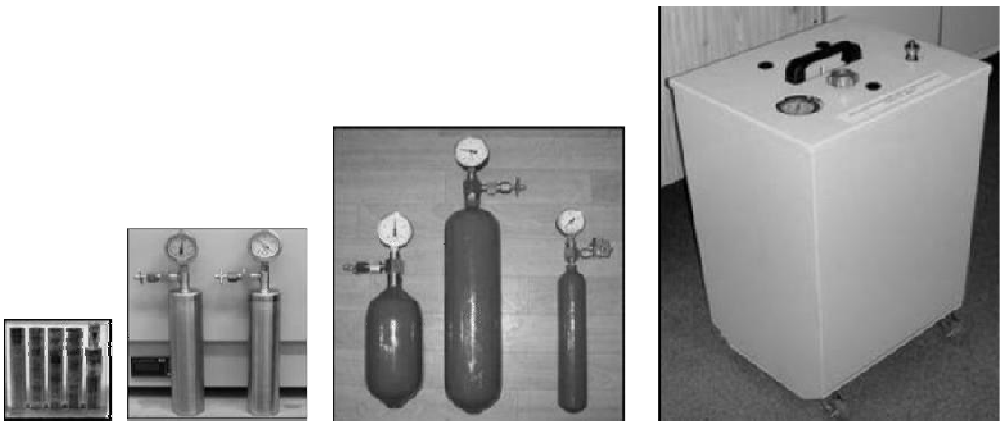


Рисунок 2.1 – Накопичувачі водню[6]

«Запасання водню може проводитися в баках, підземних сховищах, у рідкому (криогенному) вигляді, у гідридних пористих матеріалах. Найпоширеніше в цей час запасання водню у вигляді стисненого газу. Одна з головних проблем водневого нагромадження енергії в балонах це малогабаритність і безпека системи оборотного зберігання водню в умовах навколишнього середовища» [24].

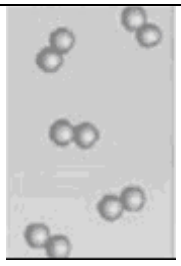
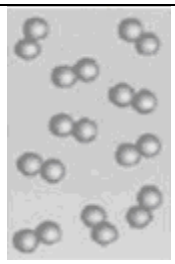
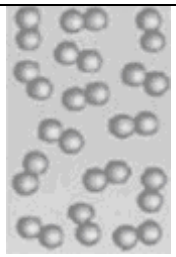
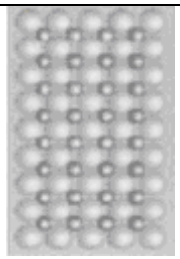
Тому із числа більш перспективних способів зберігання енергії виділяється металогідридний накопичувач водню (рис. 2.2).

Рисунок 2.2–Металогідридний накопичувач водню[4]

2.3 Металогідридний накопичувач водню

«Цей спосіб зберігання заснований на оборотній реакції взаємодії з воднем металів, інтерметалічних з'єднань, сплавів і композиційних матеріалів. Перевага даного способу зберігання водню над іншими представлено в таблиці 2.1» [26].

Таблиця 2.1–Різні способи зберігання водню

	Стан водню				
	Газоподібний водень			Рідкий водень	Водень в гідриді
Тиск, (атм)	1	350	700	1	1
Температура, (К)	300	300	300	20	300
Відстань, (мкм)	3,3	0,54	0,45	0,36	0,21
Концентрація атомів (ат/см^3)	$5,6\times10^{19}$	$1,3\times10^{22}$	$2,3\times10^{22}$	$4,2\times10^{22}$	$10,7\times10^{22}$
Схема розташування молекул					

Інтерес до цієї системи обумовлене високої водневоюємкістю. У посудині, заповненій металогідридом, можна зберігати водень в 2-3 рази більше чим, якби цю же ємність заповнити рідким воднем. Спосіб зберігання водню в металогідридах вигідно відрізняється від газобалонного і криогенного. «Металогідридних накопичувачів водню обумовлені своєї малої габаритністю внаслідок великого об'ємного змісту водню, безпекою через хімічно зв'язаний водень, малий тиск гідридоутворювача, помірними вимогами по обслуговуванню, внаслідок своєї нескладної конструкції і немає витоків водню через низькі тиски» [24].

Металогідридний накопичувач водню можуть використовувати як для безпечного і компактного зберігання водню, так і для рішення деяких інших завдань, перерахованих нижче. Очищення водню – видалення з водню до одиниць ppm домішок.

Відділення водню – виділення водню із суміші, що містить від 1 до 90% не водневих атомів і молекул.

Поділ ізотопів – протія, дейтерію і тритію.

Компремування водню – водень сорбується при низькій температурі, а десорбується при більш високій температурі, створюючи високий тиск.

Акумулювання тепла – процес заснований на використанні теплового ефекту реакції гідрування/дегідрування для поглинання або виділення тепла.

Робота металогідридного накопичувача заснована на оборотній реакції гідрування різних металів, інтерметалічних з'єднань, сплавів і композиційних матеріалів.

« До гідності металогідридного накопичувача водню можна віднести високий об'ємний зміст водню, широкий інтервал робочих тисків і температур, сталість тиску при гідруванні і дегідруванні, регулюємість тиску і швидкості виділення водню зміною температури. Інші плюси металогідридних накопичувачів водню те, що вони нескладні по конструкції, досить надійні і безпечні при експлуатації, мають невисокої ймовірності витоків водню через свій низький тиск, безшумні і компактний»[24].

«Подібні системи можуть заправлятися воднем прямо від електрохімічного генератора водню, а водень, що виділяється, безпосередньо використовується для живлення паливних елементів» [15].

2.4 Паливні елементи

Паливний елемент (рис. 2.3) – це хімічне джерело струму (ХДС), у якому електрична енергія утворюється в результаті хімічної реакції між відновлювачем

і окиснювачем, що безупинно і роздільно надходять до електродів ПЕ ззовні. Продукти реакції безупинно виводяться з паливного елемента.

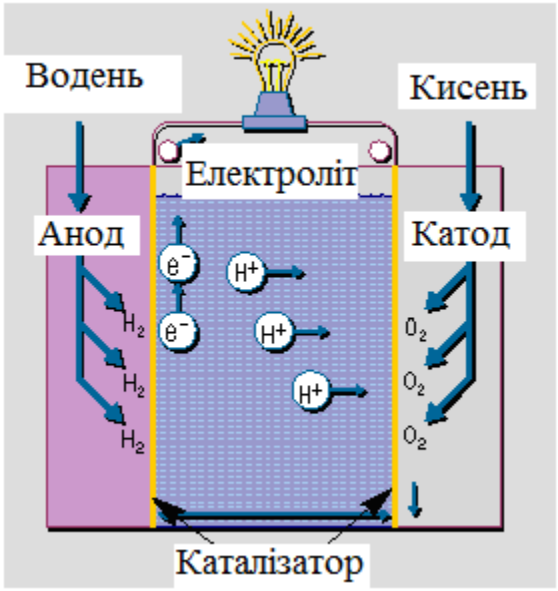


Рисунок 2.3–Паливний елемент[6]

Хімічні реакції в паливному елементі застосовуються на спеціальних пористих електронопроводячих електродах, розділених іонпроводячим електролітом (концентрованим розчином лугу). У розглянутому прикладі водень окислюється на аноді, кисень відновлюється на катоді[25]:

$$2H_2 + 4OH^- - 4e^- \rightarrow 4H_2O; \quad (1)$$

$$O_2 + 2H_2O - 4e^- \rightarrow 4OH^- \quad (2)$$

Гідроксидоіони ВІН–переміщаються в електроліті від катода до анода, у свою чергу електрони е– у зовнішньому ланцюзі – від анода до катода. Підсумовуючись рівняння реакцій (1) і (2), одержимо рівняння струмоутворюючої реакції:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O \qquad (3)$$

Тому, у результаті протікання просторово розділених напівреакцій (1) і (2) у зовнішньому ланцюзі виникає постійний електричний струм, тобто відбувається пряме перетворення хімічної енергії реакції (3) в електроенергію [25].

Електрохімічну систему гнізда ПЕ, у якому протікає бруто- реакція (3), можна записати в такий спосіб:

$$(–)\ (Pt)\ H_2 \mid KOH \mid O_2\ (Pt)\ (+), \qquad (4)$$

або в загальному вигляді:

(–) (каталізатор) відновлював |електроліт | окиснювач (каталізатор) (+)

анод катод

Напруга ланцюга в електрохімічній системі дорівнює Е = Ек – Еа, де Ек і Еа – електродні потенціали катода і анода відповідно.

Їхні значення можуть бути розраховані по рівнянню Нернста. Наприклад, для кисневий-кисневого-воднево-кисневого ПЕ з лужним електролітом:

$$E_к = E^0_{O_2/OH^-} + 2,3\frac{RT}{4F}\lg\frac{p_{O_2}a^2_{H_2O}}{a^4_{OH^-}}, \qquad (5)$$

$$E_а = 2,3\frac{RT}{4F}\lg\frac{a^4_{H_2O}}{p^2_{H_2}a^4_{OH^-}}, \qquad (6)$$

$$E = E^0_{O_2/OH^-} + 2,3\frac{RT}{4F}\lg\frac{p_{O_2}p^2_{H_2}}{a^2_{H_2O}}. \qquad (7)$$

При одиничних парціальних тисках рі і активностях аі реагентів напруга ланцюгу ухвалює максимальне значення, у даному прикладі рівне стандартному електродному потенціалу кисневого електрода в лужнім середовищі (0,401 В) [26].

У паливних елементах застосовуються електроди, що не витрачаються, такі як відновлювач і окиснювач. Вони надходять під час роботи, а не закладаються завчасно, як наприклад у гальванічному елементі або акумуляторі. Через цей ПЕ працюють тривалий час (близько 10-и тис. годин). Так само ПЕ конвертує хімічну енергію в електронну доти, поки в нього надходять реагенти. До того ж, матеріал з якого зроблено провідник впливає на властивості речовини, суттєво прискорюючи парціальні реакції на аноді і катоді.

Прикладом, у гальванічному елементі Лекланше (рис. 2.4) відновлювачем вважається металевий цинк, окиснювачем – оксид марганцю (IV), а в якості електроліту виступає водяний розчин, що має (в основному) хлориди амонію і цинку.

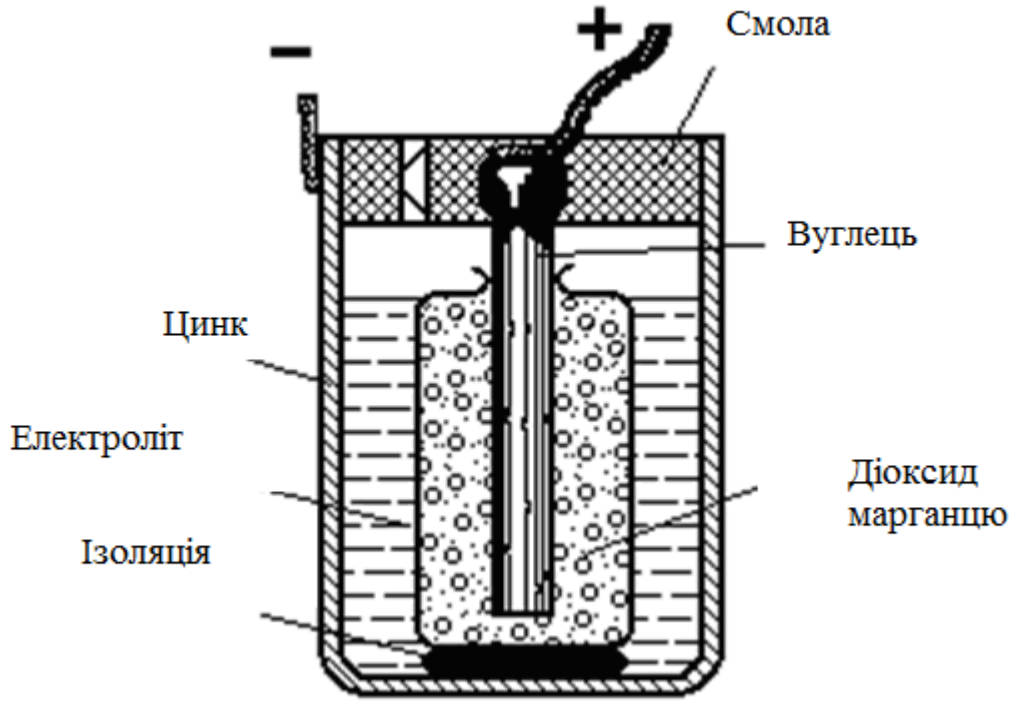


Рисунок 2.4 – Гальванічний елемент Лекланше[8]

Хімічну систему гнізда такої сольової речовини записують так [8]:

$$(-)\ Zn \mid \begin{matrix} NH_4Cl \\ ZnCl_2 \end{matrix} \mid MnO_2\ (+) \qquad (8)$$

Після того як відбувається розрядка елемента, активні речовини анода і катода витрачаються. Якщо гальванічний елемент повністю вирядженій, то до наступної роботи непридатний [25].

