

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Інститут інженерії та інформаційних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки
(повна назва кафедри)

ДИПЛОМНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему

ПАЛИВНІ ЕЛЕМЕНТИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЕТАНОЛУ

Виконав: студент групи БЕМ-19
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

Козеренко В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. Шведчикова І.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. Демішонкова С.А.
(прізвище та ініціали)

Київ 2023

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних технологій
(повна назва факультету/інституту)

Кафедра Комп'ютерної інженерії та електромеханіки (КІЕМ)
(повна назва випускової кафедри)

Спеціальність 141 Електронергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Освітня програма Електромеханіка
(назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
КІЕМ

(назва кафедри)

Борис ЗЛОТЕНКО

(підпис)

(П.І.Б)

« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТУ

Козеренко Віталій Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема дипломної бакалаврської роботи (проєкту) Паливні елементи на основі використання етанолу

Науковий керівник роботи Шведчикова Ірина Олесіївна, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом КНУТД від «08» листопада 2022 року № 224-уч

2. Строк подання студентом дипломної роботи (проєкту) 05.06.2023

3. Вихідні дані до дипломної бакалаврської роботи (проєкту) навчальна та методична література, публікації.

4. Зміст дипломної бакалаврської роботи (проєкту) (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Теоретичні основи функціонування паливних елементів 2.Конструкція та опис роботи паливного елемента 3. Методичне забезпечення проведення експериментальних досліджень лабораторного зразка паливного елемента

5. Дата видачі завдання 08.11.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної бакалаврської роботи (проєкту) | Терміни виконання етапів | Примітка про виконання |
|-------|---|--------------------------|------------------------|
| 1 | Вступ | 10.03.2023 | |
| 2 | Розділ 1 Теоретичні основи функціонування паливних елементів | 20.03.2023 | |
| 3 | Розділ 2 Конструкція паливного елемента та опис роботи | 25.04.2023 | |
| 4 | Розділ 3 Методичне забезпечення проведення експериментальних досліджень лабораторного зразка паливного елемента | 03.05.2023 | |
| 5 | Висновки | 16.05.2023 | |
| 6 | Оформлення дипломної бакалаврської роботи (проєкту) (чистовий варіант) | 19.05.2023 | |
| 7 | Здача кваліфікаційної роботи на кафедру для рецензування (за 14 днів до захисту) | 18.06.2023 | |
| 8 | Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність текстових співпадінь та помилок (за 10 днів до захисту) | 08.06.2023 | |
| 9 | Подання кваліфікаційної роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту) | 08.06.2023 | |

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали та прізвище)

Науковий керівник
роботи

_____ (підпис)

_____ (ініціали та прізвище)

Рецензент

_____ (підпис)

_____ (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Козеренко В. В. Паливні елементи на основі використання етанолу. – Рукопис.

Дипломна бакалаврська робота за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньою програмою «Електромеханіка». – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2023 рік.

У сучасному світі науковим дослідникам постало викликом розробити нові технології, які б задовільнили б зростаючі енергетичні потреби, враховуючи при цьому зростання екологічної свідомості. Один із перспективних напрямків у галузі альтернативної енергетики - це розвиток паливних елементів, які працюють на основі етанолу. Дослідження в цій галузі дають широкі можливості для розробки нових матеріалів, каталізаторів та оптимізації процесів, що забезпечують ефективну роботу таких елементів.

Метою цієї роботи було проведення експериментальних досліджень лабораторного зразка паливного елемента. Ми досліджували перетворення хімічної енергії розчину етанолу в електричну енергію, вивчали полярність паливного елемента та споживання етанолу, а також вивчали вплив концентрації етанолу та використання спиртових речовин (вино) на отримання електроенергії в паливному елементі. Крім того, ми досліджували вплив температури на роботу паливного елемента.

Було визначено, що паливні елементи мають дві важливі особливості: по-перше, вони можуть продовжувати працювати, доки мають паливо та окиснювач ззовні, і по-друге, хімічний склад електроліту залишається сталим протягом роботи, що означає, що паливний елемент не потребує перезарядки.

Ключові слова: паливний елемент, етанол, паливо, каталізатори, хімічна енергія.

ABSTRACT

Kozerenko V.V.Ethanol fuel cell. - Manuscript.

Diploma bachelor's thesis in the specialty 141 Electric power, electrical engineering and electromechanics, educational program "Electromechanics". - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2023.

In today's world, scientific researchers are challenged to develop new technologies that would meet the growing energy needs, while taking into account the growing environmental awareness. One of the promising directions in the field of alternative energy is the development of fuel cells that work on the basis of ethanol. Research in this field provides ample opportunities for the development of new materials, catalysts and optimization of processes that ensure the efficient operation of such elements.

The purpose of this work was to carry out experimental studies of a laboratory sample of a fuel cell. We investigated the conversion of the chemical energy of the ethanol solution into electrical energy, studied the polarity of the fuel cell and the consumption of ethanol, and also studied the effect of ethanol concentration and the use of wine and beer on the production of electricity in the fuel cell. In addition, we investigated the effect of temperature on the operation of the fuel cell.

Fuel cells were found to have two important features: firstly, they can continue to operate as long as they have fuel and an oxidant from the outside, and secondly, the electrolyte chemistry remains constant during operation, meaning that the fuel cell does not need to be recharged.

Keywords: fuel cell, ethanol, fuel, catalysts, chemical energy.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 7 |
| РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТ ..9 | |
| 1.1 Загальні принципи роботи паливних елементів..... | 9 |
| 1.2 Класифікація паливних елементів | 12 |
| РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКЦІЯ ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТА | 19 |
| ТА ОПИС РОБОТИ | 19 |
| 2.1. Конструкція паливного елемента | 19 |
| 2.2. Опис роботи паливного елемента | 20 |
| 2.3 Конструкція етанолового паливного елемента для проведення експериментальних досліджень | 22 |
| РОЗДІЛ 3 МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛАБОРАТОРНОГО ЗРАЗКА ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ | 26 |
| 3.1 Дослідження перетворення хімічної енергії розчину етанолу в електричну енергію ..26 | |
| 3.2 Дослідження полярності паливного елемента | 28 |
| 3.3 Дослідження споживання етанолу..... | 28 |
| 3.4 Дослідження впливу концентрації етанолу..... | 29 |
| 3.5 Отримання електроенергії в паливному елементі за допомогою вина та пива..... | 30 |
| 3.6 Дослідження впливу температури | 31 |
| ВИСНОВКИ..... | 33 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 34 |
| ДОДАТОК..... | 36 |

ВСТУП

Актуальність роботи. У сучасному світі зростаючі енергетичні потреби, спільно зі зростанням екологічної свідомості, ставлять перед науковими дослідниками виклик розробити нові технології, які були б не тільки ефективними, але й екологічно безпечними. Одним із перспективних напрямків у сфері альтернативної енергетики є розвиток паливних елементів на основі етанолу.

Етанол, відомий також як спирт зерновий, є одним з найпоширеніших біопалив у світі. Його використання як палива має безліч переваг, таких як:

- висока енергетична потужність
- низька емісія шкідливих речовин
- можливість отримання зі вторинних сировин, таких як біологічні відходи та аграрна продукція.

Паливні елементи, засновані на використанні етанолу, представляють собою високоефективну технологію, яка дозволяє прямим шляхом перетворювати хімічну енергію етанолу в електричну енергію без великої втрати. Вони працюють на принципі окислення етанолу в присутності каталізаторів, що забезпечує електричний струм та воду як побічні продукти.

Дослідження в галузі паливних елементів на основі етанолу надають широкий простір для розробки нових матеріалів, каталізаторів та оптимізації процесів, що забезпечують їх ефективну роботу. Крім того, використання етанолу як палива має потенціал допомогти знизити залежність від традиційних вуглеводневих палив і скоротити викиди парникових газів, що призводять до зміни клімату.

Метою роботи є проведення експериментальних досліджень лабораторного зразка паливного елемента.

Для досягнення поставленої мети у роботі було вирішено такі **задачі**:

- дослідження перетворення хімічної енергії розчину етанолу в електричну енергію;
- дослідження полярності паливного елемента;
- дослідження споживання етанолу;

- дослідження впливу концентрації етанолу;
- дослідження впливу температури.

