

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Медичний факультет  
Кафедра хімії та фармації**

**ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ ЗАСТОСУВАННЯ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ДЛЯ  
ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ**

Кваліфікаційна робота (проект)

на здобуття ступеня вищої освіти “бакалавр”

Виконала: студентка 4 курсу  
Спеціальності 102 Хімія  
Освітньо-професійної (наукової) програми  
102 Хімія  
Сосновська Каріна Геннадіївна

Керівники  
кандидат хімічних наук, доцент  
Волкова Світлана Андріївна  
доктор медичних наук, професор  
Ромаскевич Юрій Олексійович

Рецензент  
кандидат біологічних наук, доцент  
Карпукіна Юлія Вікторівна

Херсон – 2019

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1 ЕНЕРГЕТИКА: ПЕРСПЕКТИВИ УКРАЇНИ .....	7
1.1. Сучасні джерела енергії .....	7
1.2. Енергозбереження.....	14
1.3. Хімічні джерела струму .....	15
РОЗДІЛ 2. ГАЛЬВАНІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ .....	17
2.1. Типи гальванічних елементів.....	17
2.2. Електродний потенціал. Рівняння Нернста .....	19
2.3. Гальванічний елемент Якобі-Данієля .....	21
2.4. Гальванічні елементи Лекланше та інші.....	26
2.5. Гальванічні елементи.....	28
2.6. Концентраційний гальванічний елемент .....	31
РОЗДІЛ 3. АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ .....	33
3.1. Воднева енергетика в Україні .....	33
3.2. Біоенергія .....	38
3.3. Охорона довкілля .....	40
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Погіршення здоров'я людей та екологічні проблеми, які відбуваються в результаті зміни стану оточуючого середовища, стали атрибутом сучасності. В нашій країні багато людей не розуміє діалектичну природу хімії та інших природничих наук, їх користі та можливої шкоди, призводить до намагання знизити необхідність хімічної та природничої освіти. Діяльність людства та властивості екосфери трансформують абсолютно всі земні сфери (атмосферу, гідросферу, літосферу, біосферу) [44].

Людський вплив на довкілля з кожним роком стає все більш відчутним і у багатьох випадках його дія порушує нестійку природну рівновагу. Культура поведінки людства та екологічна культура залежать від багатьох факторів, серед яких одним із головних є екологічна освіта та усвідомлення наслідків недбалого ставлення до довкілля [5, 38].

Через складну ситуацію з довкіллям, яка склалася через антропогенну дію людства, з'явилась негативна громадська думка, в нашій країні, щодо хімії та особливо негативним є відношення до хімічних та металургічних виробництв. При цьому люди не думають, що винна не хімія, а недостатньо освічені люди, які вважають що країна та люди в ній можуть прожити без знань хімії. Екологічна криза призводить до переосмислення співвідношення у трикутнику «природа – людина – суспільство» та пошуку гармонізації і безпеки [17, 20].

Впровадження енергозберігаючих технологій, використання нових джерел енергії та хімічних речовин можуть скоротити імпорту енергоресурсів з країн які оказують політичний тиск на нашу країну. Також, зменшення кількості енергії (електричної, теплової) в собівартості продукції дасть можливість стати Україні конкурентоспроможною на зовнішніх та внутрішніх ринках [34].

Природні ресурси світу різноманітні, але їх не завжди вистачає. Це компоненти живої та неживої природи, які людство використовує або зможе це

зробити в майбутньому як предмети виробництва та споживання. До них належать: сприятливі кліматичні умови (енергія, яку людство отримує від сонця, вітру, води), мінеральна сировина, вода, ґрунти, тварини, рослини, чисте повітря [41].

Потреби українського суспільства в енергії – колосальні. Великі металургійні та хімічні підприємства, автомобілі, багатоповерхневі житлові будинки – це постійно вимагає безперервного надходження електроенергії, газу, води та бензину. [16]

Низький рівень забезпеченості України власними енергоресурсами пояснюється надзвичайною марнотратністю її економіки. Енергоємність України у 2,6 разів перевищує середній рівень енергоємності розвинених країн світу. Більшість промисловості в Україні побудована на основі застарілих радянських технологій, та використовує зношене обладнання. Зміна обладнання підприємств хімічної, металургійної, машинобудівної галузей потребує значного капіталу та часу, але продукція цих галузей – це основні українські товари на світових ринках [9].

Забруднення навколишнього середовища та вичерпання викопних видів палива призвело до того, що в більшості країн взято курс на розвиток альтернативної енергетики як більш екологічно чистого виду палива.

Головними перевагами альтернативної енергетики є екологічність та багата ресурсна база для одержання енергії, можливість використання в різних галузях (на транспорті, в енергетиці, у елементах живлення та ін.). В наш час альтернативні технології не мають такої якості та ефективності, щоб вони змогли витіснити традиційну енергетичну базу та існуючі види палива [11].

В Україні дослідження альтернативних технологій знаходяться в початковій стадії. При успішному розвитку технологій використання хімічних речовин, Україна могла б раціонально використати свою базу енергоресурсів,

диверсифікувати джерела енергії, зменшити рівень стратегічної енергетичної залежності (особливо від Росії), поліпшити екологічний стан в країні [12].

Нетрадиційні джерела енергії розглядаються фахівцями як спосіб вирішення завдань та проблем енергетики, але у розвинутих країнах світу їй виділяються значні кошти на розвиток та впровадження альтернативних технологій. Ці технології дуже динамічно розвиваються у США, Канаді, Японії, країнах ЄС, де є значний обсяг науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи та проводяться активні роботи з комерціалізації альтернативної енергетики. В світі є значна кількість енергетичних установок на паливних елементах, які мають потужність від одиниць ват до мегават, які конкурентоспроможні з традиційними енергоустановками. Наприклад, у США на водневу енергетику виділяється приблизно 1 млрд. дол. на рік. Зараз у більшості країн ЄС, спостерігається швидке зростання використання нетрадиційної енергетики [12].

До первинної енергії відносяться: сонячна, атомна, приливна та геотермальна, вітряна енергія, енергія хвиль. Альтернативні форми енергії не обмежені геологічними запасами, на відміну від традиційних видів. Тому їх використання та споживання не призводить до вичерпання корисних копалин [10].

Нетрадиційні джерела енергії є перспективними технологіями для України, а напрям на виробництво альтернативної енергії дозволить отримувати енергоефективні та екологічно чисті технології майбутнього (XXI століття) [12].

Пристрої, які виробляють електричний струм під час перебігу хімічних реакцій, називають хімічними джерелами струму (ХДС).

До хімічних джерел струму відносяться гальванічні елементи, акумулятори, паливні елементи

**Мета дослідження:** застосування хімічних джерел для отримання електричного струму з точки зору екології.

**Завдання:**

1. Проаналізувати навчальну та науково-методичну літературу по використанню різних хімічних речовин для виробництва електроенергії.
2. Вивчити теоретичні відомості по отриманню електроенергії за різних умов з альтернативних джерел.
3. З'ясувати за літературними даними оптимальні умови для отримання електроенергії з різних хімічних речовин.

**Об'єкт досліджень:** застосування хімічних речовин для отримання енергії.

**Предмет досліджень:** застосування хімічних джерел для отримання електричного струму.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (45 найменувань). Повний обсяг дипломної роботи становить 46 сторінок.

В першому розділі розглянуто загальну характеристику альтернативних методів отримання електроенергії.

В другому розділі наведена загальна характеристика хімічних речовин при методів отримання електроенергії.

В третьому розділі представлені види альтернативної енергетики та охорони довкілля.

## РОЗДІЛ 1

### ЕНЕРГЕТИКА: ПЕРСПЕКТИВИ УКРАЇНИ

#### 1.1. Сучасні джерела енергії

Найголовнішим джерелом енергії в Сонячній Системі є Сонце (30% сонячної енергії). Ця енергія, коли досягає Землі, відбивається назад у космос, при цьому 47% витрачається на збільшення температури земної поверхні, 22% – на кругообіг води у природі, 0,1% – на утворення вітру, океанічних течій, хвиль та тільки 0,03% поглинається рослинами під час фотосинтезу).

Завдяки процесу фотосинтезу в рослинах людство має головні форми джерел енергії – горючі корисні копалини та біомасу. Кожен рік земна поверхня отримує від Сонця енергію в кількості  $3 \cdot 10^{24}$  Дж. Якщо порівняти цю кількість з оцінками енергії, яка знаходиться у розвіданих запасах корисних копалин: природного газу, нафти, вугілля, урану, біогазу та інших джерел енергії, то зрозуміло, що за один тиждень Земля отримує від Сонця таку ж кількість енергії, що майже удвічі більша, ніж усі відомі запаси енергії на Землі. [30]

Усі джерела енергії можна поділити на невідновлювальні і відновлювальні.