Відновити працездатність акумуляторів можливо за допомогою заряду. При заряді продукти розряду перетворяться в первісні реагенти. Так, у свинцевому акумуляторі

$$(-)Pb \mid H_2SO_4 \mid PbO_2(+) \qquad (9)$$

Струмоутворююча реакція:

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \underset{\text{заряд}}{\overset{\text{разряд}}{\rightleftarrows}} 2PbSO_4 + 2H_2O \qquad (10)$$

При заряді речовини відбувається оборотний процес, а акумулятор не робить, а використовує електронну енергію [25].

Додатковим плюсом ПЕ вважається маленька витрата використовуваних матеріалів у порівнянні із класичними хімічними системами. Зрештою, при роботі ПЕ виключаються малоефективні енергії, що йдуть із величезними втратами, процеси горіння і не трапляється утворенню екологічно шкідливих продуктів окиснення[25].

2.5 Енергоефективність паливного елемента

В енергоблоках теплових електростанцій енергія згоряння палива перетворюється спочатку в теплову енергію, потім у механічну і тільки потім в електричну енергію (рис. 2.5).

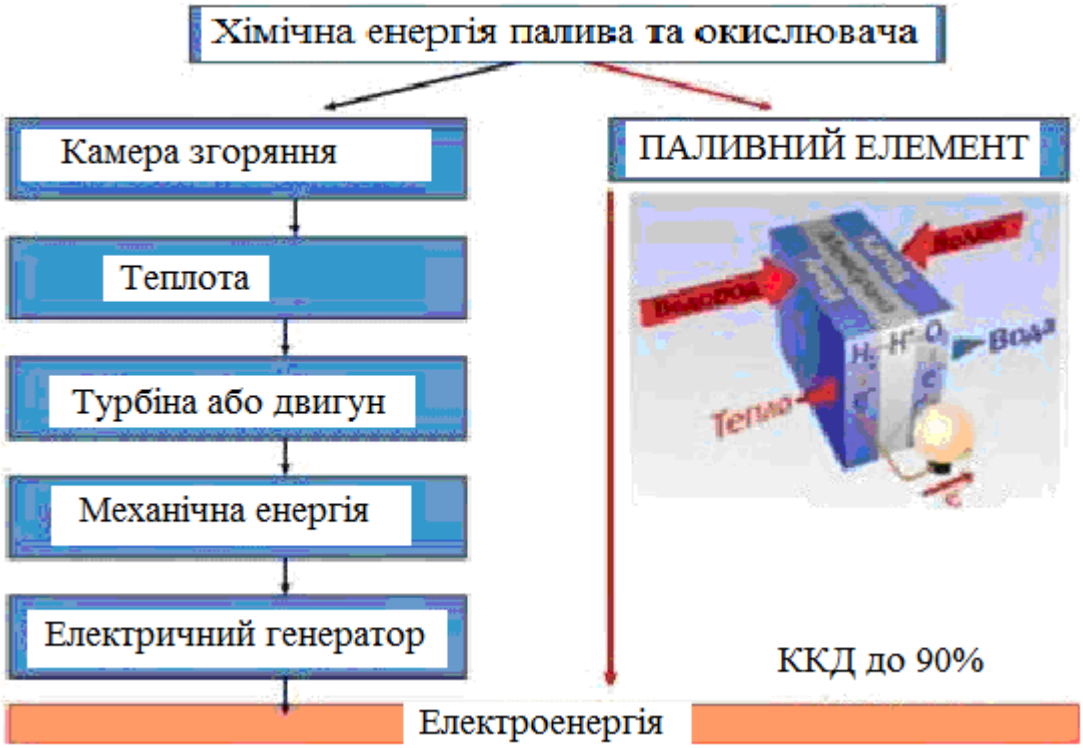


Рисунок 2.5 – Перетворення хімічної енергії[25]

ККД такого багатоступінчастого перетворення не більш 20–45 % [25].

У паливному елементі енергія хімічної реакції відновлювача («палива») з окиснювачем перетвориться в електричну енергію прямо, тобто без утворення інших видів енергії. При цьому можна принципово досягти високих значень ККД [26].

Максимальна корисна робота, яка може бути зроблена в ХІТ, дорівнює збитку енергії Гіббса (– G) у струмоутворюючої реакції. В енергетичних розрахунках максимальний ККД являє собою відношення цієї роботи до збитку ентальпії при згорянні палива (– H) [25]:

$$\eta_{\text{макс}} = \frac{-\Delta G}{-\Delta H} \qquad (11)$$

З урахуванням рівняння Гіббса-Гельмгольца одержимо:

$$\eta_{\text{макс}} = 1 - T\frac{\Delta S}{\Delta H} \qquad (12)$$

Енергії електрохімічним шляхом можна одержати як більше, так і менше, усе залежить від знака при S, чим це відповідає тепловому ефекту реакції окиснення палива. Якщо врахувати, що при горінні H < 0, то при S > 0 значення макс> 1. Це говорить про те, що при ізотермічній і оборотній роботі ХІТ в електричну енергію перетворюється не тільки хімічна енергія (– H), але й вступник з навколишнього середовища тепло в кількості Q = T S, а тому ККД такого джерела струму перевищить 100 % [25].

Знак зміни ентропії орієнтується балансом перетворення газів, що які беруть участь у струмоутворюючої реакції. Наприклад, у реакції (3) рідкої води, що протікає з утворенням, кількість моль зменшується з 3 до 0, і S < 0. Для реакції C + 1/2 O2(г) = CO(г)кількість моль газів, навпаки, збільшується з 0,5 до 1, тому S > 0 і макс > 1 [25].

Насправді ККД паливних елементів не перевищує 65%, але зате, що виділяються тепло при роботі ПЕ можна використовувати для генерації додаткової електричної енергії за допомогою парових або газових турбін.

Основними електричними характеристиками паливного елемента представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2- Основні електричні характеристики ПЕ

- електрорушійна сила E;
- внутрішній електричний опір R;
- електрична потужність P;

- електричний коефіцієнт корисної дії ή

ЕДС являє собою відношення повної роботи, чиненої джерелом струму при переміщенні одиничного заряду по замкненім електричнім колу, до величини цього заряду[25].

Повна електрична потужність джерела :

$$P_{\text{макс}} = EI \qquad (13)$$

Ця потужність виділяється на опорі навантаження і на внутрішньому опорі елемента в такий спосіб. Потужність, що розсіюється на опорі навантаження буде рівна [25]:

$$P_{\text{нагр}} = UI = \frac{U^2}{R} = I^2R \qquad (14)$$

Електрична потужність, що розсіюється на внутрішньому опорі елемента (потужність втрат у ланцюзі) буде рівна [25]:

$$P_{\text{потерь}} = (\text{E} - U)I = \frac{(E-U)^2}{r} = I^2R \qquad (15)$$

У вищеописаній інтерпретації потужностей електричний ККД системи, мабуть, буде рівний [25]:

$$\eta = \frac{\text{P}_{\text{нагр}}}{\text{P}_{\text{полн}}} = \frac{U}{E} = \frac{R}{R+r} \qquad (16)$$

Відношення U/E звичайно називається ККД по напрузі.

2.6 Відновлювачі для паливних елементів

Для того що б вибрати відновлювач для ПЕ, потрібно врахувати ряд факторів. Такі як: екологічні норми, вартість, хімічна активність, доступність, а найголовніше можливістю простого підведення й відводу реагентів у паливний елемент. Нинішня розробка паливних елементів обумовлена в основному використанням газоподібних і рідких палив. При цьому із прийнятної (досить високої) швидкістю в ПЕ може окиснитися тільки водень, у спеціальних видах ПЕ – оксид вуглецю (II) і метанол[25].

У природі водень зустрічається тільки в різних з'єднаннях, одна з які є вода. Можна було б одержувати водень за допомогою електролізу води, але даний метод дуже енергоємний. Тому в більших обсягах виробництва водню застосовується більш дешевий метод переробки природного газу, основним компонентом якого є метан CH4. При його реакції з гарячими водяними парами утворюється синтез- газ:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 \qquad (17)$$

Більше того, у водень і інші гази заздалегідь конвертуються інші природні види палива, а також метанол, наприклад, по реакціях:

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2 \qquad (18)$$

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 \qquad (19)$$

$$CH_3OH + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 \qquad (20)$$

Речовини, отримані методом конверсії, подаються в ПЕ, але після того як буде проведено очищення і поділ. Застосовуючи дану технологію вартість водню

складе в 4–5 раз вище, ніж у бензину. Так само, одержання водню за допомогою даних технологій знижує екологічні норми через утвірення вигарного газу. І тому не можна буде затверджувати, що водень це чисте паливо[25].

Далі в таблиці 2.3 наведені класифікації паливних елементів відповідно до діапазону робочих температур.

Таблиця 2.3 – Класифікації паливних елементів відповідно до робочої температури

Низькотемпературні паливні елементи	Високотемпературні паливні елементи	Середньотемпературні паливні елементи
твердо полімерні паливні елементи (ТППЕ)	розплавкарбонатні (РКПЕ)	фосфонокислотні (ФКПЕ)
лужнопаливні елементи (ЛПЕ)	твердо оксидні (ТОПЕ)	

Струмоутворюючі елементи в ПЕ не закладаються попередньо при виробництві електродів, а підводять у міру витрачання, це і є одним з головних відмінності паливних елементів від акумуляторів [25].

Методика паливного елемента дає можливість здійснювати системи електроживлення різного масштабу - потужністю з 1-го Вата аж до Мегаватів [25].

«Сфера ПЕ містить у собі важливі області інфраструктури, такі як: зберігання й розподілу палива для ПЕ. Формування даного розділу відбите в цьому документі. Заплановані можливості розвитку галузі на найближчі роки (3 – 5 років) для основних секторів застосування ПЕ»[24].

« На відміну від ДВЗ або акумулятора, паливні елементи вдало впроваджуються на цілому ряді ринків, де зізнаються безсумнівні переваги ПЕ.

Поставки ПЕ продовжують збільшуватися, показуючи щорічне подвоєння кількості систем, що поставляються. Триває ріст обсягу замовлень на системи ПЕ у всіх секторах. Більшість фахівців дають оцінки росту щорічного числа замовлень на 40–55%» [24].

Так само продовжує лідирувати в галузі ПЕ стаціонарний сектор, з великої одиничної потужності кожної одиниці устаткування. Щонайнайближчі роки очікується стійкий ріст на 40% у рік.

«Загальна азіатська область теж переважає у впровадженні технології ПЕ протягом останніх 5 років. Очікуються поставки в цей регіон на рівні 60%. По потужності систем, що поставляються, домінування не так велике завдяки зростаючому ринку більших стаціонарних систем у Північній Америці» [24].

Найпоширенішим типом по кількості, що поставляються устаткування у світі ПЕ є протонно-обмінна. Це обумовлена тим, що даний тип ПЕ однаково придатна для систем малого й великого масштабу.

Зросли застосування ПЕ і в області автомобілебудування. Тому що були укладені партнерські угоди високого рівня. Тим самим піднімаючи інтерес до технології ПЕ і у розвитку водневої енергетики в цілому[25].

Промисловість ПЕ продовжує підсилюватися, просуваючись від науково-технічних проектів до повномасштабної комерційної області.

« Так само одним зі значних впливів на ріст у сегменті ПЕ виявляє ще один напрямок – сектор CPE (систем резервного й автономного енергопостачання на ПЕ). Дані системи широко використовуються практично у всіх областях, де забезпечення безперервного електропостачання є обов'язковою умовою нормального функціонування»[22]. «Це системи зв'язку, і особливо, устаткування операторів мобільному зв'язку. До цього класу ставляться також «устаткування й системи для критичних додатків»: медичні системи життєзабезпечення, системи урядового та відомчого зв'язку, системи керування наземним і повітряним транспортом і т.п»[24].

«Очевидні переваги реалізації систем CPE на паливних елементах у порівнянні із класичними системами на акумуляторах і дизель-генераторах залучають усе більше увагу до систем резервного живлення на ПЕ. Оператори зв'язку в усьому світі проводять практичну роботу з переходу систем резервування живлення у своїх мережах на паливні елементи» [26].