Об'єкт дослідження – процеси перетворення хімічної енергії в електричну.

Предмет дослідження – експериментальна оцінка ефективності функціонування лабораторного зразка паливного елемента типу Мікро-DEFC.

Методи досліджень. Дескриптивний метод для опису фізичних процесів перетворення енергії, метод експериментальних досліджень з використанням лабораторного зразка.

Інформаційною базою дослідження є публікації у журналах, результати експериментальних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці методичних рекомендацій з дослідження лабораторного зразка паливного елемента, які планується використовувати під час проведення лабораторних занять з дисципліни «Інноваційні технології електроенергетики, електротехніки та електромеханіки».

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

1.1 Загальні принципи роботи паливних елементів

Паливний елемент - електрохімічний генератор, який прямо перетворює хімічну енергію на електричну енергію. Схожість такого перетворення можна спостерігати в звичайних акумуляторах. Однак, паливні елементи мають дві важливі особливості: по-перше, вони продовжують працювати, поки їм постачається паливо та окиснювач зовні; по-друге, хімічний склад електроліту залишається незмінним у процесі роботи, що означає, що паливний елемент не потребує перезарядки [4].

У 1839 році англійський фізикохімік Вільям Гроув відкрив можливість створення паливного елемента. Він помітив, що після відключення зовнішнього струму в електролітичній комірці виникає постійний струм. Хоча ці спостереження В. Гроува не були належним чином обґрунтовані в подальших дослідженнях, він назвав свій електрохімічний пристрій "газовою батареєю" за рекомендацією Майкла Фарадея, його колеги-хіміка. Назва "паливний елемент" була запропонована Людвігом Монде, іншим хіміком-аматором та підприємцем, співзасновником відомої компанії "Imperial Chem. Industries", лише через 50 років.

У 1960-х роках були розроблені паливні елементи потужністю до 1 кВт для американських програм "Джеміні" та "Аполлон". У 1980-х роках були створені паливні елементи потужністю 10 кіловат для "Шаттла" та радянського "Бурану". Також у цей час були побудовані електростанції потужністю 100 кВт, що використовували фосфатно-кислотні паливні елементи. У Японії та США існують експериментальні електростанції потужністю 10 мегаватт. З 1990-х років і до сьогодні продовжується розробка паливних елементів потужністю від 1 кВт до 10 МВт для стаціонарних автономних енергетичних систем. Крім того, зараз розробляються портативні джерела електроенергії з потужністю менше 100 Вт для комп'ютерів, мобільних телефонів, фотоапаратів та інших пристроїв. Ці джерела використовують метанол як паливо, з якого отримують водень.

Паливний елемент складається з двох електродів, розділених електролітом і систем підведення палива на один електрод та окиснювача - на другий, а також системи для видалення продуктів реакції, рисунок 1.1.

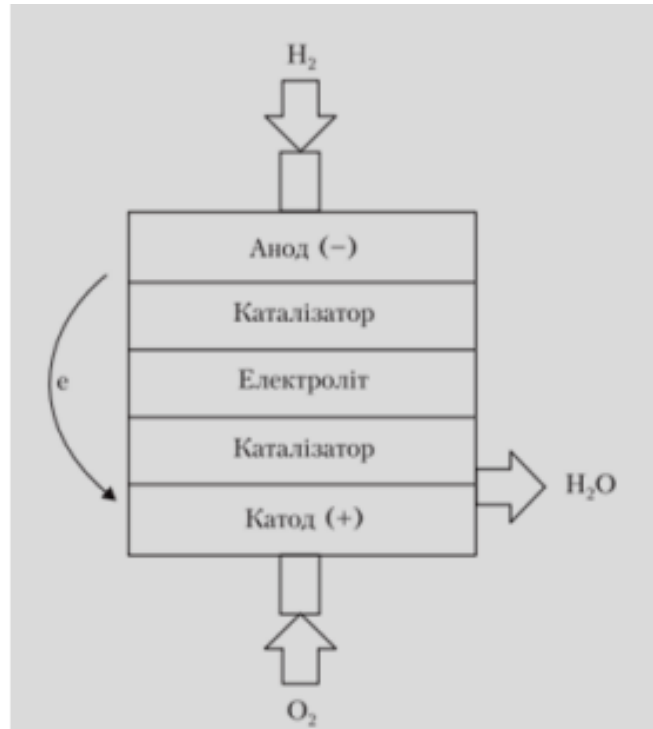


Рис. 1.1. Схема паливного елемента

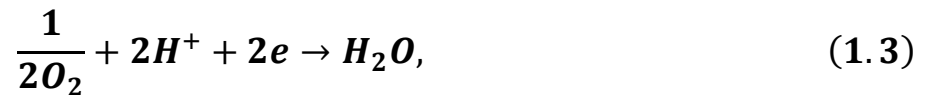
У більшості випадків для прискорення реакцій в паливних елементах використовують каталізатори. Паливний елемент з'єднаний зовнішнім електричним колом з навантаженням, яке споживає електроенергію.

У паливних елементах з кислим електролітом водень подається через високопористий анод і проникає в електроліт через мікропори матеріалу електрода. Під час цього процесу молекули водню розпадаються на атоми, які, шляхом хемосорбції, віддають по одному електрону, перетворюючись на позитивно заряджені іони [9].

Цей процес спрощено можна описати такими рівняннями:



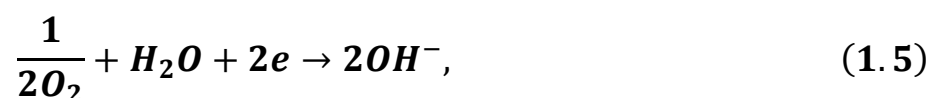
Кисень, що надходить на катод, переходить в електроліт і також реагує на поверхні електрода за участю каталізатора. При взаємодії його з іонами водню та електронами, які надходять із зовнішнього ланцюга, утворюється вода:



Подібні хімічні реакції відбуваються у паливних елементах із лужним електролітом (як правило, це концентровані гідроксиди натрію або калію). Водень проходить через пористий анод і реагує за наявності каталізатора з існуючими в електроліті іонами гідроксилу з утворенням води та електрона:



На катоді кисень вступає в реакцію з водою, що містить електроліт і електронами із зовнішнього ланцюга. У послідовних стадіях реакцій утворюються іони гідроксилу. Результуючу реакцію на катоді можна записати у вигляді:



У паливних елементах хімічна енергія палива й окиснювача безпосередньо перетворюється на електричну, тоді як у теплових машинах процес перетворення хімічної енергії охоплює кілька проміжних стадій, зокрема стадію утворення теплоти. Вибір палива відновника та окиснювача, що подаються до ПЕ, визначається передусім їхньою електрохімічною активністю (тобто швидкістю реакцій на електродах), вартістю, можливістю легкого підведення реагенту до ПЕ і відведення продуктів реакції. Як паливо у ПЕ звичайно використовуються водень, рідше – CH_3OH , CH_4 та інші Н-вмісні органічні й неорганічні сполуки. Окиснювачем зазвичай є кисень повітря [10].

1.2 Класифікація паливних елементів

Паливні елементи можуть класифікуватися по різному. Один із способів робоча температура: низка 25 - 100°C, середня 100 - 500°C, висока 500-1000°C і дуже висока понад 1000°C. Хімічні реакції зазвичай відбуваються швидше при більш високих температурах. Однак однією з проблем проектування високотемпературних паливних елементів є те, що повинні бути обрані матеріали, здатні витримувати високі температури без плавлення або корозії [13].

Як і у випадку з акумуляторами, ще один спосіб класифікації паливних елементів - це первинні або вторинні. У первинному паливному елементу, який також називають нерегенеративним, реагенти використовуються один раз, потім викидаються. У вторинних паливних елементах, які також називають регенеративними, реагенти використовуються неодноразово. Зовнішнє джерело енергії необхідне для оновлення палива для повторного використання, і це джерело може подавати енергію електрично, термічно, фотохімічно або радіохімічно. Як первинні, так і вторинні паливні елементи виготовлені з різноманітним органічним та неорганічним паливом [7].