Невідновлювальні джерела енергії характеризуються неможливістю їхнього поповнення після використання. Відновлювальні джерела енергії можуть поповнюватись природним шляхом за порівняно короткий час. Тому вони мають майже постійну потужність (наприклад, кількість енергії, яку отримують з допомогою сонячних батарей, залежить не тільки від їх потужності, а від кількості сонячних днів, яка відрізняється кожного року). [34]

Світова енергетична рада вводить таку класифікацію – енергетичні ресурси поділяють на 16 видів, серед яких є окремі групи, пов'язані між собою [28]:

– за рівнем і масштабом освоєння: традиційні та нетрадиційні;

– за природою енергоутворення: відновлювані та невідновлювані.

До традиційних енергоресурсів, відносять всі невідновлювані види джерел енергії (природний газ, сира нафта, вугілля, ядерна енергія, горючі сланці), а також гідроенергію великих рік та торф.

Для дослідження джерел енергії важлива їх класифікація, при цьому існують різні методичні та практичні підходи. За різними класифікаційними ознаками розділяють енергетичні ресурси на класи [29]:

– *залежно від джерела виникнення:*

-природні ресурси (газ, нафта, вугілля, вітер, сонячна енергія та ін.)

-ресурси, які утворюються під час використання первинних ресурсів (тепло- та електроенергія);

-первинні і вторинні (енергія відпрацьованої гарячої води і пари, кінетична енергія вихлопних газів);

– *за можливістю відтворення*

-відновлювані (вітряна і сонячна енергія, енергія землі, гідроенергія та ін.)

-невідновлювані (вугілля, газ, нафта, ядерне паливо, торф тощо);

– *за характером використання*

-паливні

-непаливні.

«У Керівництві з енергетичної статистики, розробленому Міжнародним агентством з енергетики (IEA) у співпраці з Управлінням статистики ЄС (Євростат), первинними джерелами енергії вважаються природні ресурси, такі як сира нафта, кам'яне вугілля, природний газ. Вторинними енергоджерелами називають продукти, вироблені з первинних джерел енергії [1].»

«За визначенням Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), до відновлюваних енергоресурсів відносять енергію Сонця, вітру, гідроенергетичних та океанських ресурсів, біомасу, біогаз, рідкі біопалива,



геотермальну енергію [2]. Відповідно до резолюції № 33/148 Генеральної Асамблеї ООН 1978 р., до відновлюваних джерел енергії належать: сонячна, вітрова, геотермальна, енергія припливів та морських хвиль, біомаси, деревини, торфу, тварин, сланців, бітумінозних піщаників, гідроенергія [2].»

Закон України «Про енергозбереження» [23, ст. 1]:

«Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії – джерела, що постійно існують або періодично з’являються в навколишньому природному середовищі у вигляді потоків енергії Сонця, вітру, тепла Землі, енергії морів, океанів, річок, біомаси».

Закон України «Про альтернативні види палива» [22, ст. 1]:

«Нетрадиційні джерела та види енергетичної сировини – сировина рослинного походження, відходи, тверді горючі речовини, інші природні і штучні джерела та види енергетичної сировини, у тому числі нафтові, газові, газоконденсатні і нафтогазоконденсатні вичерпані, непромислового значення та техногенні родовища, важкі сорти нафти, природні бітуми, газонасичені води, газогідрати тощо, виробництво (видобуток) і переробка яких потребує застосування новітніх технологій і які не використовуються для виробництва (видобутку) традиційних видів палива» [29].

Якщо ґрунтувати періодизацію енергетики за історичним критерієм, то до нетрадиційних можна віднести ядерну енергію (перша атомна електростанція була введена в дію в 1954 р.), гідроенергію малих річок, енергію морів та океанів, біогаз, побутові відходи та деякі інші енергоресурси. А такі види енергоресурсів, як енергія води, Сонця, вітру, які відносять до нетрадиційних джерел, повинні бути включені до групи традиційних енергоресурсів. Їх почали використовувати ще сотні або тисячі років тому, а в наш час з’явилися нові технології використання [29].

Викопні види енергоресурсів називають **невідновлюваними**, так як їх запаси є вичерпними та не відновлюються після використання, або для

поновлення ресурсів потрібно багато часу (тисячі чи мільйони років). Невідновлюваними джерелами енергії вважають вугілля, природний газ, нафту, ядерне паливо, а також деякі види промислових, комунальних та побутових відходів, які не здатні до біоконверсії [29].

**Частково відновлювані енергоресурси.** Це види природних ресурсів – які оновлюються, але значно повільніше, ніж людство їх використовує (біомаса, деревина, торф та інші) [29].

Існує ще одна класифікація енергетичних ресурсів:

-первинні

-вторинні

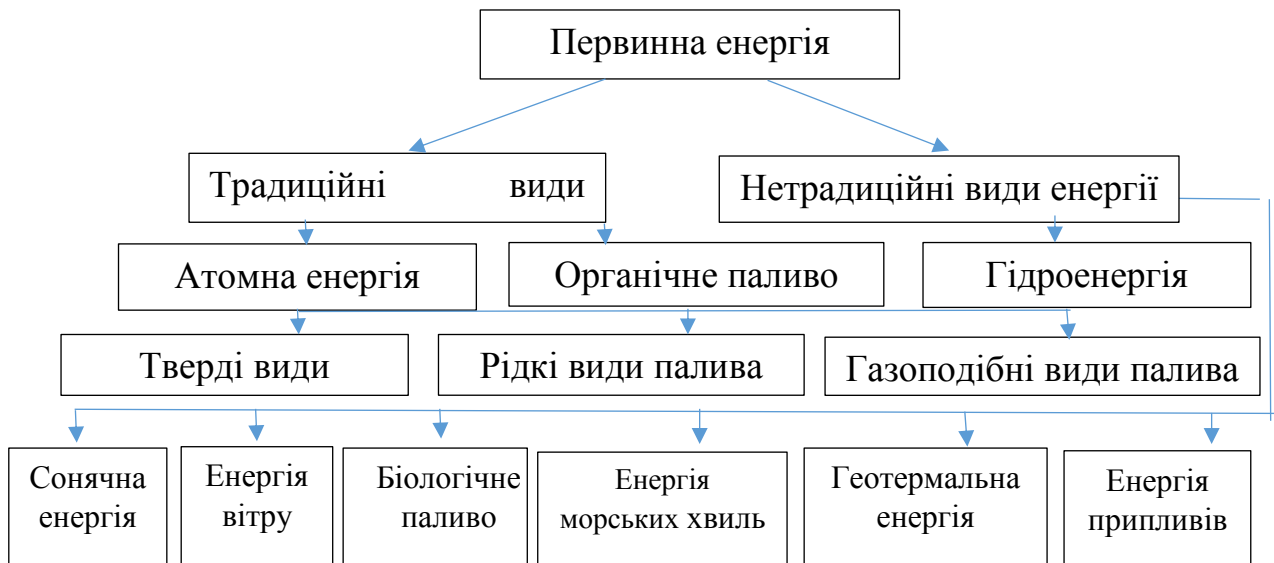
Первинні енергоресурси мають природне походження (до них відносяться всі види викопного палива та відновлюваних енергоресурсів), а вторинні – мають техногенне походження [19, 23, 39].

«Вторинні енергетичні ресурси – енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в технологічних агрегатах (установках, процесах) і не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших агрегатів (процесів)» [23].

Але і деяких наукових джерелах поняття первинних та вторинних енергоресурсів формулюється інакше. Вчений із Центру екологічних досліджень Індійського інституту Т.В. Рамашандра вважає, «у первинній формі енергія може бути різних видів: хімічна (викопні види палива, біомаса тощо), потенційна (вода, що спадає з певної висоти), кінетична (вітер, хвилі), радіаційна (сонячна енергія), теплова (геотермальні запаси та запаси тепла в океані) та ядерна (уран). Перед використанням первинна енергія має бути перетворена на вторинну або кінцеву форму. Наприклад, потенційна енергія водоспаду (первинна енергія) перетворюється на електроенергію (вторинна

енергія), яка, своєю чергою, передається на підприємство і перетворюється на енергію, придатну для споживання (кінцеву) [4].»

Вторинні енергоресурси – це продукти переробки первинних енергоресурсів (штучні види палива), такі як: бензин, мазут, дизельне пальне, кокс, агломерати, уранове паливо, біогаз, біопаливо, деревне вугілля тощо.



**Рис. 1.1. Класифікація первинної енергії**

Крім цих класифікацій енергоресурсів у зарубіжних джерелах зустрічається ще така класифікація: енергоресурси розподіляються на commercial (покупні) та non-commercial (непокупні) [3, 4].

До commercial (покупних) енергоресурсів відносять нафта, вугілля, природний газ та атомна енергія. Вони мають важливе економічне значення але оказують негативний вплив на навколишнє природне середовище; запаси таких ресурсів у природі обмежені та потребують багато коштів; їх можна використовувати у міській та сільській місцевості [29].