2.7 Системи резервного енергопостачання

«Використання паливних елементів як резервних систем електроживлення на ринку телекомунікацій одержало поширення завдяки Recovery Act від 2009 року Уряду США» [13]. «Ballard Power Systems Ballard повідомляє, що замовлення на її систему Electragen™ з Азії та Африки залишаються на стабільно високому рівні — по 100–200 одиниць на місяць. Зараз Ballard пропонує обоє типу ПЕ для систем резервного живлення (на водні та на метанолі) після придбання частини бізнесу в Idatech. Системи на метанолі показали особливу популярність і за дев'ять місяців з моменту придбання цієї технології Ballard поставила більш 500 таких систем» [24].

«Ураган Сенді пройшов по східнім узбережжю США в жовтні 2012 року з більшим руйнівним ефектом, але протягом цього часу вежі стільниковому зв'язка, що одержують живлення від систем на ПЕ» [5].«Сохраняли працездатність і на тривалий період забезпечили зв'язком абонентів у Нью-Йорку, Нью-Джерсі та Коннектикуті» [6]. «Altergy має більш 60 систем на ПЕ, установлених у зоні катастрофи, і вони нормально працювали під час шторму і безпосередньо після шторму» [5].

«Азія, і зокрема Китай, являє собою величезний ринок для ПЕ технологій у зв'язку з експонентним ростом мобільних телефонів. Тут представлений цілий ряд компаній, включаючи VN Technologies, Relion, Futuree і Ballard, які залучені в реалізацію пілотних проектів для основних провайдерів телекомунікаційних послуг» [6]. «Пілотні проекти в США, зрештою, приводять до численних

замовлень устаткування, і є надія, щось же саме відбудеться і у Китаї, батьківщині двох із трьох найбільших мобільних операторів у світі: China Mobile і China Telecom. Обоє випробовують у себе системи на ПЕ» [7].

2.8 Воднева система енергозабезпечення

Воднева система енергозабезпечення (рис.2.6) містить у собі поновлювані джерела енергії, наприклад сонячну батарею, яка буде служити тільки для запуску електролізера. Генератор водню, тобто електролізер генерує водень. «Далі водень надходить у ємність для зберігання водню, у нашому випадку металогідридний накопичувач водню. Наступним елементом даної системи є паливний елементи, що перетворять хімічну енергію окиснення водню в електричну. Паливні елементи роблять електричну енергію доти, поки на анод подається водень, а на катод – повітря. Енергоємність такої системи забезпечується обсягом запасеного водню, а потужність – кількістю паливних елементів у батареї» [24].

Рисунок 2.6 – Технологія водневого нагромадження енергії[5]

Далі в таблиці 3 представлені переваги водневих систем.

Таблиця 3 – Переваги водневих систем

- можливість підвищення потужності і енергоємності шляхом

збільшення кількості стандартних модулів;
- високий ККД (більше 50%);
- тривалість зберігання запасів енергії;
- висока енергоємність (більше 150 Вт* годин/кг)
- незалежність енергоємності від температури;
- простота регламентного обслуговування.

Так само до переваг такої системи можна віднести, то що не приносить шкоди навколишньому середовищу, видає мало шуму.

Дослідження різних технологій нагромадження енергії показує, що водневі системи мають значні переваги, які представлено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Порівняння електрохімічних і водневих систем резервування і акумулювання енергії

Показник	Електрохімічні батареї	Дизельний генератор	Воднева система
Ефективність ККД	70%	35%	55%
Середній термін використання	4 роки	7 років	15 років
Обслуговування	Періодичне: заміна батарей кожні 5-7 років	Періодичне: заміна мастила, фільтрів, палива	Заміна повітряного фільтра кожні 2 роки
Клімат	Необхідне підігрівання в взимку та охолодження літом	Не потребує підтримання клімату	Не потребує підтримання клімату
Шумність	Відсутня	Висока	Відсутня

Вихлоп	Відсутній	Продукти згоряння палива	Відсутній
Цикл роботи	Хімічна енергія → електроенергія	Хімічна енергія → механічна енергія → електроенергія	Хімічна енергія → електроенергія
Можливість тривалої роботи	Ні	Так	Так
Тривалість запуску	Швидко	0,2 – 2 хвилини	Швидко

«Тому можна зробити висновок, що використання водневого нагромадження електроенергії більш виграшно в системах, для яких властива більша енергоємність при невеликій потужності й обмеження за обсягом акумулювання. У системах з різними вимогами до нагромадження енергії можуть бути застосовані гібридні накопичувачі електричної енергії, що включають у себе комбінації різних технологій, обєднаних єдиною системою перетворення і керування (рис.2.7)»[24].

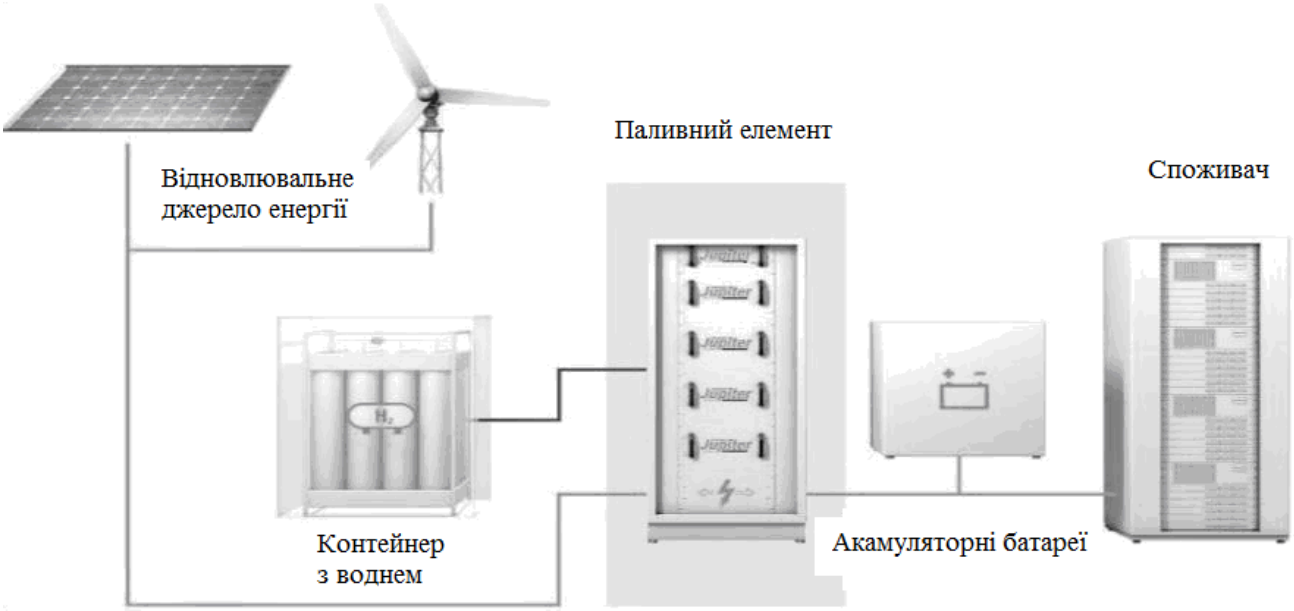


Рисунок 2.7 – Гібридна система акумулювання енергії[7]

2.9 Експериментальне дослідження одержання водню з використанням сонячної енергії

Водень є стійким варіантом палива і одним з можливих вирішень екологічних проблем. У цьому дослідженні водень одержують за допомогою генератора водню із протоно- обмінною мембраною (ПОМ) електролізера. Експериментальне дослідження проводиться в центрі розвитку поновлюваних джерел енергії в Алжирі.

Експериментальний пристрій містить: фотоелектричний модуль, електролізер ПОМ, газометр і пристрою для виміру характеристики електролізера ПОМ, а також два піранометри й дифузор. Ця система дозволила з однієї сторони виміряти й проаналізувати характеристику електролізера ПОМ при різних тисках (Patm і p = 3 бар), а з іншого сторони, дозволила вивчити обсяг водню в різних джерелах електроенергії (генератор, фотоелектричний модуль, лампа денного світла). ККД для кожного випадку обчислювалася та рівнялася. У даній статті представлені значення зміни швидкості потоку водню, залежно від часу доби, експеримент проводився в серпні в денний час доби.

Водень розглядається як енергоносій майбутнього. Він може бути отриманий різними способами, у тому числі з використанням сонячної енергії, а так само за допомогою сонячної теплової енергії. Сонячна енергія може бути використана в електролізері, щоб розкласти дистильовану воду на водень і кисень. Автономні системи електролізера служать для виробництва водневого палива. Це система складається з фотоелектричного модуля, який поставляє електрика через систему електролізера, як показано у великих проектах у Каліфорнії, Німеччині й Саудівської Аравії.

Електроліз води вважається одним із ключових технологій для одержання водню, тому що вона сумісна з існуючими й майбутніми технологіями виробництва електроенергії і великої кількості поновлюваних технологій (сонячна енергія, біомаса, гідроенергія, вітер, припливи та відливи, і т.д.). У цей час більшість комерційних технологій електролізу води використовують кислотні або лужні системи електроліту для одержання водню. Типова ефективність зазначено в діапазоні 55-74% з більшістю комерційних систем, що мають ККД нижче 65%. Щільність струму звичайно становить близько 0,3-0,4 А/мм2 і виникають технічні труднощі в підтримці електролітного балансу, а так само в підтримці водню і кисню. У цей час технологія електролізу води на основі полімерної мембрани електроліту перебуває в розробці. Система електролізу ПОМ можуть швидко реагувати на зміни енерговитрат і, отже, може бути легко інтегрована із системами використання поновлюваних джерел енергії. ПОМ працює при відносно низьких температурах, як правило, при температурі 80 ° С або нижче, і, як правило, складається із численних гнізд, складених послідовно. Гийом Дусе і інші вивчали загальні характеристики інтегрованої і автоматизованої силової установки водню (ВСУ).

Система складається з фотоелектричного модуля 0,46 Вт (PV), а електролізер 0,64 W містить у собі: протонообміну мембрану, генератор зі змінною напругою, флуоресцентну лампу 1000 Вт, дві посудини з ємністю 250 мл

і пристрою характеристику, що знімає, електролізера ПОМ, а також два піранометри.

Основна частина блоку ПОМ являє собою мембранний електродний блок. Шар матеріалу каталізатора був застосований по обом сторонам тонкої протоно провідної мембрани (ПОМ = протонна обмінна мембрана). Ці два шари утворюють анод і катод електрохімічного гнізда. Як ми бачимо на рис. 3.1, на стороні анода утворюються газоподібний кисень, електрони та іони Н +. Іони Н + проходять через мембрану до катода і утворюють газоподібний водень із електронами, що протікають через зовнішній провідний контур. Таким чином, електрична енергія перетворюється в хімічну енергію, і зберігається у вигляді водню й кисню.

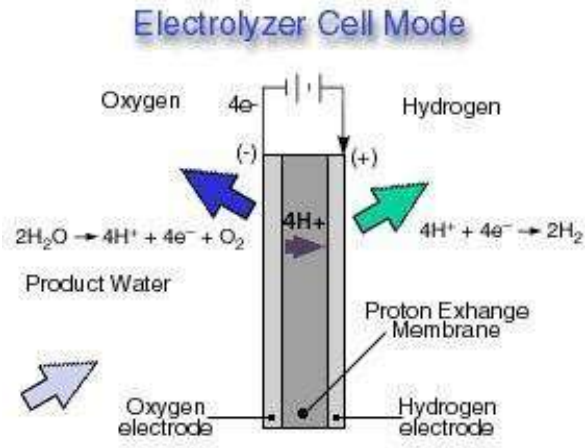


Рисунок 2.8 – Функціональний принцип електролізера ПОМ[13]

Oxygen– кисень; hydrogen– водень; product water–вода; proton exhange membrance – протонна мембрана;

Електролізер робить водень і кисень у співвідношенні 2:1 (рис. 2.8), обсяг водню, що виділяється, виміряється як функція від часу Т. Початок відліку часу відбувається коли вода в газометрі (Н2), проходить нижній знак. Далі виміряється напруга U і струм I під час електролізу.

Прооблений досвід у першу чергу повинен показати, як міняється характеристика електролізера ПОМ при різних тисках.

Експериментальна установка наведено на рис. 2.9.

Рисунок 2.9 – Лабораторна установка для одержання водню за допомогою електролізера, що працює від генератора[9]

Далі, ми визначаємо обсяг отриманого водню при різних джерелах енергії. Перший спосіб — це сонячна енергія. Другий спосіб складається з імітації сонячної енергії за допомогою лампи. Третій спосіб — це електролізер ПОМ генератора напруги.

Результати представлені в наступних пунктах. По-перше, електролізер ПОМ працював двома різними тисками (Patm і P = 3 бар). Потім обсяг водню робили з різними джерелами електроенергії (генератор, фотоелектричний модуль, лампа денного світла). Нарешті, ми обчислили ефективність для кожного випадку.