Інший спосіб класифікації паливних елементів - прямий або непрямий. У прямому паливному елементу паливо використовується як є. У непрямому паливному елементу паливо обробляється спочатку всередині системи. Наприклад, непрямий паливний елемент може приймати вугілля і використовувати фермент для його розщеплення на більш дрібні вуглеводні перед реакцією клітини.

Сімейства паливних елементів часто розрізняють за типом використовуваного електроліту. Приклади включають лужні, які використовують розчин гідроксиду калію як електроліт, фосфорну кислоту, розплавлений карбонат та твердий оксид, які використовують тверді керамічні електроліти. В інших випадках паливні елементи класифікуються за типом мембрани або типом використовуваного палива. Два найбільш поширені типи паливних елементів - це протоннообмінні мембранні паливні елементи і прямі

метанольні паливні елементи. Паливні елементи протонної мембрани використовують в якості палива водневий газ, кисень з повітря як окислювач, твердий електроліт і платиновий каталізатор. Вони працюють при низькій температурі і використовуються в автобусах, аерокосмічних додатках, а також для резервного живлення. Прямі метанольні паливні елементи використовують метанол як паливо. Вони також часто працюють при низьких або середніх температурах і використовуються для подібних застосувань.

Різні типи паливних елементів класифікуються залежно від типу електроліту (мембрани) та робочої температури. Електроліт може бути рідким або твердим, лужним, сольовим або кислотним, а мембрана може бути полімерною або керамічною. Крім того, вони повинні мати іонопровідні властивості при робочій температурі. Температура є ключовим фактором для визначення сфери застосування цих паливних елементів [11].

До основних типів паливних елементів відносяться:

- паливний елемент на твердому оксидному електроліті (Solid Oxid Fuel Cell (SOFC));
- паливний елемент на основі розплавленого карбонату (Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC));
- паливний елемент з прямим окисненням метанолу (Direct Methanol Fuel Cell (DMFC));
- на основі фосфорної кислоти Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC);
- лужний паливний елемент (Alkaline Fuel Cell (AFC));
- паливний елемент з протонно-обмінною мембраною (Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC));

Тверді електроліти (TE) – це кристалічні, полікристалічні чи аморфні (склоподібні) матеріали, в яких іони певного знаку здатні рухатись під дією зовнішнього електричного поля. Іонна складова загальної провідності твердих електролітів на 5 – 6 порядків вища за електронну, тобто числа переносу практично дорівнюють 1, а значення коефіцієнтів дифузії за порядком величини співставні зі значеннями розчинів сильних електролітів чи розплавів [11].

PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, Proton Exchange Membrane Fuel Cell) – паливний елемент з полімерною протонообмінною мембраною.

В якості електроліту в таких паливних елементах використовується мембрана з полімеру товщиною приблизно в 2 – 7 аркушів звичайного паперу. Відновлювачем виступає чистий водень, причому максимально допустима частка домішок окису вуглецю – 10 – 100 мг/кг.

Ці елементи працюють в доволі низьких температурах – до 100 °С, мають високу щільність енергії, а також забезпечують можливість швидко змінювати потужність. Для паливних елементів з протонобмінною мембраною характерна висока вихідна напруга – близько 0,7 В з однієї комірки.

Серед всіх видів паливних елементів PEMFC знайшли сьогодні найбільше застосування: вони використовуються в транспорті (майже 100% всіх автомобілів, що працюють на водні), в якості первинних і резервних джерел енергії, в портативній електроніці. В даний час спостерігається стрімкий розвиток цієї технології, зокрема, в автомобільній галузі. У 2005 році близько 75% всіх стаціонарних установок, що працюють на водні з потужністю до 10 кВт були побудовані саме за технологією PEMFC. Великі установки можуть розвивати потужність до 300 кВт (General Motors).

Деякі виробники паливних елементів на основі протонобмінної мембрани: Ballard Power Systems (Канада), FCFCP (Китай), Cellkraft AB (Швеція), European fuel cell GmbH (Німеччина), Heliocentris Energiesysteme GmbH (Німеччина), Honda (Японія), h-tec Hydrogen Energy Systems (Німеччина), IdaTech (США), New Japan Eco-System Corporation (Японія), Plug Power Inc. (США), Protonex Technology Corporation (США), UTC Power (США).

DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) - це тип паливних елементів, які працюють на прямому окисненні метанолу. Вони використовують іонно-обмінну мембрану, таку ж, як у поширених PEMFC, але використовують водний розчин метилового спирту (метанол) замість чистого водню як паливо. Головна перевага DMFC у порівнянні з PEMFC полягає в можливості використання метанолу у рідкому вигляді, що є більш зручним для зберігання та транспортування, ніж водень. На відміну від інших технологій, де використовується рідина замість газу, DMFC не потребує зовнішнього конвертора для отримання чистого водню шляхом реформінгу, оскільки розщеплення водню відбувається безпосередньо в електроліті.

Недоліком DMFC в порівнянні з PEMFC є більш висока температура функціонування (120°C), яка, однак, не є достатньою для ефективного хімічного перетворення. У зв'язку з цим виникає необхідність у використанні платинових каталізаторів, що призводить збільшення вартості паливних елементів.

У паливних елементів з прямим окисненням метанолу існує ще проблема використання метанолу в якості палива. Метанол є отруйною речовиною: доза в 10 грам може привести до втрати зору, а в 30 грам – до смерті. В результаті, розробники поступово переходять до інших рідин, що містять водень. Одним з найбільш перспективних напрямків досліджень вважається використання в якості палива борогідриду натрію, а в якості електроліту – лугу [8].

AFC (Alkaline Fuel Cell) - це тип паливних елементів, які працюють на основі лужного середовища. У лужних елементах використовується концентрований гідроксид калію (KOH) або його водний розчин як електроліт, а нікель використовується як основний матеріал для електродів. У порівнянні з PEMFC, лужні елементи значно менш потужні (густина струму досягає $1\text{ A}/\text{cm}^2$), що призводить до більших габаритів при подібних характеристиках. У традиційних лужних паливних елементах використовується чистий водень як паливо та чистий кисень як окисник. Однак, це має свою основну недолік - наявність домішок двоокису вуглецю (CO_2) у паливі або окиснику спричиняє карбонізацію лугу. У 1970-х роках для зменшення карбонізації електроліту в лужних паливних елементах знижувався робочий тиск і використовувались газоочисники, такі як гашене розчином їдкою натру або вапно [5].

На сьогоднішній день використовуються системи циркуляції електроліту з газоочисниками на основі натрію вапна, що дозволяє знизити карбонізацію електроліту і відводити надлишок тепла.

Система циркуляції дає наступні переваги:

- відсутнє пересихання комірок;
- покращене охолодження;
- карбонати легко видаляються з електроліту;
- градієнт концентрації OH^- значно зменшений;
- в комірці не накопичуються бульбашки.

Перевагами всього класу паливних елементів з лужними електролітом є:

- низька собівартість виробництва;
- можливість використання більш дешевих нікелевих і срібних каталізаторів;
- швидкі реакції на катоді;
- абсолютна екологічна чистота гарячої води, одержуваної в якості відходів.

Недоліки лужних паливних елементів:

- карбонізація лугу при використанні повітря;
- високі вимоги до чистоти водню;
- малий ресурс.

До останнього часу технологія прямого окислення метанолу вважалася найперспективнішою для живлення портативної мікроелектроніки. Однак через проблеми DMFC (токсичність метанолу і висока вартість каталізаторів) був стимульований розвиток досліджень в області технології AFC.

PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) – паливний елемент, в якому в якості електроліту використовується рідка фосфорна кислота. Такі паливні елементи виробляють теплоту чи електроенергію з ККД більше 50%, а робочі температури знаходять в межах 90...250 °С. PAFC застосовуються на великих стаціонарних об'єктах (до 11 МВт) Працюють ці паливні елементи на водні, однак, вимоги по його чистоті значно менш суворі, ніж в разі використання протонобмінної мембрани в якості електроліту. У більшості випадків водень отримують з природного газу або біогазу. ККД по електроенергії оцінюється в 37 – 42%, а при використанні відведеної теплової енергії – 85%.

Пористі електроди виготовляються із суміші каталізаторів і вуглецевополімерної зв'язки. Корозійна стабільність аноду досягається високотемпературною обробкою, при цьому корозія зменшується на два порядки при напрузі 0,8В у 97% при температурі 190 °С і тиску 4,8 атм.