До non-commercial (непокупних) видів енергетичних ресурсів належать дрова, трава, коров'ячий гній, компост, деревне вугілля, і відходи сільського господарства. Цей вид енергоресурсів значно дешевший; він екологічно чистий та не оказує негативного впливу на оточуюче середовище; використовуються переважно в сільській місцевості; запаси в природі та народному господарстві

необмежені; ці енергоресурси можна використовувати у необробленому вигляді [29].

Таблиця 1.1.

Класифікація енергетичних ресурсів

Класифікаційна ознака	Вид енергетичних ресурсів	Склад ресурсів
Джерело виникнення  Природа енергоутворення	Первинні	Вугілля, сира нафта, природний газ, горючі сланці, уранова руда, торф, гідроенергія, енергія Сонця, вітру, океанів, геотермальна енергія, біомаса (рослинна, тваринна, промислові та міські відходи)
	Вторинні	Бензин, мазут, дизельне паливо, кокс, уранове паливо, біопаливо, біогаз, деревне вугілля, побічні енергоресурси
	Відновлювані	Гідроенергія, енергія Сонця, вітру, океанів, геотермальна енергія, біомаса (тваринна, промислові та міські відходи) та продукти її переробки, побічні енергоресурси
	Частково відновлювані	Торф, біомаса (рослинна) та продукти її переробки
	Невідновлювані	Вугілля, сира нафта, природний газ, горючі сланці, уранова руда та продукти їх переробки
Рівень і масштаб освоєння	Традиційні	Вугілля, сира нафта, горючі сланці, природний газ та продукти їх переробки, атомна енергія, торф, гідроенергія великих водотоків
	Альтернативні	Енергія Сонця, вітру, океанів, геотермальна енергія, енергія невеликих водотоків, біомаса (рослинна / тваринна, промислові та міські відходи), біогаз, біопаливо, деревне вугілля, побічні енергоресурси
Спосіб отримання споживачем	Покупні Непокупні	Вугілля, нафта, газ, атомна енергія Деревне вугілля, деякі види біомаси (дрова, коров'ячий гній, відходи сільського господарства)

З початку XIX ст., коли почала швидко розвиватись техніка, основними джерелами енергії стали природні корисні копалини – вугілля, нафта, природний газ та енергія великих річок, які нині відносять до традиційних джерел енергії. З часом до традиційних джерел енергії стали відносити атомну енергію [30].

*Таблиця 1.2.*

Недоліки використання традиційних джерел енергії

Основними недоліками використання більшості традиційних джерел енергії є (Федоров М.П.)	
невідновлюваність традиційних ресурсів, отже термін їх використання обмежений, і вже зараз існує необхідність пошуку нових методів виробництва енергії	використання традиційних ресурсів призводить до серйозних екологічних наслідків – забруднення навколишнього середовища

На основі результатів аналізу публікацій Півняк Г.Г. сформулював тенденції, які притаманні енергетиці зараз та в майбутньому [37]:

- переважно будуть використовувати високоякісні види палива та розгаджену інфраструктуру (нафто- та газопроводи, потужні та локальні енергосистеми);
- інфраструктура буде основою енергосистеми і з часом буде розширюватись;
- технологічні переваги будуть надані комплексам, які оснащені механізмами гнучкого розвитку;
- нафти та газу будуть замінюватись на кам'яне вугілля, зростання частки якого у світовому ринку енергоносіїв може до 40 %;
- збільшиться роль децентралізованих технологій одержання енергії на місцевому рівні, особливо в урбанізованих регіонах з розвитком сільського господарства;

–виробництво синтетичних видів палива, газу та водню із вугілля, природного газу та біомаси стане найважливішим на ринку нових технологій;

–найменш ризикованою стратегією буде звернення до новітніх технологій: газові турбіни, паливні елементи (паливні та фотобатареї), які з часом стануть не менш важливими, ніж дизельні двигуни та електромотори.

В Україні загальне виробництво електроенергії вітряної, сонячної енергії та з біомаси займає приблизно 1%, але швидкість впровадження таких видів виробництва вказує на те, що цей процес буде зростати та через декілька років досягне рівню країн ЄС, де така альтернативна енергетика зараз досягає приблизно 15% в середньому по ЄС і більше 50% для окремих країн. [25]

## 1.2. Енергозбереження

Енергозбереження – це дуже важливий напрямок розвитку української енергетики. Енергозбереження дозволяє заробити кошти, які потрібні для зміни енергетичної системи України в майбутньому.

Енергозбереження повинно відбуватись в усіх сферах життєдіяльності країни. Це може бути структурна перебудова економіки, яка спрямована на зміну частки виробництв, які потребують велику кількість енергії (дуже часто вони екологічно небезпечні) та збільшення галузей, які потребують наукових досягнень [33].

Вивчення та впровадження в різні галузі промисловості альтернативних відновлюваних джерел енергії повинно широко розвиватись. Вірцевою країною, яка їх широко використовує стала Ісландія, в якій приблизно 72% з всієї енергії виробляють в альтернативних джерелах [33].

Природні ресурси на планеті розміщуються нерівномірно. Країни та окремі великі регіони відрізняються рівнем запасів певних ресурсів. Рівень запасів корисних копалин має великий вплив на розвиток промисловості та спеціалізацію. Ресурсозабезпеченість є дуже важливим, але не завжди він

вирішає процес розвитку території. Японія, Республіка Корея та деякі західноєвропейські країни не мають великого природно-ресурсного потенціалу, але вони досягли значних економічних успіхів, коли почали використовувати досягнення НТР, фінансові, людські ресурси, а також міжнародну інтеграцію [40].

Використання наявних природних ресурсів та процеси їх збереження називають природокористуванням. Якщо процес природокористування є раціональним, то навколишнє природне середовище не відчуває катастрофічного впливу від виробничої діяльності людини, а перебувають в стані екологічної рівноваги. Під час нераціонального використання природних ресурсів стан природного середовища весь час погіршується, це призводить до локальних, регіональних і загальносвітових екологічних проблем. [24]

### **1.3. Хімічні джерела струму**

#### **Класифікація хімічних джерел струму**

За особливостями застосування хімічних джерел струму розділяють на п'ять різновидів: [6]

- первинні (призначені для одного розряду);
- вторинні або акумулятори (розраховані на певну кількість зарядів та розрядів до повного відпрацювання реагентів);
- паливні елементи (під час розряду реагенти безперервно надходять до гальванічного елемента);
- реагент постійно надходить до гальванічного елемента);
- відновлювані (реагенти періодично підлягають заміні, що дозволяє значно подовжити термін експлуатації батареї).

За особливостями конструкції хімічні джерела для отримання електричного струму класифікують за чотирма основними ознаками: [14]

тип реагентів;

спосіб герметизації;  
тип електролітичного розчину;  
тип сепаратора.

Така класифікація є узагальненою, так як хімічні джерела для отримання струму можна розділити на підгрупи.

За типом реагентів: [6, 42]

з рідкими реагентами (паливні елементи, в яких реагенти здатні розчиняються в електроліті під час розряду батареї);

з твердими реагентами (реагенти закріплені на твердих електродах, або застосовують тверді електроліти з пористою структурою).

За видом герметизації:

з частковою герметизацією (встановлюють в системі односторонній клапан, який спрацьовує коли тиск газу перевищує оптимальне значення);

з повною герметизацією (газ заповнює спеціальні комірки – такий тип герметизації характерний для первинних хімічних джерел струму).

*Таблиця 1.3.*

### Класифікація хімічних джерел струму

За типом електроліту:		За типом сепаратора:
Водневі електроліти (розчини на основі води)	тверді електроліти (йонні кристали, в яких лише один з видів йонів є рухомими)	з розділювальними пластинами;
неводневі (рідкий амоніак)	йоннообмінні (різновид твердих електролітів, в яких один з видів йонів утворює макромолекулярна основа органічної речовини – нерухомі йони)	з мембранними сепараторами
матричні електроліти		з пористими сепараторами

Так як в наслідок хімічної реакції в гальванічному елементі може утворюватись газ (водень чи карбон оксид (IV)), цей газ потрібно відводити з гальванічного елементу. [6]



Щоб при розряді батареї напруга була в оптимальних межах (стабільною), потрібно забезпечити стабільний рівень протікання хімічної реакції під час роботи хімічних джерел струму, тому застосовують сепаратори.

## РОЗДІЛ 2

### ГАЛЬВАНІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ

Гальванічний елемент (первинне джерело струму) – це пристрій, який складається з двох електродів, металічний дріт (провідник першого роду), розчину, який містить йони електроліту (провідник другого роду).