Продуктивність електролізера ПОМ для двох різних тиску, показано на рис.2.10.

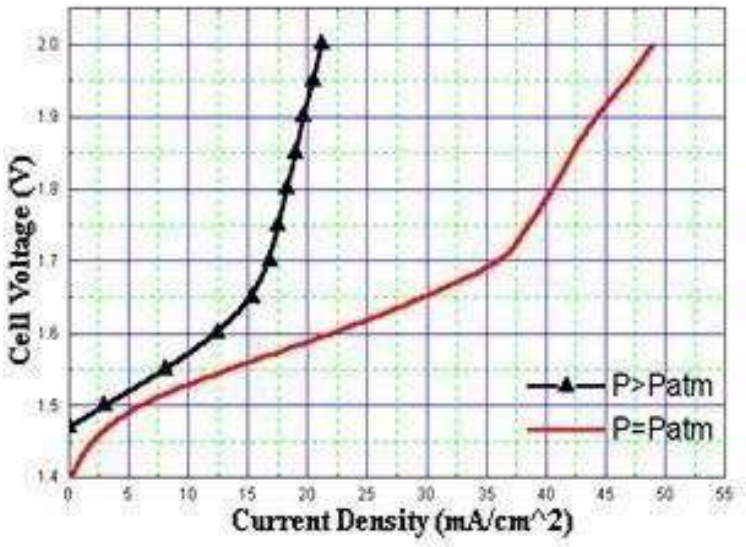


Рисунок 2.10 – Зміна напруги елемента і щільність струму як функція тиску[9]

На графіку видно, що тиск впливає на продуктивність електролізера ПОМ. Ефект збільшення тиску кисню від 3 бар приводить до підвищення напруги 0,06 В і струму. Ці результати показують, що збільшення тиску кисню приводить до значного поліпшення в поляризації на катоді.

Отримані висновки:

водень є чистим джерелом енергії. До того ж енергія необхідна для створення водню потрібно менше, чим можна вивести з нього.

зниження залежності від копалин і ядерних джерел енергії звільнить країну від дорогої іноземної участі і поліпшення здоров'я та добробуту його громадян. Це буде досягнуто за рахунок значного скорочення викидів парникових газів і кількості інших отрут, що ставляться до копалин і ядерним джерелам енергії в повітрі, землі та воді.

–сонячна енергія може служити джерелом живлення електролізера для одержання водню. Водень буде зберігатися в накопичувачах для запуску ТЕ, коли сонячної енергії буде не вистачати для забезпечення електрикою споживача

2.10 Розробка систем зберігання водню на основі складних гідридів металу

У цьому огляді описуються останні дослідження в області розробки резервуара на основі складних гідридів металу для термоліза та гідролізу. Комерційні застосування з використанням складних гідридів металу обмежені, особливо для систем на основі термоліза, де дотепер виконувалися тільки демонстраційні проекти. Системи на основі гідролізу знаходять своє застосування в космічні та військових галузях завдяки їхній сумісності з паливними гніздами із протонною мембраною.

Для термоліза були розроблені резервуари, що містять переважно алюмогідрид натрію, і кілька прикладів з нітридами. Для гідролізу кращим матеріалом є боргідрид натрію, у той час як аміак виявився менш ефективним. Утилізація відпрацьованого палива боргідрида натрію залишається важливою частиною їх комерційної життєздатності.

За останні 15 років комплексні гідриди алюмінію і бору були досліджені в якості можливих матеріалів для зберігання водню. Хоча склад цих матеріалів схожі, але хімічна поведінка досконала інше. Приклад деяких складних гідридів алюмінію (Naalh4, Kalh4, Na3Alh6 і т.д.). Ці гідриди можна розкладати при підвищених температурах, і при технічно значимих умовах з використанням каталізаторів, а також можна проводити повторне дегідрування. Однак температура розкладання комплексних гідридів бору (Libh4, Nabh4) часто набагато вище, і оборотність не може спостерігатися в умовах, використовуваних для складних гідридів алюмінію. Отже, складні гідриди алюмінію можуть бути використані для технічних застосувань, де важливою умовою є повторне дегідрування матеріалу для зберігання водню. А складні гідриди бору кращі для систем картриджів, які вивільняють водень у реакції гідролізу при температурі навколишнього середовища. Ці різні властивості призводять до зовсім різних

технічних вимог. Це робить розробку систем зберігання на основі алюмінієвих або боргідридних з'єднань складним завданням.

Термоліз вимагає введення тепла, і при проектуванні бака-накопичувача необхідно дотримувати обережності, щоб ефективно розподіляти тепло. З іншого боку, гідроліз вимагає не тільки ефективного змішання складного гідриду і води, але також поділу отриманого газоподібного водню і суспензії, що полягає із продукту розкладання й води. У той час як системи термолізних баків розробляються в демонстраційних проектах. Системи гідролізних накопичувачів уже знайшли застосування в реальних умовах.

2.11 Термоліз

Розробка резервуара для зберігання водню на основі гідридів містить у собі різні рівні дослідження. Перший рівень передбачає випробування матеріалів у лабораторних умовах. Як тільки відповідні матеріали були обрані, створюється методика оцінки. Методика ґрунтується на двох складових. Перше це моделювання повномасштабної системи, а друге –виготовлення дослідного зразка, щоб експериментально оцінити роботу матеріалу і перевірку результатів моделювання.

2.12 Дослідження та моделювання різних ємнісних систем термоліза

Харді С.Н. і Антон І.Н розробили ієрархічну методику завантаження водню з метою уточнення робочих параметрів. Їхня методологія складається із чотирьох підмоделей: перша модель це оцінка кінетики, друга модель оцінка геометрії, розроблена для уточнення шкали довжини в заданій геометрії резервуара; третя модель ковзного теплообміну, розроблена для розрахунку витрати й температури теплоносія, падіння тиску, коефіцієнтів теплоти конвекції й підвищення температури уздовж каналу охолодження; і четверта це двох і трьох мірна модель

кінцевих елементів, побудована з використанням раніше оптимізованих параметрів (від 1 до 3) у якості вхідних параметрів. Модель була використана для оцінки детальних характеристик для системи Naalh4, але може бути також адаптована для інших систем, якщо буде надана належна кінетична модель.

Пфайфер Р. і його колеги досліджували тепловий зв'язок між паливним елементом з високою температурою протонної обмінної мембрани (HT-PEM) і резервуаром алюмогідрида натрію (2 кг) з використанням імітаційних досліджень для визначення параметрів, що впливають на ефективність і на запуск під час виділення водню. У моделюванні використовувалася кінетична модель Гросса. Автори підкреслювали, що кінетика розкладання є граничним параметром ефективності клітки. Виявлена оптимальна робоча температура 185 ° С с потужністю паливного елемента 1 кВт. Мінімальна робоча температура була оцінена при 120 ° С із сумарним виходом 0,8 кВтч.

Бьюрі П. провів оптимізацію двох різних конфігурацій резервуарів, а саме систему оболонок, труб, гідридів і многотрубного реактора, обладнана ребрами. Ієрархічна методологія, розроблена Харді і Антоном, використовувалася з кінетичною моделлю UTRCTM. Ціль конфігурації полягало в оптимізації товщини ребер і кількість теплообмінників, як при завантаженні, так і при розвантаженні. Було показано, що товщина ребер не впливала на процес завантаження. Однак під час розряду швидкість і кількість виділення водню поліпшувалися за рахунок використання більш товстих ребер. Зрештою, це зменшило гравіметричну й об'ємну ємність. Вплив кількості, товщини й кліренсу ребер на поглинання водню оцінювали в конфігурації. Автори дійшли висновку, що збільшення кількості ребер і зменшення зазорів благотворно позначається на швидкості завантаження за рахунок водневої ємності. Оптимізована конфігурація (шість ребер, товщина 0,1 мм і зазор 0 мм) привела до поліпшення швидкості завантаження на 41%. Таким чином, оптимізація системи була заснована на компромісі між швидкістю завантаження й внеском ребер у загальну вагу.

Вплив експлуатаційних параметрів при заправленні водню в ємність із поздовжніми ребрами й охолодним теплообмінником було розглянуто Раджером і Кумаром. Геометрія бака була прийнята Хардіном і Антоном. Був виконаний аналіз чутливості для оцінки впливу початкової температури шару, тиску подачі, витрати охолодної рідини, температури охолодної рідини й теплопровідності. Кінетична модель була прийнята Лореном і Гроссом. Був обраний робочий тиск 15 МПа, щоб підтримувати оптимальну температуру 420 - 450 0С и витрата охолодної рідини 25 л/хв при температурі 380 0С. Найкраща конфігурація зажадала збільшення теплопровідності на 8 Вт · м-1 · К'1 за счет уплотнения с добавлением усилителя электропроводности (алюминия или графита).

Моделювання було виконано для багатотрубного резервуара з використанням кінетичної моделі Лозена. Вплив внутрішнього діаметра, ущільнення і додавання розширеного природного графіту (ENG) оцінювали відповідно до водневої ємності під час завантаження (тут у якості обмеження використовувалося 4,5 кг H2 за 10 хв). Оптимізована конфігурація для резервуара із внутрішнім діаметром 35 мм із ущільненим порошком і без добавки ENG була визначена при 10 МПа і 130°С. Ефект додавання графіту і конструкція теплообмінника були також вивчені Джонсоном. Моделювання проводилося з використанням першої кінетичної моделі, заснованої на експериментально певних параметрах.

В 2014 р. був розроблений порівняльний аналіз стійкості з використанням кінетичної моделі від Лозена. Автори оцінили, ґрунтуючись на рушійній силі для кожного під процесу (перенос водню, внутрішня кінетика й теплоперенос), опір у процесі сорбції водню. Автори підкреслювали, що перенос водню має незначний ефект (незалежно від розміру реактора), внутрішня кінетика відіграє вирішальну роль у невеликім гнізді (2 мм), а теплопередача є основним опором при поглинанні й збільшенні бака. Отже, у системі резервуарів, необхідне поліпшення теплопередачі.

Ренонд С. і інші далечіні всебічний огляд при додаванні різних компонентів у резервуар для металогідридного накопичувача. Більш висока щільність порошкоподібного матеріалу може поліпшити обмеження по теплопровідності і об'ємної ємності. Так само вони виявили, що ущільнення матеріалу є найбільш впливовим фактором для оптимізації водневої накопичувача. У їхніх роботах представлений короткий огляд систем зберігання водню, які були опубліковані на основі аланата натрію, амідів металів, борана і алана аміаку. Зусилля в області досліджень і розробок спрямовані на поліпшення об'ємної продуктивності, ефективності керування теплом і зниження загальної вартості систем.

2.13 Натрієві системи на основі ацетату натрію

Беллоста фон Колбі зі своїми колегами продемонстрували функціональність 8-кілограмового резервуара при абсорбції і десорбції з максимальним часом поглинання менш 10 хв.

Даний накопичувача одержав швидку швидкість зарядки воднем за рахунок додавання ацетату натрію. Це відкрило шлях для зберігання водню на базі комплексних гідридів, де джерело доступного тепла газів, що відробили, сполучимо з енергетичними потребами резервуара (особливо відносно рівня температури). Це особливо стосується великомасштабних і стаціонарних застосувань.

Уц А. і його колеги вивчали поведінку порошкоподібного шару, що містить Naalh4, у лабораторному резервуарі для зберігання водню.

Даний накопичувач (рис. 2.11) виготовлений з алюмінієвого сплаву для зменшення ваги, розроблена в ІЕЕН (Інститут енергетики й екології, Німеччина) і Інститут досліджень Макса Планка. Теплопередача здійснювалася через потік масла в байонетному теплообміннику, виготовленому методом екструзійного формування з алюмінієвого сплаву. Резервуар для зберігання водню обсягом 0,21 кг визволив і поглинув 3,6 г (1,7 мас.%) водню при температурі приблизно 450

^{0}C. Випробування з 45 циклами (гідрування і дегідрування) проводилося без яких-небудь збоїв у накопичувачі й у його компонентах. Робота резервуара в реальних умовах показала можливість застосування зі стаціонарними системами паливних елементів.

Рисунок 2.11 - Накопичувач водню [20]

2.14 Гідроліз

Випуск водню може також відбутися з– за впливи тепла за допомогою гідролізу реакцією з водою. Значна кількість робіт була інвестована в експериментальній перевірці системи гідролізу комплексних гідридів металу. Боргідрид натрію Nabh4, є одним із самих перевірених матеріалів для гідролізу. Nabh4 був вперше виявлений в 1940 році Шлезингером і Брауном, але робота була засекречена й не публікувалася до 1953 року. Nabh4 має зміст водню близько 10,8 % і є єдиним компонентом гідриду, яка дотепер застосовується.