Переваги:

- низькі вимоги до чистоти палива;
- великий ресурс роботи

Недоліки:

- наявність дорогоцінних металів в якості каталізатора;

- корозія електродів;
- довгий старт;
- низька густина струму та енергії.

Сегмент паливних елементів з фосфорною кислотою в якості електроліту вважається самим «зрілим» серед всіх технологій паливних елементів. PAFC стабільно розвивається, завдяки можливості використовувати водень з домішками. Сумарна потужність всіх світових установок, що функціонують на основі рідкої фосфорної кислоти, перевищує 75 МВт. Також ведуться дослідження по застосуванню PAFC в автомобілях.

Світовим лідером з використання технології вважається американська компанія UTC Power (США), що працює також з іншими технологіями (PEMFC, MCFC). Серед провідних виробників варто відзначити компанії Південно-Азіатського регіону: Fuji Electric (Японія) і Korea Gas (Корея).

SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) - це паливний елемент, який використовує твердий керамічний електроліт. Основна відмінність від раніше розглянутих типів полягає у високих робочих температурах (700-1000 °C) і можливості використання різних видів палива, таких як природний газ, водень, пропан, біогаз, інші вуглецевмісні речовини. ККД електрохімічного перетворення становить близько 50%, а з урахуванням теплової енергії - до 80%. Основне застосування цієї технології полягає у виробництві електричної та теплової енергії для різних приміщень. Також проводяться розробки систем для промислового використання. SOFC широко використовуються як первинні і портативні резервні джерела великої ємності. Останнім часом також ведуться дослідження з використання SOFC в автомобільній промисловості, хоча вони застосовуються лише як допоміжні системи живлення, а не як основний силовий агрегат. Уже існує досвід комерційного виробництва установок потужністю 1 МВт.

Деякі компанії-виробники: Acumentrics (США), Ceramic Fuel Cells Limited (CFCL, Австралія), Mesoscopic Devices LLC (США), NanoDynamics Energy, Inc. (США), Rolls-Royce (США), Siemens Westinghouse (Німеччина).

MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) – паливний елемент на основі розплавленого карбонату (солі натрію, калію або літію). Паливні елементи

даного типу так само, як і паливні елементи з твердим керамічним електролітом функціонують при високих температурах – 600 – 1000 ° С. Паливні елементи на основі розплавленого карбонату вимагають значного часу запуску і не дозволяють оперативно регулювати вихідну потужність, тому основний акцент в їх застосуванні – великі стаціонарні джерела теплової та електричної енергії. Вони відрізняються високою ефективністю перетворення палива – електричний ККД сягає 60%.

Широке промислове використання технології обумовлюють три чинники:

- електрохімічні процеси в MCFC не вимагають використання дорогих каталізаторів (застосовується нікель Ренія);
- в якості палива може використовуватися ціла низка натуральних і синтетичних палив;
- високі температури процесів не потребують додаткового «реформінгу» палива.

Недолік MCFC полягає в тому, що вони не можуть працювати на чистому водні, а високі температури і хімічні реакції призводять до корозії і прискорюють процес зносу елементів конструкції.

Деякі компанії-виробники: Ansaldo Fuel Cells SpA (Італія), FuelCell Energy (США), GenCell Corporation (США), MTU CFC Solutions GmbH (Німеччина) [6].

Висновки до розділу 1

Паливний елемент представляє собою електрохімічний генератор, який безпосередньо перетворює хімічну енергію в електричну енергію. Важливою особливістю паливних елементів є два аспекти: по-перше, вони продовжують працювати, поки отримують паливо та окиснювач зовнішньо; по-друге, хімічний склад електроліту залишається незмінним протягом роботи, що означає, що паливний елемент не вимагає перезарядки. Паливний елемент складається з двох електродів, розділених електролітом і систем підведення палива на один електрод та окиснювача - на другий, а також системи для видалення продуктів реакції. Паливні елементи класифікуються за робочою температурою, первинні або вторинні, прямий та не прямий, за типом використовуваного електроліту.

РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКЦІЯ ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТА ТА ОПИС РОБОТИ

2.1. Конструкція паливного елемента

Етаноловий паливний елемент є одним з типів паливних елементів, які використовуються для отримання електричної енергії з окисненням етанолу. Конструкцію етанолового паливного елемента (ПЕ) ви можете спостерігати на рис.2.1 [1].

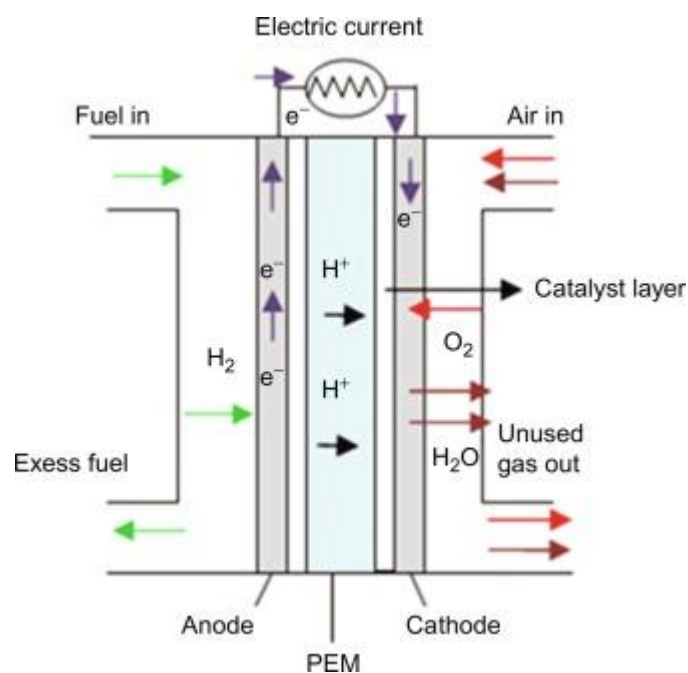


Рис. 2.1. Конструкція етанолового паливного елемента

Етаноловий ПЕ складається з наступних основних елементів [2]:

1. **Анод:** Анод утворений каталізатором, який сприяє окисненню етанолу. Зазвичай використовуються платина або родій як каталізатори на аноді.
2. **Катод:** Катод використовує кисень з повітря для реакції з воднем, утвореним на аноді, щоб утворити воду. Катод може бути виготовлений з пористого карбонового матеріалу, який покритий каталізатором, таким як платина.
3. **Електроліт:** Електроліт використовується для передачі іонів між анодом та катодом. Для етанолових паливних елементів можуть

використовуватися різні типи електролітів, такі як кислотний електроліт або полімерний мембранний електроліт.

4. Паливна камера: Вона містить етанол, який поступає на анод для реакції окиснення.

5. Киснева камера: Кисень з повітря подається в кисневу камеру, де відбувається реакція з воднем на катоді.

6. Конектори та проводи: Вони використовуються для підключення паливного елемента до зовнішнього кола для збору та використання отриманої електричної енергії [12].

На рис.2.1 наведена загальна конструкція етанолового паливного елемента. Проте конкретна конструкція може варіюватися залежно від типу та виробника ПЕ. Етанолові паливні елементи є екологічно чистими джерелами енергії, оскільки при реакції утворюється лише вода та діоксид вуглецю. Вони можуть бути використані для живлення портативних пристроїв, транспортних засобів та інших застосувань, які потребують електричної енергії.

2.2. Опис роботи паливного елемента

Етаноловий паливний елемент - це пристрій, який використовує етанол як паливо для виробництва електричної енергії. Основний принцип роботи етанолового паливного елемента базується на окисненні етанолу (C_2H_5OH) на аноді та редукції кисню (O_2) на катоді [3].

Відбувається реакція на таких ділянках паливного елемента як:

- Анод: Деякі етанолові паливні елементи використовують пряме окиснення етанолу на прямому аноді. В цьому випадку етанол розщеплюється на аноді на протони (H^+), електрони (e^-) та вуглекислий газ (CO_2). Деякі паливні елементи використовують каталізатори, такі як родій (Ru) або платина (Pt), для полегшення цього процесу.

- Електроліт: Етаноловий паливний елемент використовує провідний електроліт, який допускає перенесення протонів (H^+) від анода до катода. Це може бути кислотний електроліт, наприклад, розчин сульфатної кислоти

(H_2SO_4), або полімерний електроліт, такий як Nafion, що має здатність проводити іони H^+ .