Гальванічний елемент (сухий) складається з уніфікованого контейнера, електродів (аноду та катоду) та електроліту, який абсорбований активним матеріалом сепаратора. Так називають всі елементи, які не містять рідкого електроліту. Сухі гальванічні елементи використовують при малих струмах та переривчастих режимах для живлення акумуляторів, які використовують в телефонних апаратах, системах сигналізації, системах керування та ін. [15]

Напруга на клеммах – це різниця потенціалів (окислювально-відновлювального потенціалу) між зануреними в електролітичний розчин електродами, без підключення напруги до гальванічного елемента. [15]

#### **2.1. Типи гальванічних елементів**

Вугільно-цинкові (марганець-цинкові) елементи – це дуже поширені сухі гальванічні елементи. Електроліт в них знаходиться в пастоподібному стані чи нанесений на пористу діафрагму. Цей електроліт малорухливий, не тече, тому ці елементи називають сухими. [6, 27]

Дискові елементи можна послідовно з'єднувати один з одним (позитивно заряджений електрод одного елемента приєднують за допомогою спеціальної перемички з негативно зарядженим електродом другого гальванічного елемента), отриманий елемент вкладають у футляр [13].

Вугільно-цинкові елементи можуть відновлюватись під час перерви в роботі. Цей процес виникає при поступовому вирівнюванню локальної

неоднорідності в композиції електроліту, що виникають в процесі розряджання [6].

В лужних елементах («alkaline»), та у вугільно-цинкових, використовують анод, який містить  $MnO_2$  та цинковий катод з розділеним електролітом. Різниця лужних елементів з вугільно-цинкових – використання електроліту (лугу), тоді процес виділення газу під час розряджання не спостерігається, тому їх можна робити герметичними, це дуже важливо для процесу застосування. [32, 33]

Ртутні елементи за параметрами схожі на вугільно-цинкові елементи. До аноду включають суміш з порошкового цинку та ртуті. Ці елементи мають високу питому енергією, стабільність напруги та механічну стійкість. Так як ртуть є токсичним елементом то їх потрібно вторинно переробляти [6].

В літєвих елементах використовують анод з літію, катод з різних матеріалів (оксиди, сульфід), та органічний електроліт. [6]

Йонна провідність гальванічних елементів забезпечується введенням в розчинники солей, які мають аніони великих розмірів. Катодні процеси в них повільні, тому в гальванічних елементах, які містять неводні електроліти густина струму мала [45].

Літєві елементи мають високу вартість, так як літій – дорогий метал, який вимагає особливі умови виробництва: необхідність атмосфери з інертних газів та очистки неводних розчинників. Літєві елементи широко застосовують в якості резервних джерел електричного струму, у вимірювальних приладах та інших високотехнологічних системах [6, 45].

Гальванічний елемент – це пристрій, в якому відбувається перетворення хімічної енергії, що виділяється в окисно-відновній реакції, в електричну при просторовому розділенні процесів окиснення та відновлення [26]. Робота, електричного струму, який виробляє гальванічний елемент, залежить від різниці електричних потенціалів електродів (*різницею потенціалів*)  $\Delta\phi$  та кількістю електрики  $q$ , яка пройшла по ланцюгу.

$$\delta A = \Delta \varphi q$$

Робота струму буде максимальною, якщо можлива оборотна робота, коли процеси на електродах гальванічного елемента протікають дуже повільно, а сила струму мала. Максимальна різниця потенціалів, які виникають при оборотній роботі гальванічного елемента, і є електрорушійною силою (ЕРС) гальванічного елемента. [36]

## 2.2. Електродний потенціал. Рівняння Нернста.

ЕРС гальванічного елемента це різниця деяких величин, які характеризують кожен з електродів – тобто *електродних потенціалів*, але для точного визначення необхідна точка відліку – тобто, точно визначений електродний потенціал певного електрода. Електродний потенціал будь-якого електрода – це ЕРС елемента, який складається з даного електрода та *стандартного водневого електрода*, електродний потенціал якого приймають рівним нулю. Знак електродного потенціалу рахують позитивним, якщо гальванічному елементі цей електрод є катодом, і негативним, якщо – це анод [21].

Величина електродного потенціалу металевого електрода залежить від температури середовища та активності йона металу в розчині, в який занурений електрод; математично це виражається рівнянням Нернста [10]:

$$\varepsilon = \varepsilon_M^0 + \frac{RT}{zF} \ln a,$$

де  $F$  – постійна Фарадея;  $z$  – заряд йона.

У рівнянні Нернста  $\varepsilon^0$  – стандартний електродний потенціал, рівний потенціалу електрода при активності йона металу, що дорівнює одиниці. Стандартні електродні потенціали електродів у водних розчинах складають ряд напруг металів. Величина  $\varepsilon^0$  є міра здатності окисленої форми елемента або йона, приймати електрони, тобто відновлюватися. Іноді при низьких

концентраціях йонів різницею між концентрацією і активністю йона в розчині нехтують, і в рівнянні Нернста під знаком логарифма фігурує концентрація йонів в розчині. Величина електродного потенціалу визначає напрямок процесу, який відбувається на електроді під час роботи гальванічного елемента. На електроді, потенціал якого більш позитивний, відбувається відновлення – це катод. [10]

Можна визначити межу необоротної роботи гальванічного елемента. На аноді йде процес окислення цинку, концентрація йонів цинку при роботі гальванічного елемента весь час збільшується; концентрація йонів купруму, при цьому, зменшується. Тому, різниця потенціалів при роботі гальванічного елемента весь час зменшується. При  $E = 0$  (тобто  $\varepsilon_{Cu} = \varepsilon_{Zn}$ ) на гальванічному елементі не відбуваються окисно-відновні процеси, тобто робота не відбувається. Робота гальванічного елемента також може зупинитись в наслідок повного розчинення одного з електродів (цинкового анода) [15].

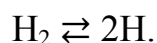
Робота гальванічного елемента визначається його електрорушійною силою (ЕРС), це різниця потенціалів катоду та аноду: чим більша різниця тим більша ЕРС гальванічного елемента [15].



Рис. 2.1. Стандартний водневий електрод

Газоподібний водень адсорбується на платині і переходить в атомарний стан.

Абсолютне значення електродного потенціалу будь-якого електроду виміряти не можна. Тому вимірюють різницю електродних потенціалів в системі, яка складається з двох пар електрод/розчин. Такі пари називають напівелементами. Визначають електродні потенціали металів по відношенню до стандартного водневого електроду, потенціал його прийнятий за нуль. Стандартний водневий електрод – це платинова пластинка, яка занурена в розчин сульфатної кислоти з концентрацією 1 моль/дм<sup>3</sup>, по якій пропускають струмень газоподібного водню (Рис. 2.1.) [15].



Між атомами і катіонами Гідрогену виникає рівновага



Цей процес можна записати рівнянням:



Платина не приймає участі в окисно-відновному процесі, а є носієм атомів Гідрогену.

### 2.3. Гальванічний елемент Якобі-Данієля

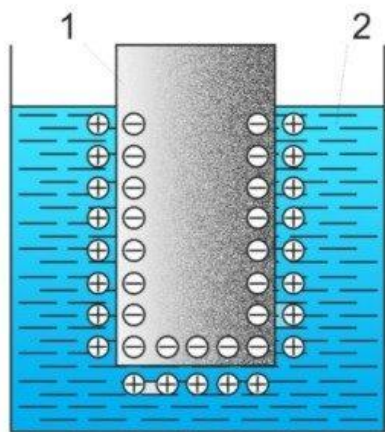
Якщо пластинку металу, яка занурена в розчин солі цього металу, з концентрацією 1 моль/дм<sup>3</sup>, під'єднати до стандартного водневого електроду, утворюється гальванічний елемент. Електрорушійна сила цього елемента, виміряна при 25 °С, і характеризує стандартний електродний потенціал металу [15].

Стандартні потенціали електродів, які є відновниками стосовно водню, та мають знак «-», а як окисники – знак «+» [15].

Через деякий час в сосудах можна побачити хімічні процеси: цинкова пластинка розчиняється і йони цинку переходять до розчину та їх концентрація

збільшується, а на мідній пластинці з розчину осаджується мідь (Рис. 2.2.) а концентрація йонів купруму зменшується. При цьому послаблюється забарвлення розчину купрум(II) сульфату, тобто концентрація йонів  $\text{Cu}^{2+}$  знижується. Ці хімічні процеси є результатом транспорту електронів з одного електроду до іншого, тобто це типовий електрохімічний процес [15].

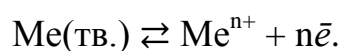
Прилади, які виробляють електричний струм під час хімічних реакцій, називаються **хімічними джерелами струму** [15].



**Рис. 2.2. Подвійний електричний шар.**

1 – металічна пластинка      2 – розчин солі

Під дією полярних молекул води катіони металу (які присутні в металі) розчиняються з поверхні пластинки, гідратуються та переходять в розчин, який набуває позитивний заряд, а в металі з'являється надлишок електронів. З часом заряд металу та розчину збільшується, до певної межі. Завдяки електростатичному тяжінню катіонів розчину та надлишкових електронів металу на межі розподілу фаз виникає подвійний електричний шар (Рис. 2.2.), який стримує перехід катіонів металу в розчин. При цьому, між розчином та металом встановлюється рівновага: [15]

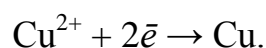


Різниця потенціалів, що виникає між металом і розчином електроліту, називається електродним потенціалом [15].