2.15 Розробка резервуара для гідролізу на основі реактора

Експериментальні системи гідролізу засновані на двох різних конструкціях накопичувача. У накопичувачі періодичної дії змішуються два компоненти гідрид бору і каталізатор з водою. У проточному резервуарі, розчин гідрид бору передається через твердий шар каталізатора з наступним поділом отриманого водню і побічного продукту. Оскільки розчинність Nabh4 у лужних водяних розчинах значно вище, ніж для Nabo2, то в цих системах, концентрація розчину гідриду бору створює проблеми. Гідроліз реакція також може виникнути в результаті реакції між парою і твердим гідридом бору. Використання пари може зменшити кількість води, тим самим поліпшуючи загальне сховище енергії системи [20].

Висновки:

У такий спосіб переваги реалізації водневої системи на паливних елементах з металогідридним накопичувачем залучають усе більше увагу. Тому що цю систему з легкістю можна використовувати як у промисловому виробництві, так і для житлових будинків. Він безпечний для навколишнього середовища, не токсичний. Не несе ні найменшої погрози людині і тваринам. Водень без проблем транспортується і зберігається в металогідридному накопичувачі, не побоюючись за життя.

3 Порівняння класичних систем енергозабезпечення та водневої системи автономного енергозабезпечення малої потужності до 5 квт.

«Резервне енергозабезпечення (РЕ)– досить гарний спосіб забезпечити електрикою споживача. Однак містить у собі цілий ряд проблем, пов'язаних з роботою самих систем резервного електроживлення. Хоча й видно прогрес у реалізації окремих елементів резервного енергозабезпечення, але добитися істотного поліпшення експлуатаційних характеристик систем у цілому поки не вдається. Це зв'язане, зокрема, із практично незмінною структурою даних систем»[11].

« Із– за випадків масштабних відключень електроенергії в різних країнах модернізація резервного енергозабезпечення звелася тільки до нарощування часу автономної роботи шляхом збільшення ємності акумуляторів, що відповідає збільшення потужності дизельного генератора, відновлення систем керування і моніторингу» [11].

« У такий спосіб «нові» СРЕ успадкували всі структурні якості та недоліки умовно старих систем. СРЕ широко застосовуються практично у всіх сферах, де забезпечення безперервного електропостачання є обов'язковою умовою нормального функціонування. Це системи зв'язку, і особливо, устаткування операторів мобільному зв'язку» [11]. «До цього класу ставляться також устаткування і системи для критичних додатків: медичні системи життєзабезпечення, банківські розрахунково- інформаційні системи, системи урядового і відомчого зв'язку, системи керування наземним і повітряним транспортом і т.п» [12].

«Очевидні переваги реалізації водневої системи енергозабезпечення на паливних елементах у порівнянні з «класичними» системами на акумуляторах і дизельних генераторах залучають усе більше увагу» [11].

3.1 Структура існуючих систем резервного енергозабезпечення на базі акумулятора і дизельного генератора

« При всій різноманітності реалізацій функціональні елементи існуючих СРЕ залишаються незмінними: ІБП, що забезпечує перехід на резервне живлення від АКБ при неприпустимих змінах параметрів силової мережі (зміні напруги, зміни частоти, перевищенні припустимого рівня перешкод, короткочасні провалля напруги, тривале провалля напруги). Ключовим елементом ІБП є блок АКБ. Ємність АКБ визначає час автономної роботи від акумулятора»[11].

«ДГУ з автоматичним пуском. При розряді АКБ до встановленого рівня відбувається перемикання на живлення від ДГУ. При цьому, забезпечується живлення всіх споживачів і зарядка акумуляторів ІБП. Тривалість роботи ДГУ визначається запасом дизпалива»[11].

3.2 Недоліки існуючих СРЕ

«Ключовими елементами існуючих (найпоширеніших) СРЕ є АКБ і ДГУ» [10].

«Основними недоліками існуючих систем СРЕ (АКБ + ДГУ) є неоптимальні режими експлуатації як АКБ, так і ДГУ в складі цих систем. У результаті, як правило, відбувається профілактична заміна АКБ і/або ДГУ в СРЕ до реального виробітку ресурсу» [9].

«Ще одним недоліком АКБ є практична неможливість визначення реального терміну служби. Акумулятори починають «працювати» з моменту виготовлення. Для всіх типів акумуляторів виробники вказують «гарантований» термін служби. Разом із цим, цей строк забезпечується при дотриманні певних умов зберігання, транспортування і експлуатації» [10]. « При цих умовах зложилася практика превентивної заміни АКБ через 3-4 року для акумуляторів з паспортним терміном служби до 10-15 років. Така практика цілком виправдана

тому що в СРЕ акумулятори експлуатуються у вкрай «неоптимальному» режимі»[14]. «Відсутність природнього циклу заряд-розряд, неможливість забезпечити рекомендовані струми заряду-розряду, можливість порушення кліматичних умов експлуатації й т.п» [11].

« Серйозною проблемою для АКБ у СРЕ є повторне відключення живлення після розряду батареї і переході на живлення від ДГУ. (Для АКБ, розрахованої на роботу 4-8 годин час заряду становить 10-16 годин). У цьому випадку перемикання на виряджену батарею неможливо і відбувається перемикання на ДГУ. Повторення такого режиму приводить до перехідних процесів, які можуть стати причиною виходу з ладу елементів СРЕ» [11].

«Значна частина інстальованих СРЕ включають АКБ із оптимальним робочим температурним діапазоном (+18 - +23) °С. Це означає, що для підтримки такого температурного режиму необхідні додаткові витрати електроенергії для живлення кондиціонерів. У режимі живлення від АКБ – це означає, що частина своєї енергії батарея витрачає на забезпечення власного температурного режиму, а не на живлення устаткування» [11]. Проблеми ДГУ в складі СРЕ.

«Проектна потужність ДГУ в складі СРЕ значно перевищує номінальну потужність устаткування, тому що при перемиканні на ДГУ необхідно забезпечити і заряд АКБ, і живлення устаткування. При цьому практично не вдається експлуатувати агрегат в оптимальному діапазоні потужностей (50-70 % від номінальної потужності для більшості моделей ДГУ)» [8].

«ДГУ являє собою електромеханічну систему, що полягає в проведенні регулярних профілактичних робіт. Типова періодичність – раз у квартал. Це значить, що ДГУ – агрегат, що не обслуговується. У цьому випадку, не обслугуємість іншого устаткування на тій же майданчиках перестає бути істотною перевагою» [11].

«Єдина можливість переконається в працездатності ДГУ – це пробний пуск. На практиці це означає, що періодично витрачаються ресурси: механічний ресурс, паливо, ресурси обслуговуючого персоналу» [11].

«Виявлення проблем у роботі ДГУ може зажадати ремонту/заміни агрегату. Це означає, що на час проведення робіт з ремонту/заміні ДГУ СРЕ втрачає 100% своєї функціональність» [10].

«Додаткова проблема – для старту ДГУ необхідний свій власний акумулятор з усіма проблемами, що супроводжують режим експлуатації АКБ із тривалими перервами» [11].

3.3 СРЕ на базі водневої системи автономного енергозабезпечення.

«Система резервного електропостачання на ПЕ заміняє собою відразу два елементи традиційних систем таких як – акумулятора і дизельного генератора. Це підвищує загальну надійність системи і виключає несприятливі режими перемикання з АКБ на ДГУ і назад» [11].

« Для порівняння розглянемо систему на паливних елементах із протонно-обмінною мембраною (ТЭПМ). Вибір цього типу ПЕ заснований на пропрацьованості цієї технології й наявності на ринку комерційно доступних систем на базі таких паливних елементів» [11].

«Принцип дії системи – пряме перетворення хімічної енергії в електричну. Паливом для системи служить водень» [11].

3.4 Переваги водневої системи.

«Система починає виробляти електроенергію після вступу палива (водню). Час автономної роботи системи преродляється тільки запасами палива. Перемикання на живлення від резервної ПЕ системи при проваллі магістрального живлення відбувається миттєво»[11].

3.5 Оцінний аналіз класичних систем і водневої системи

Проведемо оцінний аналіз вартості і обслуговування за 10 років експлуатації класичних систем електроживлення потужністю до 5кВт (дизельний генератор, свинцево кислотний акумулятор) і водневу електростанцію з обліком того, що відсутнє енергопостачання будинку від зовнішньої ЛЕП (лінії електропередач).

Далі приведемо таблицю 3.1, у якій зазначено, скільки електроенергії споживають електричні прилади. Набір електроприладів, наведених у таблиці 5, відповідає кількості приладів для середньостатистичної родини з 3 людей.

Таблиці 3.1 – Споживання електроенергії електричними приладами

Електроприлад	Потужність, кВт	Кількість, шт.	Середньодобовий час роботи приладу, час/добу	Місячне споживання електроенергії, кВт*годину
Холодильник	1	1	2 (з урахуванням зупинок)	60
Телевізор	0,08	1	5	12
Пральна машина	1,5	1	0,57 (4 години за неділю)	26
Електрочайник	2	1	0,25	15
Комп’ютер	0,15	1	2	9
Пилесмокт	0,8	1	0,14 (1 годину на протязі тижня)	3
Праска	1	1	0,29 (2 години на тиждень)	9
Мікрохвильова піч	1	1	0,20	6
Лампи освітлення	0,06	10	3	44
Всього				184

Із цієї таблиці можна побачити, що споживана енергія в середньому становить 5 кВт у добу і з піковим навантаженням 5,5 кВт*годин.

3.6 Дизельний генератор з буферним АКБ

У складі розглянутої системи входять:

дизельний генератор;

блок свинцево-кислотних акумуляторів;

зарядний пристрій для заряду АКБ;

інвертор (перетворювач напруги АКБ в ~220Вольт).

Схема даної системи представлено на рис. 3.1.

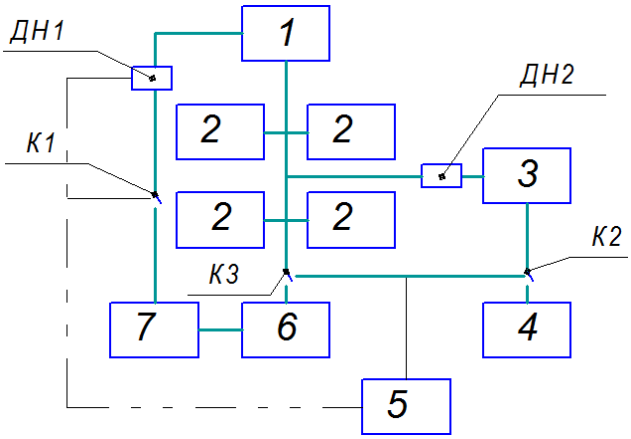


Рисунок 3.1–Схема автономної гібридної установки енергозабезпечення на базі дизельного генератора з буферним АКБ

1–зовнішнє джерело; 2–АКБ; 3–зарядний пристрій для заряду АКБ; 4–дизельний генератор; 5–ЕБУ; 6–інвертор; 7–споживач; ДН1, ДН2– датчик напруги; К1, К2, К3– ключ ланцюга

Установка працює в такий спосіб. Першим контуром схеми є зовнішнє джерело, яка є лінія електропередач. Робота її полягає в енергозабезпеченні споживача й зберігання заряду в АКБ при виробітку зайвої електроенергії.

Другим контуром схеми є блок АКБ номінальною потужністю 5 кВт·ч, яка забезпечує споживача електроенергією за відсутності електроенергії від зовнішнього джерела. Третім контуром схеми є дизельний генератор потужністю 5кВт, завдання якого є утримання заряду в АКБ.

ВИСНОВКИ

За результатами робіт були зроблені наступні основні висновки:

1 Проведений аналіз децентралізованої енергетики України, основу якої становлять дизельні електростанції. Виявлені негативні фактори (, що впливають на надійність автономного електропостачання), такі як:

–високий рівень шуму, великий обсяг вихлопних газів, що негативно впливають на навколишнє середовище.

проектна потужність ДГУ значно перевищує номінальну потужність устаткування, тому що необхідно забезпечити й заряд АКБ, і живлення устаткування;

дизельні електростанції потребують проведення регулярних профілактичних робіт;

для старту ДГУ необхідний свій власний акумулятор з усіма проблемами, що супроводжують режиму експлуатації АКБ із тривалими перервами.

2. Проаналізовані варіанти побудови гібридних автономних систем електропостачання потужністю до 5 кВт, визначена перспективна структурна схема побудови водневої системи автономного електропостачання.