- Катод: На катоді відбувається редукція кисню, де електрони (e^-) з анода та протони (H^+) з електроліту реагують з киснем, утворюючи воду (H_2O) [10].

Електричний струм утворюється, коли електрони, що виникають внаслідок окиснення етанолу на аноді, переходять до катода через зовнішнє коло, забезпечуючи електричне живлення підключених пристроїв.

Головною перевагою етанолових паливних елементів є їх висока енергетична щільність і здатність до довготривалої роботи без необхідності частого заряджання. Крім того, етанол можна виробити з різних джерел, включаючи біомасу, що робить його відновлюваною формою енергії.

Детальніше про принцип роботи паливного елемента, ми можемо спостерігати на прикладі виробництва енергії для автомобілів на рис. 2.2. На діаграмі (рис. 2.2) показано, як паливні елементи з етанолом використовують окислення етанолу для каталізації виробництва енергії для автомобілів [15].

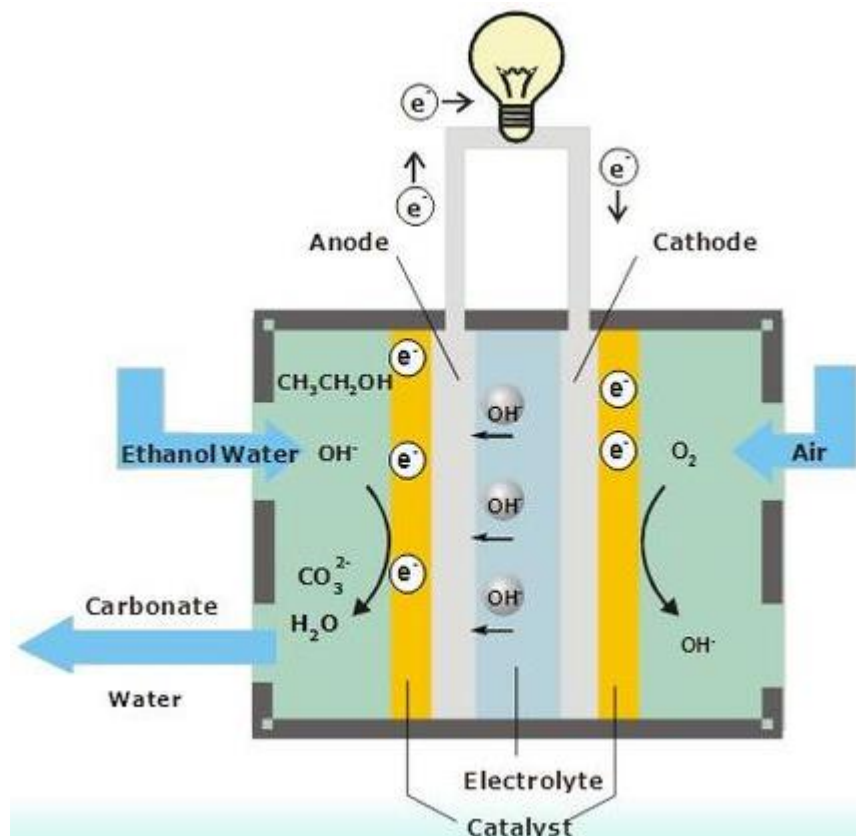


Рис. 2.2. Паливний елемент з окисленням етанолу

Етанол закачується в паливний елемент, де він вступає в реакцію окислення на аноді, вивільняючи електрони, вода утворюється як побічний продукт, який зв'язується з водою, утворюючи карбонатну воду. Вивільнені електрони рухаються від анода по зовнішньому контуру, виробляючи енергію для двигуна. Протони (H^+), які утворюються в анодних реакціях, переміщуються через обмінну мембрану, реагуючи з киснем на катоді з утворенням гідроксиду. Потім ці молекули гідроксиду транспортуються до анода, де вони беруть участь у реакції окислення [3]:

2.3 Конструкція етанолового паливного елемента для проведення експериментальних досліджень

На кафедрі комп'ютерної інженерії та електромеханіки КНУТД є лабораторний зразок ПЕ на етанолі Мікро-DEFC, отриманий від партнерів з Німеччини – Кооперативного державного університету (DHBW) Баден-Вюотемберга в рамках угоди про співробітництво між DHBW та КНУТД. Загальний вигляд ПЕ Мікро-DEFC наведений на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Загальний вигляд лабораторного зразка етанолового ПЕ

Лабораторний зразок Мікро-DEFC (рис. 2.4) складається з наступних елементів: 1 – кришка; 2 – лопать пропелера; 3 – мембрана (MEA); 4 – контейнер

для розчину етанолу; 5 – контакти для підключення додаткових елементів.

До складу лабораторного зразка додані додаткові елементи, за допомогою яких можуть бути проведені експериментальні дослідження ПЕ. Специфікація додаткового до лабораторного зразка обладнання наведена в табл. 2.1 [14].

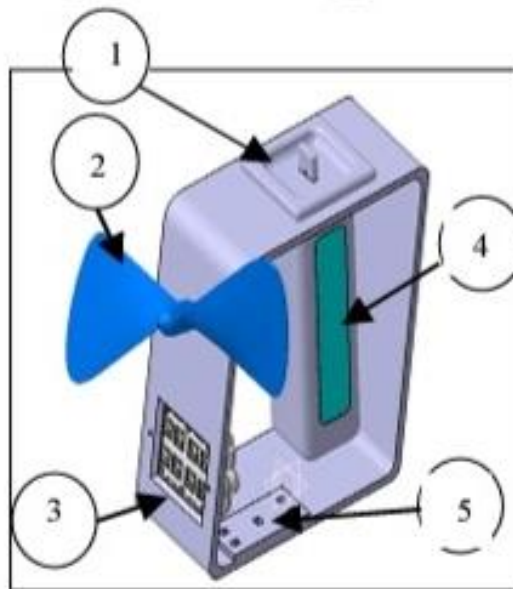


Рис. 2.4. Лабораторний зразок ПЕ Мікро-DEFC

Таблиця 2.1 – Опис додаткових елементів до лабораторного зразка Мікро-DEFC

| | Кількість | Елемент |
|----|------------------|--|
| 1 | 1 | Паливний елемент Horizon FCJJ-22 |
| 3 | 2 | Мультиметр |
| 4 | 100ml | Етанол/метиловий спирт |
| 5 | 1l | Деіонізована вода |
| 6 | 1 | Резистор 1W 1Ω, 3Ω, 5Ω, 10Ω, 50Ω, 100Ω, 200Ω |
| 7 | 1 | Лабораторний термометр |
| 8 | 1 | Ваги/стакан |
| 9 | | Лабораторні кабелі та кліпси |
| 10 | | Кубики льоду |

На рис. 2.5 на кресленні ПЕ наведені його основні геометричні розміри.

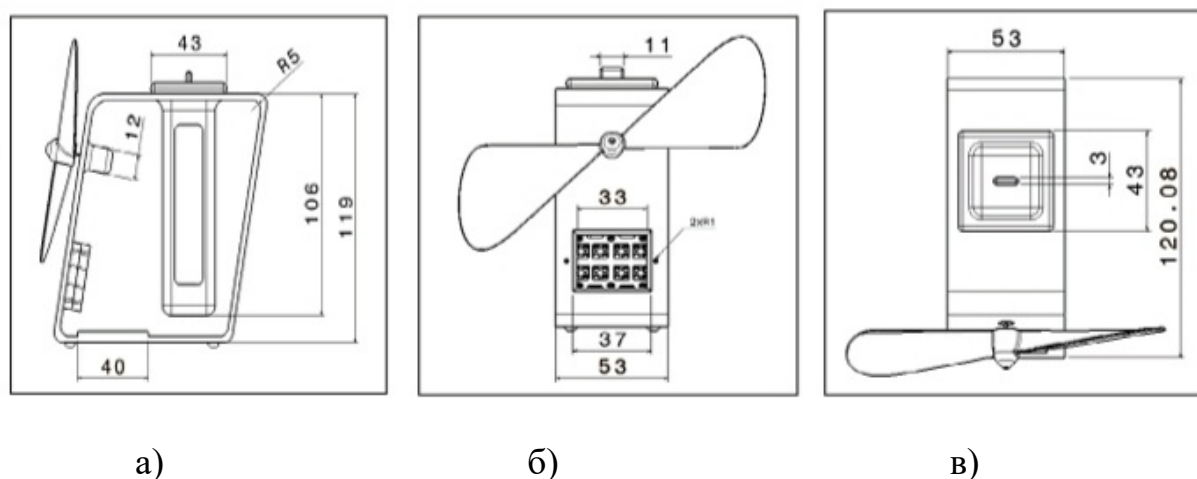


Рис. 2.5. Креслення експериментальної установки ПЕ:

а) вид спереду; б) вид збоку; в) вид зверху

На рисунку 2.6 ми можемо спостерігати реакції які відбуваються в ПЕ.