Електродний потенціал цілком залежить від природи металу.

Чим більша активність металу, тим більше катіонів металу переходить в розчин, а поверхня металу приймає негативний заряд [15].

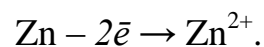
Цинк активніший ніж мідь, і цинкова пластинка заряджається більш негативно. При приєднанні цинкової та мідної пластинок металевим провідником (дротом) електрони переходять з цинкової пластинки до мідної, та реагують з катіонами Купруму з розчину. При цьому на пластинці осаджується мідь [15]:



Відбувається процес відновлення.

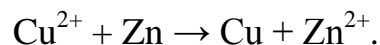
В процесі електролізу процес відновлення відбувається на катоді. На катоді гальванічного елемента також відбувається процес відновлення, а катод набуває позитивного заряду (катод при електролізі має негативний заряд) [15].

Анод гальванічного елемента – цинковий – розчиняється. Атоми Цинку віддають електрони, окиснюються та перетворюються на катіони: [15]

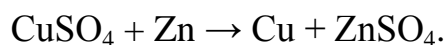


Цинковий електрод – анод, і має негативний заряд. (При електролізі анод заряджений позитивно.) [15]

Сумарне рівняння (окисно-відновного перетворення в гальванічному елементі): [15]



Гальванічний елемент Якобі-Данієля можна записати в виді схеми:



У гальванічному елементі процеси окиснення та відновлення проходять окремо на поверхні двох електродів. Електрони атомів Цинку з аноду рухаються електричним ланцюгом до катода, та реагують з катіонами Купруму. Струм



буде виникати доки весь цинк не розчиниться або всі катіони Купруму з розчину не відновляться до міді. [15]

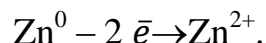
В гальванічному елементі в розчині купрум(II) сульфату зменшується концентрація катіонів  $\text{Cu}^{2+}$ , а в розчині цинк сульфату збільшується концентрація катіонів  $\text{Zn}^{2+}$ . Сольовий місток забезпечує електричний контакт між двома розчинами, та підтримує електронейтральність розчинів, передаючи катіони електроліту у розчин купрум(II) сульфату, а аніони – у розчин цинк сульфату [15].

Гальванічний елемент Якобі-Даніеля (мідно-цинковий гальванічний елемент) складається з мідної пластинки, зануреної в розчин  $\text{CuSO}_4$ , і цинкової пластинки, зануреної в розчин  $\text{ZnSO}_4$ . Розчини цих солей з'єднані електролітичним ключем (U-подібною трубкою, заповненою гелем агар-агару або желатину, виготовленим в розчині електроліту  $\text{KCl}$  або  $\text{KNO}_3$ ). Цей ключ (або місток) проникний для йонів, що рухаються в електричному колі. При роботі елемента, тобто при замиканні зовнішнього кола, виникають процеси: розчинення цинку на цинковому електроді та виділення міді на мідному електроді. [26]

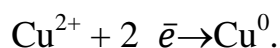
Схема елемента Якобі-Даніеля записується у вигляді:



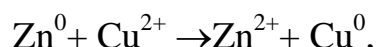
Анодом є цинк ( $\varphi^\circ = -0,76 \text{ В}$ ), на якому протікає процес  $\text{Zn}^{2+} | \text{Zn}$  окислення (розчинення) цинку:



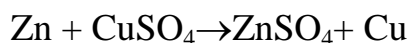
Катодом є мідь ( $\varphi^\circ = + 0,34 \text{ В}$ ), на якій проходить  $\text{Cu}^{2+} | \text{Cu}$  відновлення йонів металу в атоми (осад на електроді):



Сумарне рівняння процесу: рівняння анодного та катодного процесів [26]:



в молекулярному вигляді:

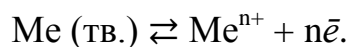


У результаті цієї окислювально-відновної реакції у гальванічному елементі виникає направлений рух електронів у зовнішньому колі та йонів всередині елемента, тому така реакція створює електричний струм. Електрична енергія (електричний струм) гальванічного елемента виникає за рахунок хімічної енергії реакції. Необхідною умовою роботи гальванічного елемента є різниця потенціалів його електродів, розділення електродів у просторі, електроди першого та другого роду. [26]

В обох сосудах відбуваються хімічні процеси: цинкова пластинка розчиняється, а на мідній пластинці з розчину осаджується мідь. Це є наслідком перенесення електронів з однієї частини елемента до іншого – електрохімічний процес [15].

Пристрої, які виробляють електричний струм під час перебігу хімічних реакцій, називаються хімічними джерелами струму ХДС [15].

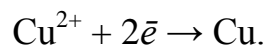
Під дією полярних молекул розчинника – води катіони металу розчиняються з поверхні металу, гідратуються та переходять в розчин, який заряджається позитивно, а на металі накопичується надлишок електронів. З часом заряд як металу, так і розчину збільшується. На лінії розподілу фаз виникає подвійний електричний шар (Рис. 2.2.), який гальмує перехід катіонів металу в розчин. З часом між розчином і металом встановлюється рівновага: [15]



Різниця потенціалів, яка виникає між металом і розчином електроліту, називається електродним потенціалом [15]. Він залежить від природи металів.

Чим активні метали заряджаються, тим більш негативно заряджена поверхня металу [15].

Цинк більш активний ніж мідь, тому цинкова пластинка заряджається більш негативно, ніж мідна. При з'єднанні мідної пластинки з цинковою металевим провідником (провідник першого роду) електрони переходять від цинкової пластинки до мідної, на її електрони реагують з катіонами Купруму з розчину і осаджується мідь [15]:



Відбувається процес відновлення.

Інший електрод гальванічного елемента – цинковий – розчиняється. Атоми Цинку віддають електрони аноду, окиснюються та перетворюються на катіони [15]:

Однак у гальванічному елементі процеси окиснення та відновлення йдуть окремо на поверхні кожного з двох електродів. На аноді електрони від атомів Цинку, рухаються провідником першого роду до катода, де реагують з катіонами Купруму. Струм буде утворюватися до тих пір, поки весь цинк не розчиниться або всі катіони Купруму з розчину не відновляться до міді [15].

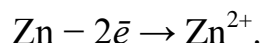
#### 2.4. Гальванічні елементи Лекланше та інші

Знайдено сухі гальванічні елементи. Де в герметичних оболонках містяться не рідкі розчини, а пастоподібні (вологі) суміші речовин [15].

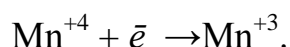


Рис. 2.3. Елемент Лекланше

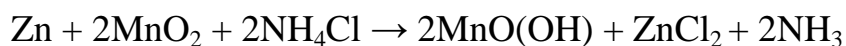
Сухий гальванічний елемент – манган-цинковий елемент, який винайшов французький хімік Ж. Лекланше ще у 1865 році (Рис. 2.3.). Корпус цього елемента зроблено із цинку; він є анодом (це – негативний полюс джерела струму). Всередині метиться волога паста з манган (IV) оксиду ( $MnO_2$ ), амоній хлориду ( $NH_4Cl$ ) і графітового порошку. В пасту занурений графітовий стрижень, що виступає катодом (позитивний полюс). Цинк окиснюється: [15]



Тому корпус елемента із середини поступово руйнується. На графітовому катоді відновлюється Манган:



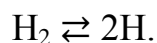
Протікає хімічна реакція, що описується рівнянням



На полюсах елемента виникає напруга в 1,5 В. Якщо послідовно з'єднати кілька таких елементів (катод першого елемента – з анодом другого, катод другого – з анодом третього і т. д.), то утвориться батарея. Відома плоска батарея містить 3 елементи Лекланше і має напругу 4,5 В [15].

Водень адсорбується на платині і переходить в атомарний стан

Абсолютне значення електродного потенціалу виміряти не можливо, тому виміряють різницю електродних потенціалів, що виникає в системі, з двох пар електрод – розчин. Визначають електродні потенціали металів по відношенню до так званого стандартного водневого електроду, потенціал якого умовно прийнятий за нуль. Стандартний водневий електрод складається з платинової пластинки, зануреної в розчин сульфатної кислоти з концентрацією Гідрогену 1 моль/дм<sup>3</sup>, на якому пропускають газоподібний водень (Рис. 2.1.) [15].



Між атомами та катіонами Гідрогену виникає динамічна рівновага



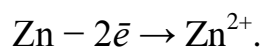
Платина є лише носієм атомів Гідрогену.

Якщо пластинку металу, занурити в розчин його солі з концентрацією 1 моль/дм<sup>3</sup>, під'єднати до стандартного водневого електрода, утвориться гальванічний елемент. Електрорушійна сила цього гальванічного елемента, виміряна при 298 К – це стандартний електродний потенціал цього металу [15].