3. Проведений аналіз різновидів поновлюваних джерел енергії показав високу ефективність і доцільність використання комбінованої системи ВСЕС і ВСЕ в автономних системах енергопостачання; нерівномірність вступу сонячної енергії диктує необхідність використання додаткових резервних джерел, така як воднева система.

4. Проведений функціонально-вартісної аналіз автономних систем, дозволив установити необхідне число елементів енергосистеми для стійкого і безперебійного енергопостачання споживача.

До складу автономної гібридної установки енергозабезпечення на базі водневої електростанції будить входити:

один генератор водню;

один модуль на паливних елементах;

один інвертор (перетворювач напруги в ~220Вольт);

один акумулятор;

два металогідридних накопичувача.

СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hassan Moghbelli , Abolfazl Halvaei Niasar. Conversion of Gasoline Vehicles to CNG Hybrid Vehicles (CNG-Electric Vehicles) [Text] / Hassan Moghbelli etc. – Science: vol. 6(13), 2013. – p.p. 2332-2338, количество знаков с пробелами(8050),источник(https://doaj.org/article/1f6f85ec4f304bd6bda e196e419d880f)

2. Habib Ullah, M., T.S. Gunawan, Sharif M. Raihan and Riza Muhida.Development of a electrically inspired low emission microcontroller based hybrid vehicle [Text] / Habib Ullah etc. – Science: vol. 9 (10), 2012. – p.p. 1729-1735,количество знаков с пробелами (8316), источник (https://doaj.org/article/ 20d6558dce864 3f9b996a5 7eda 4127da)

3. G. Adinarayana, Ch. Ashok Kumar, M. Ramakrishna. Fabrication of hybrid petroelectric vehicle [Text] / G. Adinarayana etc. – Science: Vol. 4, Issue 10(Part - 6), October 2014, pp.142-144,количество знаков с пробелами (8009), источник(https://doaj.org/article/f179d955dc9b4686b6e5e9d3978e7049)

4. Nereida Carrión, Miguel Murillo, Héctor Rodríguez, José Chirinos and Dorfe Díaz. Study of the fundamental plasma parameters by HG ICP-OES with a dual hydride generation system [Text] / Nereida Carrión etc. – Science: vol. 6(3), 2011. – p.p. 61-68,количество знаков с пробелами (8054), источник (https://doaj.org/article/216d943f80d34f2381044dfe2df1a582)

5 .W. Bendaikha, S. Larbi, B. Mahmah and M. Belhamel. Experimental study of the production of solar hydrogen in Algeria. [Text] / W. Bendaikhaetc. – Science: vol. 2(1), 2010. – p.p. 192-202,количество знаков с пробелами (8013), источник (https://doaj.org/article/241079bfee4d4d7c82c5ff76875a5afa)

6 .Amal Nassar, Eman Nassar. The design of a low-cost device for the production of hydrogen [Text] / Amal Nassar etc. – Science: vol. 13(25), 2014. – p.p. 158-165,количество знаков с пробелами (8024), источник (https://doaj.org/article/477e5fd34e2a4cd382b704b5b5278e6c)

7. O. V. Marchenko and S. V. Solomin. Economic Efficiency Assessment of Autonomous Wind/Diesel/Hydrogen Systems in Russia [Text] / O. V. Marchenko etc. – Science: vol. 8(4), 2013. – p.p. 2314-2317,количество знаков с пробелами (8060), источник (https://doaj.org/article/a2a185adb8ac49bdb6fffaf9dd201413)

8. Morten B. Ley , Mariem Meggouh , Romain Moury , Kateryna Peinecke and Michael Felderhoff. Development of Hydrogen Storage Tank Systems Based on Complex Metal Hydrides [Text] / Morten B. Ley etc. – Science: vol. 8(9) , 2015. – p.p. 5891-5921.,количество знаков с пробелами (8030), источник (https://doaj.org/article/020005618d5b4ebc8fc8b72ec296b2d5)

9. Scott McWhorter , Kathleen O'Malley , Jesse Adams , Grace Ordaz , Katie Randolph and Ned T. Stetson. Moderate Temperature Dense Phase Hydrogen Storage Materials within the US Department of Energy (DOE) H2 Storage Program: Trends toward Future Development [Text] / Scott McWhorter etc. – Science: vol. 2(1) , 2012. – p.p. 413-445,количество знаков с пробелами (8021), источник (https://doaj.org/article/7069de51177844f7933c63db6a00ecfe)

10. Ewa C. E. Rönnebro , Greg Whyatt , Michael Powell , Matthew Westman , Feng (Richard) Zheng 1 and Zhigang Zak Fang. Metal Hydrides for High- Temperature Power Generation [Text] / Ewa C. E. Rönnebro etc. – Science: vol. 8, 2015. – p.p. 8406-8430,количество знаков с пробелами (8010), источник (https://doaj.org/article/9fd5eac6e4b347e69a4f6536b02848ca)

11. Сравнение существующих систем резервного электропитания: [Электронный ресурс]. URL: https://www.forumhouse.ru/entries/639/ (Дата обращения:18.10.2017).

12. Дизельная электростанция: [Электронный ресурс]. URL: – Режим доступа:https://market.yandex.ru/product--champion-dg6500es/7332208?clid=703 / (Дата обращения: 02.11.2017).

13. Аккумулятор: [Электронный ресурс]. URL: – Режим доступа: http://tok-shop.ru/product/coslight-6-gfm-200s/ (Дата обращения: 13.12.2017).

14. Зарядное устройство: [Электронный ресурс]. URL: – Режим доступа:http://profoborud.ru/products/zaryadnoe-ustroistvo-24v20a (Дата обращения: 20.12.2017).

15. Гибридный солнечный инвертор: [Электронный ресурс]. URL: – Режим доступа:https://e-solarpower.ru/solar/inverter/hybrid-inv/gibridnyy-solnechnyy-invertor-sila-v-5000m/(Дата обращения: 19.02.2018).

16. Электростанция бензиновая: [Электронный ресурс]. URL: – Режим доступа:https://www.kubaninstrument.ru/instruments/elektrostantsii_ generatory/benzinovye_elektrostantsii/elektrostantsiya_benzinovaya_kipor_kge_6500e/?_openstat=bWFya2V0LnlhbmRleC5ydTvQrdC70LXQutGC0YDQvtGB0YLQsNC90YbQuNGPINCx0LXQvdC30LjQvdC-0LLQsNGPIEtJUE9SIEtHRSA2NTAwRTt6WEpkTVpGa0lhaUVWTEVRZ0FhMElnOw&frommarket=https%3A//market.yandex.ru/product/7348967/offers%3Ftrack%3D&ymclid=14115073144571458820000 3(Дата обращения: 05.02.2018).

17. Солнечная батарея:[Электронный ресурс]. URL:– Режим доступа: https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-panel-silasolar-300vt//(Дата обращения: 01.03.2018).

18. Ветрогенераторы:[Электронный ресурс]. URL: – Режим доступа: http://energy-ds.ru/catalog/generating/vetrogeneratory/vetrogeneratory-condor- home-05-5kvt/condor-home-3-kvt.html(Дата обращения: 25.03.2018).

19. Топливный элемент: [Электронный ресурс]. URL: – Режим доступа: https://www.recycledgoods.com/dantherm-dbx5000-4000710-5kw-hydrogen-fuel- cell-battery-extender-generator-as-is/(Дата обращения: 06.03.2018).

20. Генератор водорода:[Электронный ресурс]. URL:https://tiu.ru/p38051475-generator-vodoroda-tsvethrom.html(Дата обращения: 18.02.2017).

21. Накопитель водорода: [Электронный ресурс]. URL: – Режим доступа: http://www.fuelcellstore.com/bl-20-metal-hydride (Дата обращения: 23.04.2018).

Haoxiong Nan, Xinlong Tian, Lijun Yang. A Platinum Monolayer Core-Shell Catalyst with a Ternary Alloy Nanoparticle Core and Enhanced Stability for the

22. Oxygen Reduction Reaction [Text] / Haoxiong Nan, Xinlong Tian etc. – Science: vol. 9, 2015. – p.p. 8401-8432, количество знаков с пробелами (8020), источник (https://doaj.org/article/00607afc920745d6895a9b5db88b414d)

23. Чурилов Г. Н., Осипова И. В. Новые направления наноматериаловедения [Электронный ресурс] / Чурилов Г. Н. // Учебно-методическое пособие. – 2013. – Режим доступа: http://kirensky.ru/zdoc/newnano.pdf . – (Дата обращения: 17.04.2018).

24. Тарасов Б.П., Фурсиков П.В. Разработка и создание водородной системы [Электронный ресурс] / Тарасов Б.П // Отчет о научных исследованиях. – 2014. – Режим доступа: http://www.icp.ac.ru/media-store/FILES/Shirshova/Dokumenty/FTSP/14.604.21_otchet_1etap.pdf. – (Дата обращения: 11.04.2018).

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Тема кваліфікаційної роботи

Дослідження водневої системи живлення автомобіля та розробка систем зберігання палива

Здобувач вищої освіти ст. гр. МТВАм 21-1

Поперечний Борис Андрійович

Хмельницький 2022

Цілі та задачі

Метою магістерської роботи є аналіз можливих варіантів автономних систем електропостачання.

У процесі дослідження виконані наступні завдання:

– Проведений аналіз автономних систем електропостачання.

– Оцінений ринок ДГУ – дизель-генераторна установка; БГУ – бензинова генераторна установка; ВСЕ – вітро-сонячна електростанція; ВСЕС – воднева система енергопостачання.

– Розроблена система електропостачання вітдаленого населеного пункту на базі водневої системи.

Об'єкт дослідження: енергетичні установки резервного електроживлення

Предмет дослідження: автономна гібридна установка енергозабезпечення на базі водневої електростанції потужністю 5кВт.

Наукова новизна роботи:

встановлення необхідного числа елементів енергосистеми для стійкого та безперебійного енергопостачання споживача;

встановлення, що розроблена автономна система енергопостачання на базі водневої системи економічно доцільна при відсутності можливості підключення до централізованої системи енергопостачання з терміном служби більше 20 років.

Практична значимість роботи:

результат роботи дозволяє встановити перспективи розвитку теми застосування малої енергетики, на базі водневої системи енергопостачання.

Апробація роботи:

Основні положення роботи були представлені у вигляді доповіді на студентських науково-технічних конференціях.

У ході дослідження був проведений порівняльний аналіз класичних систем енергозабезпечення і водневої системи малої потужності до 5 кВт. Була запропонована система на базі автономної водневої системи енергопостачання.

Аналітичний огляд інформаційних джерел по темі роботи.

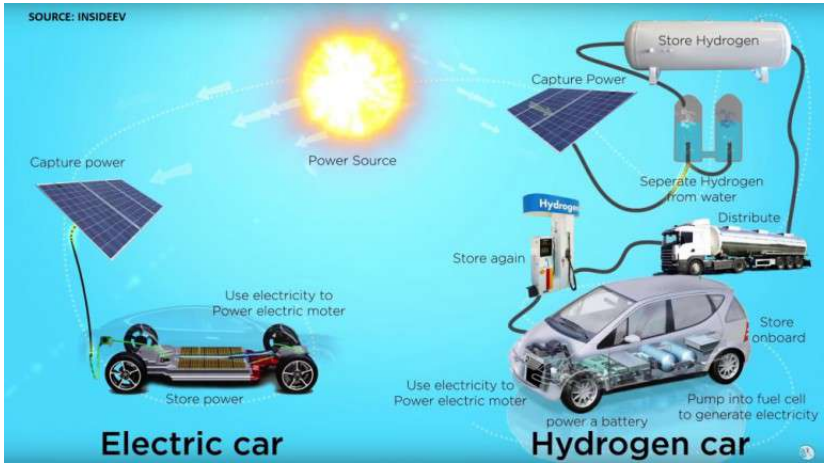
Аналіз проблеми використання водню як палива для транспорту

Водневий транспорт — це різні транспортні засоби, що використовують у якості палива водень. Це можуть бути транспортні засоби як із двигунами внутрішнього згоряння, так і з водневими паливними елементами.

Англ. Hydrogen internal combustion engine (HICE).
Водневий двигун внутрішнього згоряння.

Водневі автомобілі визначення проблем експлуатації та заправки

Принципова схема роботи автомобіля з водневими елементами



Особливості заправки воднем

Водень зменшується в обсязі майже в 850 разів, температура в рідкому вигляді досягає -259 ° С, а тиск газу – 350 або 700 атмосфер.

На більшості заправок паливо продається у газоподібному стані. Рідина зустрічається лише з 10% станцій.

Час заправки водневим паливом становить близько 5 хвилин.

Робота установок із генерації водню

Водневі заправні станції (ВЗС) можуть бути мобільними, стаціонарними та домашніми.