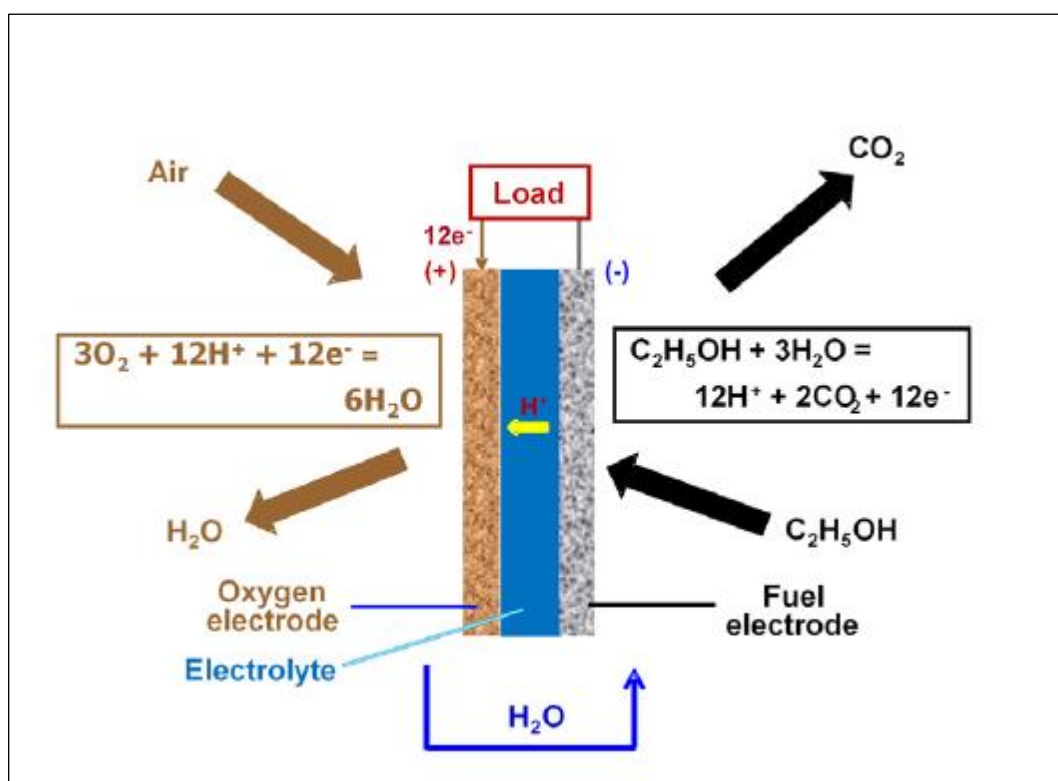
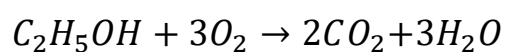
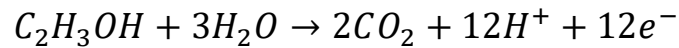


Рис. 2.6. Реакції в паливному елементі

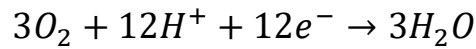
Основна реакція



Анод



Катод



За певних умов реакція припиняється з утворенням оцтової кислоти наступним чином [11]:



Висновки до 2 розділу

Етаноловий паливний елемент складається з таких основних елементів як: анод, катод, електроліт, паливна камера, киснева камера, конектори та проводи.

Основний принцип роботи етанолового паливного елемента базується на окисненні етанолу (C_2H_5OH) на аноді та редукції кисню (O_2) на катоді.

Паливний елемент отримує етанол, який проходить реакцію окислення на аноді. Під час цієї реакції етанол виділяє електрони, а вода утворюється як побічний продукт, що реагує з водою і утворює карбонатну воду. Вивільнені електрони рухаються по зовнішньому контуру від анода, надаючи енергію для роботи двигуна. Протони (H^+), що утворюються в анодних реакціях, переміщуються через обмінну мембрану і реагують з киснем на катоді, утворюючи гідроксид. Молекули гідроксиду потім транспортуються до анода, де вони беруть участь у реакції окислення.

У лабораторії кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки Київського національного університету технологій та дизайну (КНУТД) є прототип паливного елемента на етанолі, відомий як Мікро-DEFC (мікро прямий етиленовий паливний елемент). Цей паливний елемент складається з наступних частин: кришка, лопать пропелера, мембрана, контейнер для розчину, контакти для підключення додаткових елементів і список самих додаткових елементів, які були в лабораторії. Вказані геометричні розміри ПЕ та реакції, які відбуваються в ньому.

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛАБОРАТОРНОГО ЗРАЗКА ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ

3.1 Дослідження перетворення хімічної енергії розчину етанолу в електричну енергію

Експериментальні дослідження проводили на лабораторному зразку паливного елемента на етанолі Мікро-DEFC.

По перше, ми вийняли лопаті вентилятора з коробки, повільно і обережно натиснули на вісь двигуна

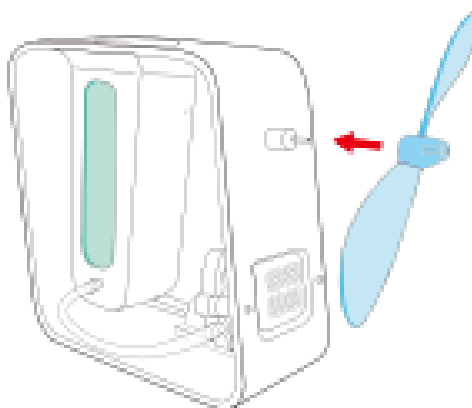


Рис. 2.7. Вийняття лопастей з коробки

По друге, відкрили продуктивний клапан, натиснувши на праву сторону, переконалися, що трубка яка з'єднує контейнер до паливного елемента надійно прикріплена.

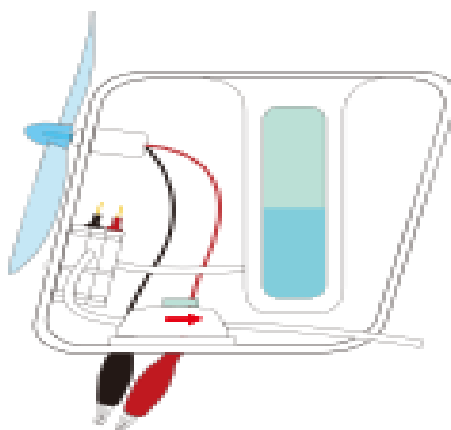


Рис. 2.8. Відкриття продуктивного клапана

По третє, перелили розчин у ємність з етанолом, заклавши ємність кришкою. Коли розчин почне капати з пробірки, закрили продувний клапан, натиснувши перемикач ліворуч. Потім потрібно зачекати 5-10 хвилин, перш ніж підключати дроти



Рис. 2.9. Переливання розчину у ємність з етанолом

По четверте, почекавши 5-10 хвилин, приєднали два затискачі які прикріплені до двигуна, до двох клемних пластин струмоприймача паливних елементів, обидві розташовані у верхній частині паливного елемента.