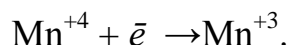
Стандартні потенціали електродів, які знаходяться зліва від водню в ряду стандартних електродних потенціалів, мають знак «-», а ті що знаходяться справа – знак «+» [15].

## 2.5. Гальванічні елементи

Найпоширеніший серед гальванічних елементів такого типу – манган-цинковий елемент, який винайшов французький хімік Ж. Лекланше ще у 1865 році. Корпус елемента Лекланше зроблений з цинку тому він є анодом (це – негативний полюс джерела струму). В середині такого гальванічного елемента знаходиться волога паста в яку входить манган(IV) оксид (MnO<sub>2</sub>), амоній хлорид (NH<sub>4</sub>Cl) та графітовий порошок. В цій пасті знаходиться графітовий стрижень, який є катодом (позитивний полюс). Під час роботи елемента відбуваються такі процеси. Цинк окиснюється [15]:



Тому корпус елемента з середини поступово руйнується. На графітовому катоді відновлюється Манган:



Протікає хімічна реакція, що описується рівнянням [15]

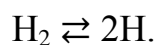


На полюсах гальванічного елемента виникає напруга 1,5 В. Якщо послідовно з'єднати кілька елементів Лекланше (катод першого – з анодом другого і т. д.) – утвориться батарея. Відома всім плоска батарея містить 3 елементи Лекланше та підтримує напругу 4,5 В [15].

Робота гальванічного елемента визначається електрорушійною силою (ЕРС), яку визначають по різниці потенціалів електродів – катоду та аноду: чим більша різниця потенціалів тим більша ЕРС [15].

Газоподібний водень адсорбується на платині і переходить в атомарний стан.

Абсолютне значення електродного потенціалу виміряти не можна. Можна виміряти різницю потенціалів, яка з'являється в системі, з двох пар електрод – розчин. Домовилися в Світі визначати електродні потенціали металів по різниці до стандартного водневого електроду, потенціал прийнятий за нуль. Стандартний водневий електрод складається з платинової пластинки, зануреної в розчин 1 моль/дм<sup>3</sup> сульфатної кислоти, по якій пропускають газоподібний водень (Рис. 2.1.) [15].



Виникає рівновага між атомами та катіонами Гідрогену



Сумарно:



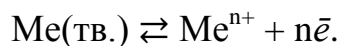
Платина є носієм атомів Гідрогену.

Електрорушійна сила елемента, виміряна при 298 К, характеризує стандартний електродний потенціал металу [15].

Через деякий час можна спостерігати хімічні перетворення: цинкова пластинка розчиняється (зменшується), а на мідній пластинці з розчину осаджується мідь (збільшується). Водночас послаблюється забарвлення розчину купрум(II) сульфату (концентрація йонів  $\text{Cu}^{2+}$  знижується). Це відбувається при перенесенні електронів з однієї частини елемента до іншої, це – електрохімічний процес [15].

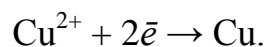
Пристрої, які виробляють електричний струм під час хімічних реакцій, називаються **хімічними джерелами струму** [15].

Під дією полярних молекул води катіони металу розчиняються, гідратуються, розчин заряджається позитивно, на металі з'являється надлишок електронів. З часом збільшується заряд як металу, так і розчину. На металічній пластинці виникає подвійний електричний шар (Рис. 2.2.), який стримує подальший перехід катіонів металу в розчин. Між розчином та металом встановлюється динамічна рівновага: [15]



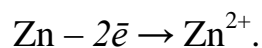
Різниця потенціалів між металом та розчином електроліту – це електродний потенціал [15].

Цинк більш активний ніж мідь, цинкова пластинка заряджається негативно, а мідна – позитивно. При з'єднанні їх металевим провідником електрони переходять від цинку до міді, на пластинці осаджується мідь [15]:



Відбувається процес відновлення.

Цинковий електрод розчиняється. Цинк окиснюється, та перетворюється на катіони: [15]



В гальванічному елементі цинковий електрод – це анод, він має негативний заряд. (При електролізі анод заряджений позитивно.) [15]

Сумарне рівняння в гальванічному елементі: [15]

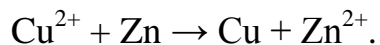
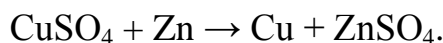


Схема гальванічного елементу:



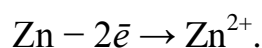
Процес аналогічний звичайному хімічному процесу:



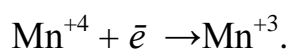
В гальванічному елементі процеси окиснення та відновлення йдуть на поверхні кожного електродів. Електрони, що залишаються від атомів Цинку на аноді, рухаються електричним ланцюгом до катода, де їх отримують катіони

Купрум. Струм буде текти до тих пір, поки весь цинк не розчиниться або всі катіони Купрум з розчину не відновляться до міді [15].

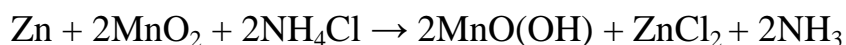
Найпоширеніший серед гальванічних елементів цього типу – манган-цинковий елемент, який винайшов французький хімік Ж. Лекланше ще у 1865 році (Рис. 2.3.). Корпус цього елемента зроблено з цинку; він є анодом. Всередині міститься волога паста з манган(IV) оксиду ( $\text{MnO}_2$ ), амоній хлориду ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) і графітового порошку. В пасті знаходиться графітовий стрижень – катод. [15]



Через це корпус елемента з середини з часом руйнується. На графітовому катоді відбувається відновлення Мангану:



Відбувається така реакція:



Газоподібний водень адсорбується на платині і переходить в атомарний стан.

## 2.6. Концентраційний гальванічний елемент

Концентраційний гальванічний елемент – це система, в якій обидва електроди мають однакову хімічну природу, але занурені у розчини з різною концентрацією йонів. Працює концентраційний гальванічний елемент за рахунок зрівнювання концентрації розчинів [26].

Зміна потенціалів електродів у процесі їх роботи називається поляризацією. Поляризація електродів приводить до зменшення ЕРС і протидіє нормальній роботі ХДС.

Поляризація буває [26]:

1. Концентраційна, головна причина якої, велика невідповідність швидкостей руху електронів (10 см/сек) та йонів (долі мм/сек).



2. Електрохімічна (перенапруга), обумовлена сповільненістю електрохімічних стадій реакцій.

Для зменшення шкоди поляризації електродів застосовують с речовини, які називаються деполяризаторами. В якості катодних деполяризаторів застосовують хімічні окисники ( $O_2$ ,  $MnO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $PbO_2$ , катіони  $Cu^{2+}$ , аніони  $Cr_2O_7^{2-}$ ), які забирають електрони від катода. Процес відновлення окисника на катоді забирає надлишкові електрони і тому зменшує поляризацію. Мідно-цинковий елемент практично не поляризується, тому що відновлення  $Cu^{2+}$  протікає при потенціалі, який мало відрізняється від теоретичного [26].

## РОЗДІЛ 3

### АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

#### 3.1. Воднева енергетика в Україні

##### *3.1.1. Водневі технології*

Найбільш перспективним є використання водню та заміна органічних видів палива на водень, особливо у автомобілях. Також застосовують водень та змішаний газ, який містить водень в хімічній, нафтопереробній, металургійній, харчовій промисловості, а також в житлово-комунальному секторі й т. ін. Паливні елементи застосовують для децентралізованої енергетики та автотранспорту [10, 12].

Перспективним для України є спосіб одержання водню шляхом підземної газифікації вугілля, запасів якого в Україні достатньо. Це також має екологічний сенс. Цей шлях дозволяє не добувати вугілля з глибоких шахт, в яких складно дотримуватися техніки безпеки. Також, це дозволяє не створювати нові терикони з відходів добування вугілля. Терикони є великою проблемою, особливо для України, вони горять і при цьому у повітря виділяється велика кількість шкідливих речовин. Ці речовини мають канцерогенний, мутагенний, тератогенний вплив на живі організми.

Продукт газифікації (водень) можна використовувати в паливних елементах для виробництва теплової та електричної енергії на електростанціях. Багато перспектив для перетворення різних видів вугілля в надрах, без добування його, у горючий газ, що містить водень – це підземна газифікація вугілля. [10, 12].

В Україні можна отримувати водень як побічний продукт на хімічних, коксохімічних та нафтопереробних виробництвах, використання його для одержання водню з скидних чи попутних газів або різних органічних сполук. Екологічний ефект під час використання побічних та супутніх продуктів

досягається тим, що отримана з них енергія заміщує енергію, яку можна виробляти із викопного палива та корисних копалин, у т.ч. імпортованої сировини [10, 12].