Перший вид призначений для заправки автомобілів у місцях без належної інфраструктури.

Стаціонарні заправки зазвичай належать великим компаніям та продають водневе паливо автомобілістам. Більшість таких станцій знаходиться в Канаді та США, Китаї, Японії та Німеччині.

Домашня заправка – набір обладнання для приватного використання. Виробляє до 1000 кг чистого водню на рік – достатньо для щоденної заправки 1-5 автомобілів. Газ виробляється методом гідролізу води в нічний час, щоб не створювати різких стрибків напруги в електромережі.

За обсягами продукції стаціонарні станції ділять на три типи:

малі, що випускають до 20 кг водню на добу (вистачить на заправку 5-10 автомобілів);

середні, що забезпечують щоденну заправку 250 легкових авто або 25 вантажних – норма виробітку від 50 до 1250 кг на день;

промислові – заправляють більше 500 автомобілів на добу, надаючи від 2500 кг газу.

Скільки буде коштувати заправка для водневих авто

Ринкова вартість водню в Європі зараз становить близько 9 євро за кілограм, що відповідає приблизно 45 євро для повного бака автомобіля Toyota Mirai.

TOYOTA Mirai 2021

Пересувна заправна станція

Машини, що працюють на водневому паливі, не виділяють у повітря вуглекислого газу, а отже, не шкодять навколишньому середовищу і не сприяють глобальному потеплінню.

Ця перевага – серйозна нагода для переходу на цей газ, але не єдина.

Є у водневих авто та інші плюси:

Безшумна робота. На відміну від ДВЗ, водневі двигуни практично не створюють шуму. Високий момент, що крутить, на самому початку руху. Причина – використання у конструкції таких автомобілів лише електричних двигунів. Великий робочий діапазон. 1 г водню дозволяє отримати втричі більше енергії порівняно з 1 г бензину.

Швидка заправка. Нові технології дозволяють залити бак із воднем швидше, ніж заряджатиметься будь-який електромобіль, і майже так само швидко, як заливається бензин.

Запас ходу до 500-600 км, що перевищує показники більшості електромобілів. Звичайно, з бензиновими авто ця цифра не зрівняється – але різниця не така велика. У багатьох машин, що працюють на бензині, дальність поїздки з повним баком не перевищує 800-900 км.

Серед серйозних мінусів відзначають, що водневе паливо поки що занадто дороге порівняно з електрикою.

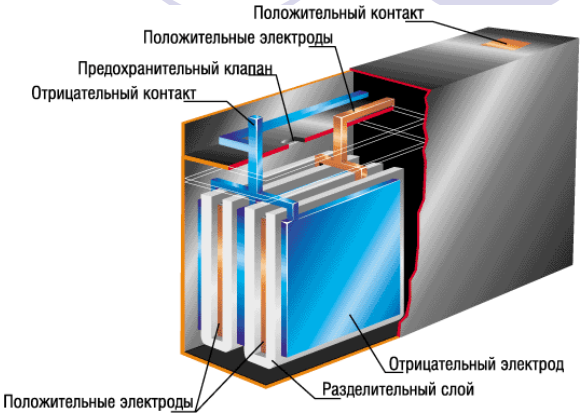
Навіть якщо порівнювати його з бензином (ціна 1 км шляху майже однакова), варто приділити увагу високій вартості водневих автомобілів. Переплачуючи за електрокар, можна розраховувати на економію у майбутньому – переплата за машину з водневим двигуном не окупиться.

Серед інших мінусів водню варто відзначити його вибухонебезпечність, необхідність зберігання у спеціальних балонах, що зменшують внутрішній простір багажного відділення, та шкідливий вплив газу на металеві частини циліндропоршневої групи. Підсилюючи конструкцію автомобіля, виробники зроблять машини з водневими двигунами ще дорожчими. Ще один важливий момент, що впливає на поширеність автомобілів FCEV – нерозвинена інфраструктура заправок.

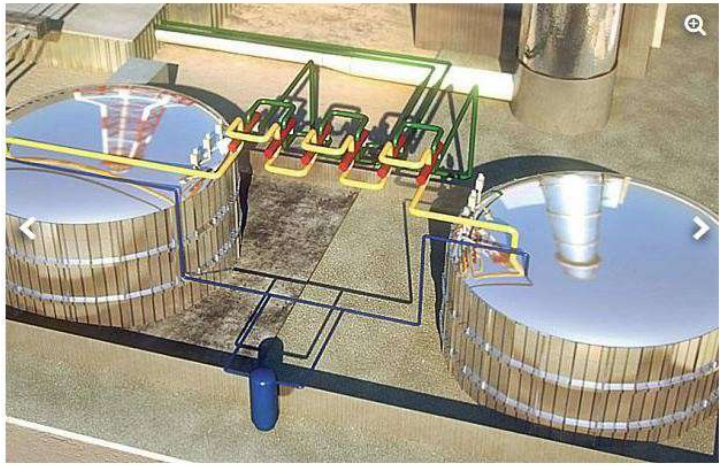
Види накопичувачів енергії

Гідроакумулятори

Кінетичний накопичувач



Свинцево-кислотний акумулятор



Термодинамічний акумулятор

Нікель-кадмієвий акумулятор

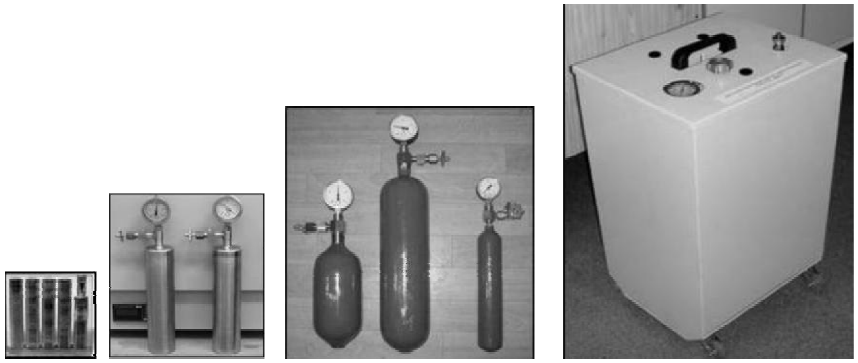
Літійіоний акумулятор

Перспективи використання водню в енергетиці

Наявні технологія по одержанню водню - це реформування природного газу, газифікація вугілля і біомаси, розщеплення води електролізом води, фотоелектролізом, фотобіологічною продукцією, гідротермічним термохімічним циклом і високотемпературним розкладанням.

Водневе паливо являє собою паливо з нульовим рівнем викидів, у якому використовуються електрохімічні елементи, згоряючи усередині двигуна, тим самим харчує транспортний засіб і електричні пристрої. Він також використовується у двигуні космічного корабля і може застосовуватися для пасажирських транспортних засобів і літаків.

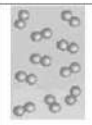
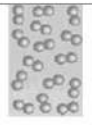
Накопичувачі водню

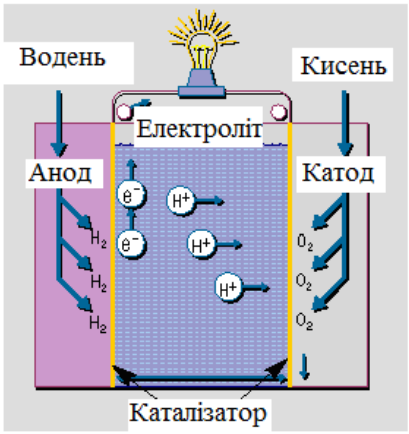


Накопичувачі водню

Металогідридний накопичувач водню

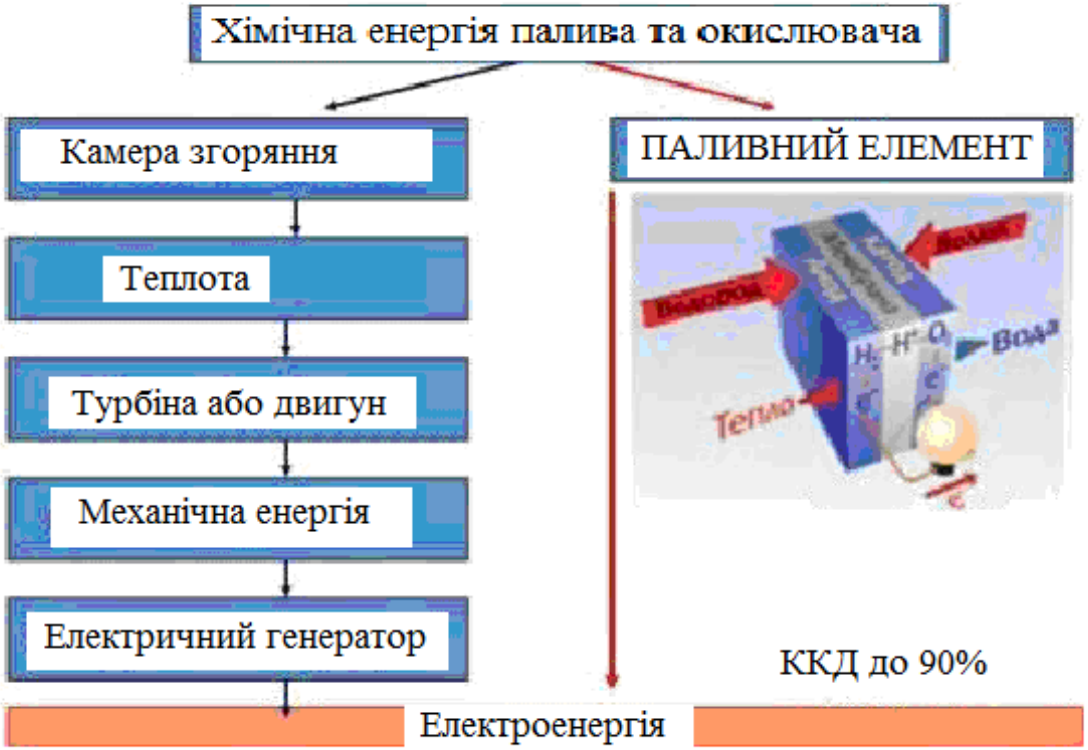
Різні способи зберігання водню

	Стан водню				
	Газоподібний водень			Рідкий водень	Водень в гідриді
Тиск, (атм)	1	350	700	1	1
Температура, (К)	300	300	300	20	300
Відстань, (мкм)	3,3	0,54	0,45	0,36	0,21
Концентрація атомів (ат/см^3)	$5,6*10^{19}$	$1,3*10^{22}$	$2,3*10^{22}$	$4,2*10^{22}$	$10,7*10^{22}$
Схема розташування молекул					



Паливний елемент

Енергоефективність паливного елемента



Перетворення хімічної енергії

Основні електричні характеристики ПЕ

- електрорушійна сила E;
- внутрішній електричний опір R;
- електрична потужність P;
- електричний коефіцієнт корисної дії ή

Воднева система енергозабезпечення

Технологія водневого нагромадження енергії

Переваги водневих систем

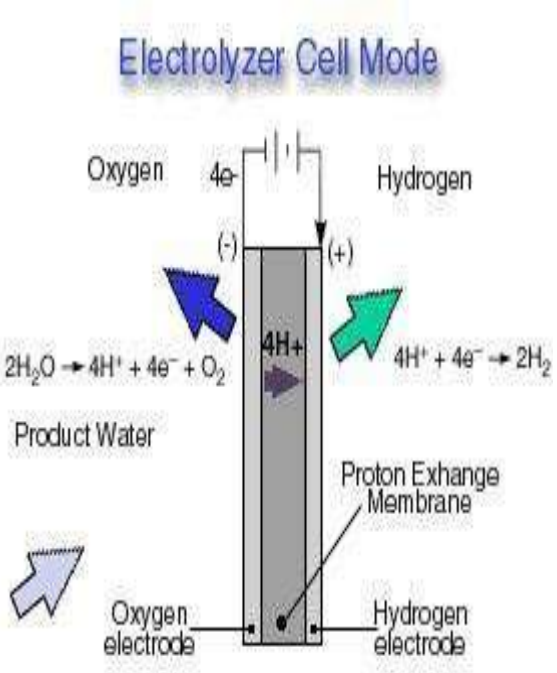
- можливість підвищення потужності і енергоємності шляхом збільшення кількості стандартних модулів;
- високий ККД (більше 50%);
- тривалість зберігання запасів енергії;
- висока енергоємність (більше 150 Вт* годин/кг)
- незалежність енергоємності від температури;
- простота регламентного обслуговування.