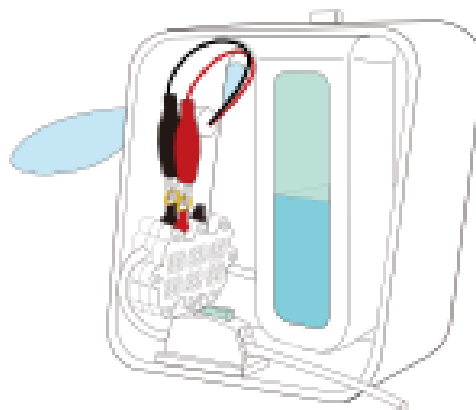


Рис. 2.10. Приєднання затискачів

Зачекавши 5-10 хвилин із від'єднаними затискачами від паливного елемента після підключення, вентилятор повинен почати обертатися сам. Оскільки реакція повільна, вентилятор може працювати до кількох годин без очищення.

3.2 Дослідження полярності паливного елемента

Перший крок: Підключили позитивний (червоний) затискач до позитивного боку паливного елемента (червона позначка «+»), а потім підключили негативний (чорний) затискач до негативного боку паливного елемента (чорна позначка «-»). Ми помітили, що вентилятор обертається за годинниковою стрілкою.

Другий крок: Повторили процес, але цього разу під'єднали позитивний (червоний) затискач до негативного боку паливного елемента (чорна позначка «-»), а негативний (чорний) затискач – до позитивного боку паливного елемента (червоний). знак «+»). Ми помітили, що вентилятор обертатиметься проти годинникової стрілки.

Висновок: Струм тече від плюса до мінуса, створюючи обертання вентилятора за годинниковою стрілкою. Змінюючи полярність з'єднань потік струму змінюється і змушує вентилятор обертатися в протилежному напрямку.

3.3 Дослідження споживання етанолу

Коли вентилятор починає працювати повільніше або повністю припиняє роботу, це означає, що етанол присутній у камері паливного елемента, витрачається переважно. За нормальних температурних умов більша частина етанолу всередині камери паливного елемента перетворюється на оцтову кислоту, яка є основним компонентом оцту.

Досліджуємо витрачене паливо (оцтова кислота), коли вентилятор починає працювати повільно.

Перший крок: Помістили аркуш паперу під вихідний отвір продувної трубки.

Другий крок: Повільно відкрили клапан, посунувши перемикач вправо і випустили краплю розчину на папір, а потім закрили клапан. Ви можете побачити, як колір паперу швидко змінюється на червонуватий.

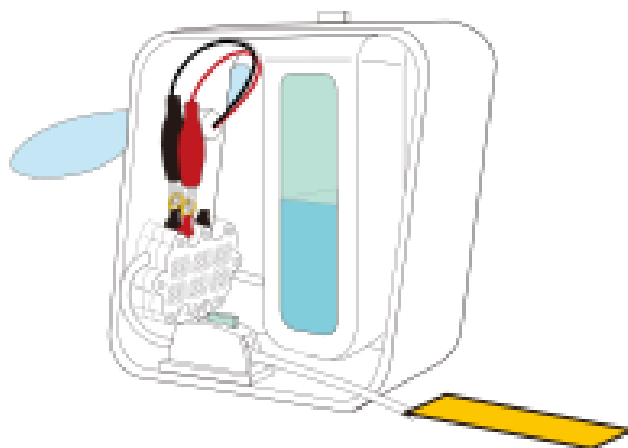


Рис. 2.14. Зміна кольору паперу

Третій крок: Опустили новий папір у ємність з розчином. Ми помітили, що колір паперу змінюється дуже повільно.

Різниця в забарвленні паперу свідчить про зміну рівня кислотності. Етанол перетворюється на оцтову кислоту під час реакції, що відбувається на стороні анода паливного елемента і розчину помітно змінюється від рівня 6 до рівня 2, показуючи червоний колір. Хімічні реакції, що відбуваються на аноді, показують, що оцтова кислота утворюється, коли протони водню відходять від молекули етанолу та молекули води. Ці протони водню перетинають мембрану паливного елемента, а звільнені електрони утворюють електрику, яка здатна рухати вентилятор.

Висновок: Прямий етаноловий паливний елемент створює електроенергію шляхом хімічного перетворення розчину етанолу в кислотний розчин, який схожий на звичайний оцет. Щоб паливний елемент працював безперервно, відпрацьоване паливо потрібно регулярно замінювати новим.

3.4 Дослідження впливу концентрації етанолу

Ви можете вносити різні концентрації пального етанолу в початкову суміш. Для 15% розчину додайте 9 мл чистого етанолу і долийте води до рівня 60 мл. Ми використовували мультиметр для вимірювання різниці напруг, що створюється паливним елементом. Експериментуючи, ми побачили, що збільшення або зменшення концентрації етанолу помітно не прискорює роботу вентилятора. Причина цього в тому, що можливості каталізатора, який

використовується на протонообмінній мембрані в паливному елементі, обмежені. Подібно до багатьох людей, які проходять через вузькі двері, швидкість людей, що проходять через двері визначається шириною дверей, а не кількістю людей.

Діапазон безпечних експериментів для Bio-Energy Kit знаходиться в межах концентрації етанолу від 5 до 15%. Зверніть увагу, що концентрація не може перевищувати 15-20%, інакше це призведе до остаточного пошкодження паливного елемента.

Якщо пристрій не використовуватиметься більше одного дня, спочатку вилийте розчин із контейнера, а потім видаліть весь розчин, що залишився в паливному елементі, наливши в контейнер очищену або дистильовану воду. Переконайтеся, що продувний клапан переведено в правий бік. Переконайтеся, що вся очищена або дистильована вода витікає з контейнера. Не дозволяйте розчину залишатися в паливному елементі, інакше він пошкодить паливний елемент.

3.5 Отримання електроенергії в паливному елементі за допомогою вина та пива

Ми спробували використовувати різні види алкоголю, наприклад вина, виготовлені з винограду або рису замість розчину етанол/вода.

Виконали кроки експерименту 1, створивши електрику з етанолу та води.

Використовувані спирти повинні бути в межах 5-15% алкоголю. Якщо ви використовуєте алкоголь, концентрація якого перевищує 20%, додайте в спирт достатню кількість води, щоб зберегти необхідний діапазон концентрації 5-15%.

Використання нечистого етанолу може погіршити роботу паливного елемента. Ви можете провести експерименти з використанням нечистого етанолу, коли всі інші експерименти з використанням чистого етанолу будуть завершені.

Коли ми завершили всі кроки, як в експерименті 1, ми помітили, що вентилятор може працювати дуже повільно або може не працювати. Вживання різних сортів алкоголю може вплинути на продуктивність, це пов'язано з

чистотою розчину оскільки деякі спирти, такі як вино містять елементи, які можуть закупорювати мембрану на паливному елементі, обмежуючи його проникність.

3.6 Дослідження впливу температури

Перш ніж дути теплим повітрям у паливний елемент, ми перевірили температуру рукою, щоб переконатися, що повітря не надто гаряче (бажано нижче 60 °C).

Перший крок: Використали фен, щоб подути теплим повітрям у бік паливного елемента або це можна замінити помістивши тепліший розчин етанолу/води в резервуар для зберігання етанолу. Ми помітили, що двигун і вентилятор працюють на вищій швидкості.

Другий крок: Користувалися мультиметром для вимірювання напруги, виробленої паливним елементом. Ми перевірили, що за різних температурних умов виробляються різні напруги.

При більш високих температурах атоми мають тенденцію рухатися швидше і швидше за все взаємодіяти з каталізаторами, розташованими на поверхні мембрани. З більшою кількістю взаємодій реакція прискорюється і може вироблятися більше електроенергії, що означає, що вентилятор починає обертатися швидше.

Саме з цього ми зробили висновки, що більш висока температура збільшить ймовірність взаємодії молекул етанолу з каталізаторами, розташованими на поверхні мембрани, що прискорить швидкість хімічної реакції. По друге, висока температура також може зробити мембрану більш активною, тому вона продемонструє підвищену здатність протонного обміну всередині мембрани та збільшить швидкість двигуна вентилятора.

Підвищення потужності етанолових паливних елементів можна здійснити шляхом підвищення їх робочої температури або температури палива.

Висновки до розділу 3

Коли ми досліджували перетворення хімічної енергії розчину етанолу в електричну енергію ми виявили що, паливний елемент, який використовує прямий етаноловий процес, генерує електроенергію шляхом хімічного перетворення етанолу, розчиненого у кислотному середовищі, подібному до звичайного оцету. Щоб забезпечити безперебійну роботу паливного елемента, необхідно періодично замінювати використане паливо новим.