### **3.1.2. Водень – ідеальний екофільний вид палива**

Водень – ідеальний вид палива, при перетворенні його на енергію не виділяються шкідливі речовини – лише вода та енергія. Він має дуже високу калорійність – 33 тисячі Ккал/кг, яка в 3 рази перевищує калорійність бензину. Його можна легко транспортувати по газопроводах, так як у нього дуже мала в'язкість. За допомогою трубопроводу з діаметром 1,5 м разом з ним передається 20 тис. Мегават потужності. У світі отримують приблизно 30 мільйонів тон водню на рік, в основному із природного газу.

Методи промислового виробництва водню: [10, 12]

- 1) Газифікація вугілля. Вугілля нагрівають із водяною парою при температурі 800-1300°C без доступу повітря. [10, 12]
- 2) Парова конверсія природного газу (метану). Даним способом проводиться приблизно половина всього водню. Водяна пара, при температурі 700-1000°C, змішується з метаном під тиском у присутності каталізатора. [10, 12]

Технологічний ланцюг водню, який включає видобування (конверсія, електроліз), його перетворення до зрідженого стану або утворення гідридів визначає його низьку енергоефективність [11]. Краще використовувати водневий цикл, в основі якого є використання енергії з нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ), на жаль ця енергія дорого коштує, так як і водневі технології, які включають паливні елементи.

Основними проблемними питаннями на цьому шляху з точки зору Ukrainian Association for Hydrogen Energy є: [12]

- «підвищення ККД та покращення екологічних характеристик всього технологічного циклу водневої енергетики (виробництво водню, виробництво комплектуючих частин паливних елементів, перетворення палива в електроенергію);

- зменшення вартості водневого циклу перетворення;
- збільшення ресурсу експлуатації паливних елементів;
- забезпечення безпеки на всіх етапах виробництва, перетворення, зберігання, транспортування та застосування водню».

Водневі енергетичні технології ще не стали якісними та ефективними, щоб вони змогли замінити традиційну енергетику. Але потенціал водневих технологій дозволяє прогнозувати їх використання у майбутньому [12].

### ***3.1.3. Воднева енергетика в Україні***

Темпи впровадження водневих технологій будуть залежати від розвитку інших технологій, які можуть бути альтернативними водневій [12].

При розвитку енергетики водню, Україна могла б повністю використати свою енергоресурсну базу та диверсифікувати джерела енергії, а також поліпшити екологічний стан країни. Можливе впровадження сучасних технологій та побудови сектору промисловості по виробництву водню та альтернативних джерел енергії, можливість виходу разом з екологічно чистими та безпечними технологіями.

Той факт, що Україні значні поклади цирконієвих руд, рідкоземельних елементів та наявність промисловості для їх переробки, міг би забезпечити промисловість паливних елементів та використання сучасних вітчизняних та закордонних технологій. [12].

Потрібно максимально залучати нові технології виробництва моторного рідкого палива з вугілля [12], це дозволить збільшити обсяг залучення вугілля

та відходів вугілля, можна буде зменшити імпорт нафти і нафтопродуктів та зміцнити енергетичну незалежність України.

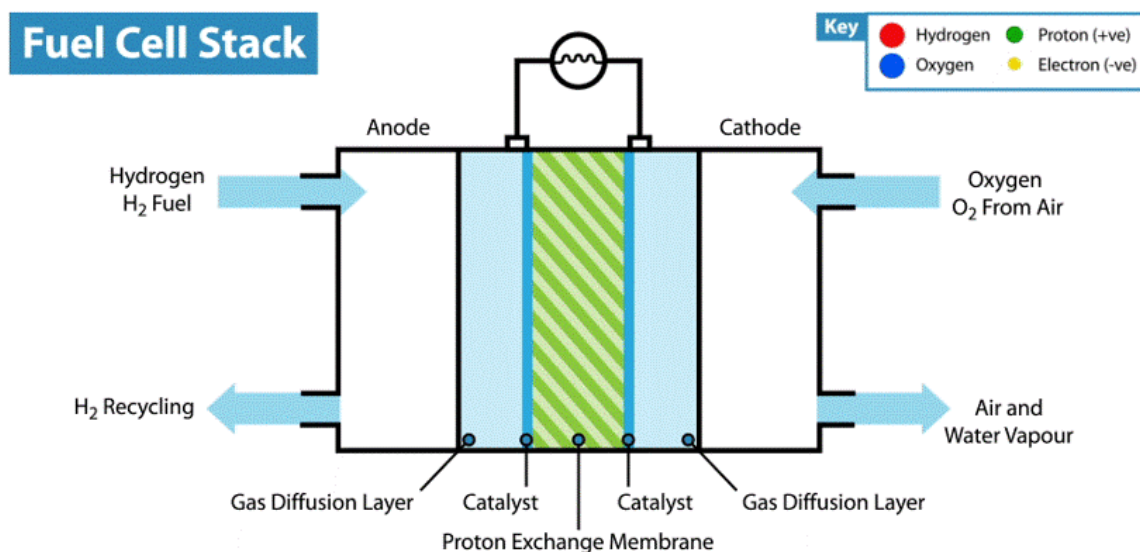
Ісландія має можливість стати першою у світі країною, яка може відмовитися від залучення викопних енергоносіїв та перейти на водневу та альтернативну енергетику, як на суші, так і на море. У листопаді 2003 року 15 країн підписали угода "Міжнародне партнерство по водневій економіці". Учасниками цього партнерства стали: Австралія, Англія, Бразилія, Німеччина, країни Євросоюзу, Індія, Ісландія, Італія, Канада, Китай, Норвегія, Республіка Корея, США, Франція і Японія [11].

#### ***3.1.4. Сучасний розвиток водневої енергетики***

Автобуси, які використовують водень в якості палива, станом на 2015 рік у світі було біля сотні, є екологічною заміною громадському транспорту. [32, 33].

Водневий локомотив (тепловоз) тестується Армією США. Він може використовуватися як пересувний електрогенератор. Цей транспорт тепловоз зможе доїхати до знеструмлених регіонів своїм ходом, а, підключивши його до електромережі, можна забезпечувати електрикою тисячі будинків протягом декількох днів [25].

Водневі машини не використовують двигун внутрішнього згорання. В них вбудований паливний елемент. Це електрохімічний пристрій (хімічне джерело струму), принцип роботи схожий на батарею, різницею є те, що хімічна речовина – джерело енергії, подається ззовні. Водневі машини є різновидом електромобілів, які заряджаються воднем. [25]



**Рис. 3.1.** Паливний елемент [25]

Водень, поступає в паливний елемент, де адсорбується на мембрані, перетворюється на два протони та два електрони. Протони дифундують крізь мембрану, реагуючи з киснем. Електрони поступають в електричну мережу, де їх потенціал використовується на корисну роботу. [25]

Водневі машини мають високий ККД, до 80%, і не мають холостого ходу! Водень є найбільш енергоємним паливом – в три рази більше енергії виділяється при його спалюванні, порівняно з вуглеводнями. Одного кілограма водню може вистачити на 100 км пробігу легкової машини. Крім того, заправка машини на водні триває всього 3-5 хвилин, тобто незрівнянно швидше ніж електромобілі. [25]

Продуктом реакції водню з киснем є дуже чиста вода. [25].

Водень не є небезпечним паливом. Він за деякими параметрами є навіть більш безпечним ніж метан. Він легше повітря в 14,5 разів, тому не накопичується над землею, як вибухонебезпечні пари вуглеводнів, не перемішується з повітрям, як метан, але моментально дифундує вгору, так як земна гравітація не може його утримати [25].

Світове виробництво водню – це 60 млн тон на рік, що приблизно коштує дорівнює 29 мільярдам євро. Водень застосовують в промисловості для очищення від сірки палива, виробництва нітратних добрив та інших хімічних речовин. [25]

У 2012 році в Малі була відкрита перша газова свердловина, яка дає не метан, а практично чистий, 98%-й водень! Високі концентрації водню в природі знаходили в газових свердловинах у всіх частинах світу. [25]

Водень є безкарбоним, невикопним і невичерпним, оскільки утворюється в наслідок природних процесів глибоко в земній корі [25].

В Україні є водневі дегазаційні структури з великим потенціалом.

Водень – це альтернативне джерело енергії поряд з іншими альтернативними джерелами, тому на нього повинні поширюватися квоти та субсидії. Наприклад, нещодавно був прийнятий закон, що звільняють електромобілі від податків на імпорт. Водневі машини фактично є видом електромобілів, на них цей закон теж повинен поширюватися [25].