Порівняння електрохімічних і водневих систем резервування і акумулювання енергії

Показник	Електрохімічні батареї	Дизельний генератор	Воднева система
Ефективність ККД	70%	35%	55%
Середній термін використання	4 роки	7 років	15 років
Обслуговування	Періодичне: заміна батарей кожні 5-7 років	Періодичне: заміна мастила, фільтрів, палива	Заміна повітряного фільтра кожні 2 роки
Клімат	Необхідне підігрівання в взимку та охолодження літом	Не потребує підтримання клімату	Не потребує підтримання клімату
Шумність	Відсутня	Висока	Відсутня
Вихлоп	Відсутній	Продукти згоряння палива	Відсутній
Цикл роботи	Хімічна енергія → електроенергія	Хімічна енергія → механічна енергія → електроенергія	Хімічна енергія → електроенергія
Можливість тривалої роботи	Ні	Так	Так
Тривалість запуску	Швидко	0,2 – 2 хвилини	Швидко

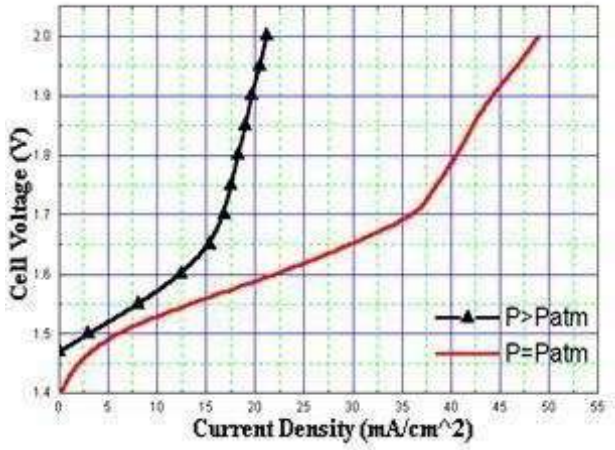
Експериментальне дослідження одержання водню з використанням сонячної енергії

Oxygen– кисень; hydrogen– водень; product water–вода; proton exhange membrance – протонна мембрана;



Функціональний принцип електролізера ПОМ

Лабораторна установка для одержання водню за допомогою електролізера, що працює від



Зміна напруги елемента і щільність струму як функція тиску

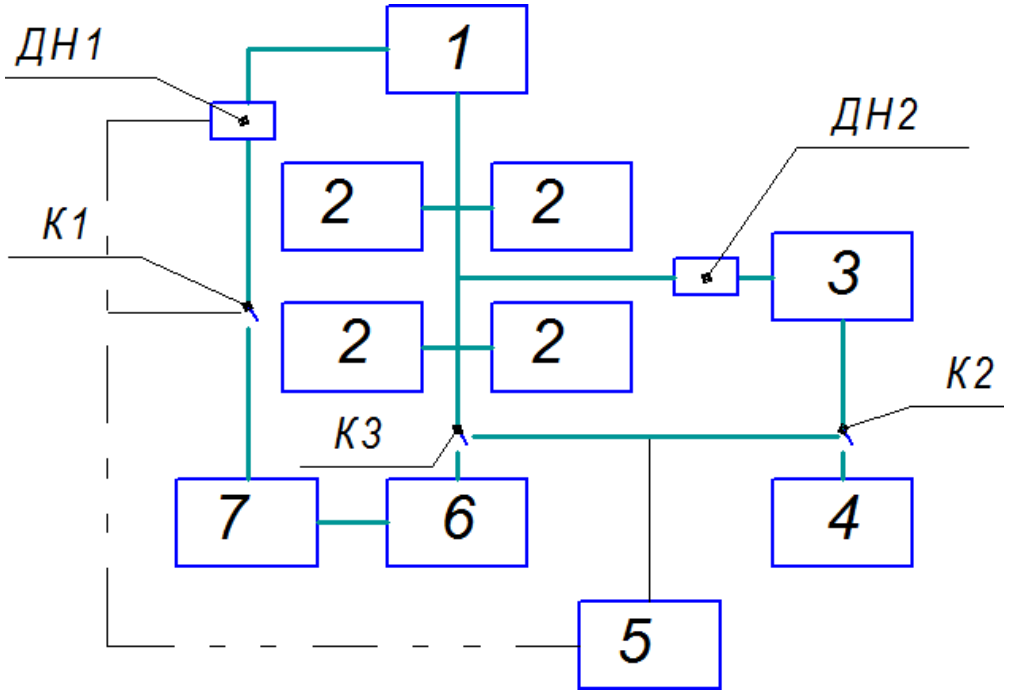
Порівняння класичних систем енергозабезпечення та водневої системи автономного енергозабезпечення малої потужності до 5 квт.

Із– за випадків масштабних відключень електроенергії в нашій країні модернізація резервного енергозабезпечення звелася тільки до нарощування часу автономної роботи шляхом збільшення ємності акумуляторів, що відповідає збільшення потужності дизельного генератора, відновлення систем керування і моніторингу

Споживання електроенергії електричними приладами

Електроприлад	Потужність, кВт	Кількість, шт.	Середньодобовий час роботи приладу, час/добу	Місячне споживання електроенергії, кВт*годину
Холодильник	1	1	2 (з урахуванням зупинок)	60
Телевізор	0,08	1	5	12
Пральна машина	1,5	1	0,57 (4 години за неділю)	26
Електрочайник	2	1	0,25	15
Комп'ютер	0,15	1	2	9
Пилесмокт	0,8	1	0,14 (1 годину на протязі тижня)	3
Праска	1	1	0,29 (2 години на тиждень)	9
Мікрохвильова піч	1	1	0,20	6
Лампи освітлення	0,06	10	3	44
Всього				184

Схема автономної гібридної установки енергозабезпечення на базі дизельного генератора з буферним АКБ



1–зовнішнє джерело; 2–АКБ; 3–зарядний пристрій для заряду АКБ; 4–дизельний генератор; 5–ЕБУ; 6–інвертор; 7–споживач; ДН1, ДН2– датчик напруги; К1, К2, К3– ключ ланцюга

ВИСНОВКИ

За результатами робіт були зроблені наступні основні висновки:

1 Проведений аналіз децентралізованої енергетики України, основу якої становлять дизельні електростанції. Виявлені негативні фактори (, що впливають на надійність автономного електропостачання), такі як:

–високий рівень шуму, великий обсяг вихлопних газів, що негативно впливають на навколишнє середовище.

проектна потужність ДГУ значно перевищує номінальну потужність устаткування, тому що необхідно забезпечити й заряд АКБ, і живлення устаткування;

дизельні електростанції потребують проведення регулярних профілактичних робіт;

для старту ДГУ необхідний свій власний акумулятор з усіма проблемами, що супроводжують режиму експлуатації АКБ із тривалими перервами.

2. Проаналізовані варіанти побудови гібридних автономних систем електропостачання потужністю до 5 кВт, визначена перспективна структурна схема побудови водневої системи автономного електропостачання.

3. Проведений аналіз різновидів поновлюваних джерел енергії показав високу ефективність і доцільність використання комбінованої системи ВСЕС і ВСЕ в автономних системах енергопостачання; нерівномірність вступу сонячної енергії диктує необхідність використання додаткових резервних джерел, така як воднева система.

4. Проведений функціонально-вартісної аналіз автономних систем, дозволив установити необхідне число елементів енергосистеми для стійкого і безперебійного енергопостачання споживача.

До складу автономної гібридної установки енергозабезпечення на базі водневої електростанції будить входити:

один генератор водню;

один модуль на паливних елементах;

один інвертор (перетворювач напруги в ~220Вольт);

один акумулятор;

два металогідридних накопичувача.

Публікації

Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні тенденції розвитку інженерії, технологій та транспорту"

Міністерство освіти і науки України,
Хмельницький національний університет (Україна)
Люблінська Політехніка (Польща)
Університет Вітовта Великого (м. Каунас, Литва)

Присвячується 60-річчю Хмельницького національного університету

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІНЖЕНЕРІЇ, ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТРАНСПОРТУ

Збірник тез доповідей
Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених

18-19 жовтня 2022 року
м. Хмельницький

Трибологічні і матеріалознавчі проблеми в інженерії та на транспорті

Padgurskas J., Volskis D., Jarasūnas O. Evaluation of machines and equipment maintenance systems 78
Justas Uselis, Jaozas Padgurskas, Anastasiia Storozhuk. Gear oils and their tribological evaluation 82
Беліков А.С., Мацук З.М., Проців В.В. Мастильні матеріали рейкового транспорту рідкі (пластичні) для пари тертя «колесо-рейка» 86
Гетьман М., Дяка О., Старий А. Відпрацьована кухонна олія (ВКО) як основа технічних мастильних матеріалів 92
Гнітар В.А., Бань О.Ю., Прус В.О., Кривицький Я.В. Типи паливних насосів, їх переваги та недоліки 97
Дяка О., Фасоля В., Старий А., Забєєв А. Дослідження трибоконтактних характеристик роторного вузла турбокомпресора 103
Зайко О.М., Самчук Л.М., Рудь В.Д. Компонування складних конструкцій методами 3D друку 109
Каплун П.В., Мельник В.О., Савельєв В.М. Підвищення зносостійкості шестерень коробки передач автомобілів Ford Focus 114
Козак Я.В., Іващко Я.М., Пасовський С.Ф., Бабак О.П. Дослідження характеристик вітрової турбіни Савоніуса та її модифікацій 118
Олександренко В.П., Сєдєрський Я.П., Кирпиченко Л.М., Васильєв В.В., Кваснівський А.О. Підвищення зносостійкості фторопластових покриттів, нанесених на металеві поверхні 124
Пазинарчук І., Романчук Ю., Дячук Е., Дробот О. Розробка та аналіз технологій підвищення абразивної зносостійкості деталей машин 129
Поперечний Б.А., Бабак О.П., Вичавка А.А., Войтюк С.В. Дослідження водневої системи живлення автомобіля та розробка систем зберігання водневого палива 133
Потерпіх О.І., Євчук Д.І., Рудик А.В., Рудик О.Ю. Проектування піднімача для ремонту автомобілів за допомогою Solidworks 137
Сичівшин М.С., Онищенко А.І., Бондар А.Ю. Карбонізування сталі ХВГ атомному розряді 141

Шляхи удосконалення охорони праці та цивільної безпеки за допомогою сучасних інноваційних технологій

Бородич П.Ю., Пономаренко Р.В., Дяків К.А. Удосконалення рятування постраждалого з приміщення з використанням новітніх нош НРВ-1 146
Бородич П.Ю., Пономаренко Р.В., Лимпій М.О. Удосконалення рятування постраждалого з третього поверху з використанням похилої переправи за допомогою новітніх нош НРВ-1 149
Гасевський В.Р., Фалинчук В.Л., Гасевська С.Г. Вплив коефіцієнта теплопровідності охолоджувальної води ТЕС на викиди шкідливих речовин 153

УДК 629.113

Поперечний Б.А., Бабак О.П., Вичавка А.А., Войтюк С.В.
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНЕВОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЯ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЕВОГО ПАЛИВА

Анотація: *мета дослідження – сяке прогрес у розробці паливних елементів (ПЕ) з високим ККД всеще впевненість у перспективах використання водню як палива при створенні автономних мобільних і стаціонарних джерел енергії. Такі джерела можуть знайти широке застосування на транспорті, у тому числі в автомобілях з так званими "гібридними" двигунами (звичайний двигун плюс електродвигун на ПЕ)*

RESEARCH OF THE HYDROGEN VEHICLE POWER SYSTEM AND DEVELOPMENT OF HYDROGEN FUEL STORAGE SYSTEMS

Abstract: *the purpose of the research is that the progress in the development of fuel cells (FE) with high efficiency inspires confidence in the prospects of using hydrogen as a fuel in the creation of autonomous mobile and stationary energy sources. Such sources can be widely used in transport, including in cars with so-called "hybrid" engines (a conventional engine plus an electric motor on a FE)*

Сучасний стан світової енергетики, заснованої, головним чином, на традиційних вуглецевовмісних джерелах сировини, навіть за оптимістичними оцінками характеризується як передкризове. І справа не тільки в очевидному виснаженні цих ресурсів, але й у зростанні небезпеки глобальних катастроф внаслідок забруднення навколишнього середовища. Безумовно, атомна енергетика з урахуванням наявних запасів урану в георії буде відігравати все більшу роль у світовій економіці. Передбачається, що у віддаленому майбутньому вирішальне місце у великомасштабній енергетиці займе термоядерна енергія. Однак вже зараз видно, що серйозні енергетичні та екологічні проблеми наздожнять світ перш, ніж у лад вступить перша термоядерна електростанція. Крім того, навіть якщо припустити, що атомна і термоядерна енергетика могтиме зробити необхідну кількість електроенергії, залишається невяним, яким чином отримана енергія може забезпечити, наприклад, функціонування

Дякую за увагу!!!!