Дослідження полярності паливного елемента показало нам що, потік струму в даному випадку направлений від плюса до мінуса, що призводить до годинникового обертання вентилятора. Змінюючи полярність з'єднань, можна змінити напрямок потоку струму, що змушує вентилятор обертатися в протилежному напрямку.

Дослідження полярності етанолу показало нам, що щоб забезпечити неперервну роботу прямого етанолового паливного елемента, потрібно періодично замінювати використане паливо новим. Цей тип паливного елемента генерує електроенергію шляхом хімічного перетворення розчину етанолу у кислотному середовищі, подібному до звичайного оцету.

Досліджуючи вплив концентрації етанолу, ми виявили, що збільшення або зменшення концентрації етанолу помітно не прискорює роботу вентилятора.

Наша спроба отримати електроенергії в паливному елементі за допомогою вина та пива показала нам, що продуктивність паливного елемента може бути вплинута вживанням різних сортів алкоголю через чистоту розчину. Деякі алкогольні напої, такі як вино, можуть містити елементи, які можуть утворювати засмічення на мембрані паливного елемента, обмежуючи його проникність. Очищені розчини алкоголю зазвичай є більш підходящими для досягнення оптимальної продуктивності паливного елемента.

ВИСНОВКИ

1. В рамках даної дипломної роботи був проведений детальний аналіз та дослідження етанолового паливного елемента.
2. Були проведені дослідження лабораторного зразка паливного елемента а саме: дослідження перетворення хімічної енергії розчину етанолу в електричну енергію, дослідження полярності паливного елемента, дослідження споживання етанолу, дослідження впливу концентрації етанолу, отримання електроенергії в паливному елементі за допомогою вина та пива, дослідження впливу температури.
3. Під час дослідження було також виявлено деякі виклики і проблеми, пов'язані з етаноловими паливними елементами. Один з основних аспектів - це ефективність конвертації етанолу в електричну енергію, яка наразі є нижчою, ніж у деяких інших типів паливних елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. United States Department of Energy. (2022). Ethanol Fuel Cells: State of the Art and Future Perspectives. Retrieved from www.energy.gov
2. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. (2022). Дослідження та розвиток паливних елементів в Україні. [Електронний ресурс]. Доступно на: www.mev.gov.ua.
3. Коровін, Н. В. (2009). Паливні елементи і електрохімічні енергоустановки.
4. Іваненко, В., & Петренко, О. (2022). Етанолові паливні елементи: переваги та виклики. Вісник Національного університету "Львівська політехніка", 962, 86-91.
5. Ковальов, С., & Мельник, О. (2021). Використання етанолу як палива для паливних елементів. Енергетика та паливна економіка, 4(25), 75-80.
6. Martinez, C., & Lee, S. (2020). Electrochemical Characterization of Ethanol Fuel Cells for Portable Power Applications. *Electrochimica Acta*, 2012 <https://www.mdpi.com/2311-5629/8/3/44>.
7. International Energy Agency. (2021). Technological Roadmap: Fuel Cells for Transport, 2021. Retrieved from www.iea.org.
8. Черкасов, І., & Кравченко, О. (2020). Електрохімічна характеристика етанолових паливних елементів з різними каталізаторами. Журнал фізичних досліджень, 1, 56-61.
9. Михайлів, М. І. Створення локальних джерел електроенергії на базі паливних комірок / М. І. Михайлів, П. В. Савуляк // Нафтогазова енергетика. - 2012.
10. National Renewable Energy Laboratory. (n.d.). Fuel Cell Research. Retrieved from www.nrel.gov
11. Fuel Cells Works. (n.d.). Ethanol Fuel Cells. Retrieved from www.fuelcellsworks.com
12. Ковальчук, І., & Гончарук, В. (2018). Електрохімічні джерела струму на основі етанолу. Ужгород: Видавництво УжНУ "Говерла"
13. Литвин, В., & Козак, А. (2019). Паливні елементи: технології, матеріали, застосування. Київ: Видавничий дім "Слово".

14. Zhang, Y., Wang, H., & Zhang, J. (2022). Recent Advances in Ethanol Fuel Cells: Materials, Catalysts, and Performance. *Journal of Power Sources* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877532300109X>
15. Saito, T., Fujii, K., & Uchida, H. (2021). High-Performance Direct Ethanol Fuel Cells <https://www.mdpi.com/2311-5629/8/3/44>

Додаток

Огляд зарубіжної літератури

1. United States Department of Energy. Ethanol Fuel Cells: State of the Art and Future Perspectives, 2022. Retrieved from www.energy.gov

You will find data on different types of energy, energy efficiency programs, renewable energy incentives, fuel cells, and other energy-related technologies and initiatives on this website.

2. Martinez, C., & Lee, S. (2020). Electrochemical Characterization of Ethanol Fuel Cells for Portable Power Applications. *Electrochimica Acta*, 2012
<https://www.mdpi.com/2311-5629/8/3/44>

The link is to an article titled "Recent Advances in Ethanol Fuel Cells: Materials, Catalysts, and Performance" in the journal MDPI Catalysts. This article reviews recent advances in ethanol fuel cells, particularly in the areas of materials, catalysts, and performance.

The article describes modern methods and technologies used in the development of ethanol fuel cells. Various materials used in fuel cells are considered, such as electrodes, electrolytes and cathodes. Catalysts that can improve the kinetics of electrochemical reactions in ethanol fuel cells are also analyzed. The performance of fuel cells is studied and the factors affecting their efficiency are highlighted.

3. International Energy Agency. (2021). Technological Roadmap: Fuel Cells for Transport, 2021. Retrieved from www.iea.org

The website www.iea.org provides a variety of information such as reports, statistics, analysis and forecasts on the development of energy technologies, including fuel cells. The International Energy Agency studies and analyzes energy-related fuel markets, technologies and policies, and develops recommendations for energy policy and sustainable development. There are also official reports and documents dealing with fuel cells and their impact on the energy sector.

4. National Renewable Energy Laboratory. (n.d.). Fuel Cell Research. Retrieved from www.nrel.gov

Leads to the website of the National Renewable Energy Laboratory (NREL), the national renewable energy research center in the United States. This website is a valuable source of information on renewable energy sources, including fuel cells and other technologies.

The National Renewable Energy Laboratory is engaged in research, development and implementation of innovative solutions in the field of renewable energy. NREL also conducts market analyses, technology assessments, and develops recommendations to promote fuel cells and renewable energy development.

5. Fuel Cells Works. (n.d.). Ethanol Fuel Cells. Retrieved from www.fuelcellsworks.com

This website provides access to the latest news, articles and information related to the development of fuel cell technologies. On the FuelCellsWorks website, you will find a wide range of materials such as news, press releases, articles and blogs covering various aspects of fuel cells. This includes market reviews, technology developments, the use of fuel cells in various industries, and other related topics. FuelCellsWorks also publishes information on new research, conferences and events related to fuel cells

6. Zhang, Y., Wang, H., & Zhang, J. (2022). Recent Advances in Ethanol Fuel Cells: Materials, Catalysts, and Performance. *Journal of Power Sources* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877532300109X>

Leads to an article titled "Ethanol fuel cell: A review" in the *Journal of Power Sources* on the ScienceDirect platform. This article reviews ethanol fuel cells. The article describes the principles of the ethanol fuel cell and its features. It examines various aspects related to ethanol fuel cells, including electrode types, catalysts, electrolytes, and the electrochemical reactions that occur in these systems. The advantages and limitations of using ethanol as a fuel for fuel cells are also analyzed. The article presents the results of research conducted in the field of ethanol fuel cells and analyzes the progress in this area.

7. Saito, T., Fujii, K., & Uchida, H. (2021). High-Performance Direct Ethanol Fuel Cells <https://www.mdpi.com/2311-5629/8/3/44>

This article presents the latest achievements and prospects for the development of ethanol fuel cells. The article reviews the latest research and development in the field of ethanol fuel cells. The authors consider various aspects related to this type of fuel cells, including catalysts, electrodes, electrolytes and features of the electrochemical reactions occurring in them. The article analyzes the advantages and challenges associated with the use of ethanol as a fuel for fuel cells. Examples of potential applications for ethanol fuel cells are also presented, including transportation, stationary power systems, and portable devices.