## 3.2. Біоенергія

### *Використання енергії біомаси*

Основа біомаси (з чого складаються рослини, тварини) – органічні сполуки карбону, які під час реакції з киснем при згорянні чи в наслідок природного метаболізму виділяють тепло. Під час хімічних та біологічних процесів біомаса трансформується у паливо – рідкий метанол, газоподібний метан, тверде деревне вугілля. При згорянні біопалива енергія може розсіюватись, а продукти згоряння можуть перетворюватись у біопаливо під час природних, екологічних чи сільськогосподарських процесів. Широке використання біопалива може забезпечити неперервний процес отримання енергії. [31]

До того ж використання біопалива дозволяє не збільшувати концентрації

карбон (IV) оксиду в атмосфері. Справа в тому, що вуглеводні містять Карбон, який був похований в надрах Землі мільйони років тому, коли на Землі була значно більша концентрація карбон (IV) оксиду в атмосфері. Тоді була висока вологість та температура, що викликало швидкий ріст зелених рослин. Коли змінився клімат гігантські рослини померли, були засипані ґрунтом. З часом залишки рослин, які були поховані, під дією тиску, перетворились в корисні копалини – природний газ, нафту, торф, вугілля. Коли ці копалини достають із землі та спалюють, аби отримати енергію, в атмосфері збільшується концентрація карбон (IV) оксиду, що може призводити до зміни клімату.

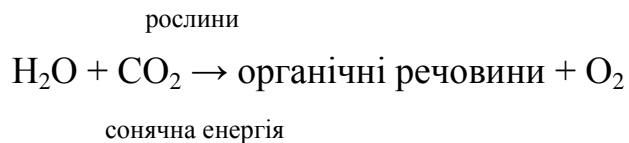
Якщо використовувати біопаливо то концентрація карбон (IV) оксиду в атмосфері не змінюється, так як Карбон з рослин, які росли нещодавно, був взятий ними з атмосфери. Таким чином, концентрація карбон (IV) оксиду в атмосфері не змінюється. Саме тому використання біопалива має значно більшу користь порівняно з викопними ресурсами.

Використання біопалива у вигляді біогазу, дров, гною, компосту та бадилля рослин має велике значення в домашньому господарстві більше 50% населення планети. Використання біомаси як біопалива або як акумуляторів енергії має колосальне значення. Теплота згоряння сухої біомаси дорівнює 20 МДж/кг (сира деревина – 10 МДж/кг; жири, нафтоподібні речовини – 40 МДж/кг; метан – 55 МДж/кг) [11].

Найбільш ефективний напрямок використання енергії біомаси – це анаеробна переробка з отриманням біогазу та добрив. Також цей спосіб переробки відходів дозволяє знезаражувати відходи, знищує гельмінтів та бур'яни, не дає потрапляти в атмосферу шкідливим газам. Дуже важливою є розробка та використання термохімічних технологій переробки твердої біомаси в біогаз (газоподібне паливо) [11].

Ресурси карбону органічного походження – це продукція фотосинтезу минулих періодів. Фотосинтез є ключовим процесом на Землі [31]:





Щорічно рослини під час фотосинтезу асимілюють 200 млрд т Карбону, зменшення маси системи організмів на 1 г призводить до виділення  $9 \cdot 10^{13}$  Дж енергії, що дорівнює теплотворній здатності 3000 т умовного палива [11, 35].

Використання біомаси рослин, які вирощується спеціально для енергетичних цілей, або сільськогосподарських відходів, які використовують як джерело енергії, для виробництва електроенергії. Такі програми існують в Канаді, Австралії, Бразилії, Китаї, Данії, Франції, Мексиці та в інших країнах [7, 8].

Відходи неенергетичних виробництв (харчова промисловість), а також сільськогосподарські культури є цінними джерелами органічного палива. Вони містять енергію, яку можна одержати фізичними, хімічними чи мікробіологічними методами. Фізичним способом енергію одержують зі стічних вод, каналізаційних відходів і твердих відходів життєдіяльності тварин. Хімічні методи – це застосування процесів піролізу та газифікації. Мікробіологічні – біогазові установки – органічні відходи розкладають метаногенні бактерії, які утворюють метан, який можна використовувати для приготування їжі та освітлення. При цьому як цінний побічний продукт утворюються добрива [7, 8, 16].

### 3.3. Охорона довкілля

Проблеми охорони навколишнього середовища при постійному попиту на паливо та енергію приводить науковців та світову спільноту до пошуку енергетичних технологій. Вони зможуть забезпечувати стабільний рівень забруднення та одночасно не гальмувати економічний ріст. [12].

У розвинених країнах формують політичну та суспільну свідомість, підвищують пріоритет освіти і підвищують кваліфікацію, готують суспільства до сприйняття нового (в тому числі, водневого) напрямку в енергетичній політиці. Активну роль грають екологічні громадські організації та асоціації, бо вони привертають увагу урядових органів до цієї проблеми, поширюють екологічну інформацію, викликають ріст інтересу та довіри до нових технологій [12].

Водню є вторинним енергоносієм і в природі зустрічається тільки у складних сполук. Ресурсна база для його тримання є досить широкою. Водень можна отримати під час електролізу, при використанні електричної та теплової енергії, до практично всіх викопних видів палива, різних видів біомаси, та різні побутові відходи та відходів виробництва [12].

Відомі технології отримання водню основані на термотехнічному та хімічному процесах, та електролізі води. Ці методи мають головні недоліки – використання енергії з використанням викопного палива та суттєвим забрудненням довкілля. Недоліком електролізу води є високий рівень споживання електроенергії. Електролітичний водень є доволі доступним, але дорогим продуктом. [12]

Для виробництва водню використовують теплову та електричну енергію, яку виробляють АЕС у нічний час, коли рівень звичайного споживання електроенергії падає. Є перспектива використовувати електроліз води разом з нетрадиційними поновлюваними джерелами енергії (наприклад, сонячна, вітряна). [12].

Основним питанням є створення надійної системи зберігання та транспортування водню. Найбільш перспективними є газобалонний, криогенний і металогідридний способи зберігання. Остаточний вибір способу зберігання потребує додаткових наукових досліджень та експертизи.

## ВИСНОВКИ

1. Під час зростаючого світового попиту на енергетичні ресурси, вичерпання викопних видів палива та зростаючого рівня забруднення довкілля необхідно застосовувати ефективний пошук нових альтернативних технологій, які б забезпечували одержання енергії при помірному рівні забруднення довкілля і одночасно сприяли економічному зростанню країни.

2. Проаналізовано навчальну та науково-методичну літературу по отриманню електричного струму з різних хімічних речовин. Хімічні джерела енергії є саме таким напрямом, який завдяки високій технологічності та наукоємкості дозволить вийти на рівень розробок енергоефективних та екологічно чистих технологій майбутнього.

3. При застосуванні гальванічних елементів в енергосистемах виконуються такі основні функції: забезпечення безперебійного енергопостачання споживачам за рахунок накопичення енергії та подальшого її використання в період відсутності або недостатчі; традиційних джерел забезпечення оптимального режиму роботи джерел енергії за рахунок згладжування коливань в енергомережі; підвищення потенціалу енергії до необхідного при накопиченні низько-потенціальної енергії; перетворення енергії одного виду в інший відповідно до потреб споживача.

4. В водневих машинах вбудований паливний елемент. Це електрохімічний пристрій (хімічне джерело струму), принцип роботи схожий на батарею, різницею є те, що хімічна речовина – джерело енергії, подається ззовні. Водневі машини є різновидом електромобілів, які заряджаються воднем. Водень, поступає в паливний елемент, де адсорбується на мембрані, перетворюється на два протони та два електрони. Протони дифундують крізь мембрану, реагуючи з киснем. Електрони поступають в електричну мережу, де їх потенціал використовується на корисну роботу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Energy Statistics Manual. – Luxembourg: International Energy Agency (IEA), 2005. – 196 p.
2. International Energy Agency. Renewable energy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iea.org/aboutus/faqs/renewableenergy/>
3. Nantal B. Commercial and Non-Commercial Sources of Energy in India / B. Nantal // Your Article Library. – 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.yourarticlelibrary.com/essay/commercial-and-non-commercial-sources-of-energy-in-india/42594/>.
4. Ramachandra T. V. Energy alternatives: Renewable Energy and Energy Conservation Technologies [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/pubs/ces\\_tr/CES-TR/TR088.PDF](http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/pubs/ces_tr/CES-TR/TR088.PDF).
5. Баюрко Н.В. Підготовка майбутніх учителів біології до розвитку екологічної компетенції учнів основної школи. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук ВІННИЦЯ – 2017 – 314 с.
6. Бик М. В. Технічна електрохімія 2: Хімічні джерела струму [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, С. В. Фроленкова, О. І. Букет, Г. С. Васильєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського.. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 321 с.
7. Біоенергетика [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sae.gov.ua/node/586>
8. Біоенергетика [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lektsii.com/2-76734.html>

9. Васильців Т.Г. Економічна безпека підприємництва України: стратегія та механізми зміцнення: Монографія. / Т.Г. Васильців– Львів: Арал, 2008. – 384с.
10. Вікіпедія. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B0\\_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0)
11. Воднева енергетика. Альтернативні джерела енергії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://pidruchniki.com/72985/ekologiya/vodneva\\_energetika](https://pidruchniki.com/72985/ekologiya/vodneva_energetika)
12. Воднева енергетика: перспективи України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uahe.net.ua/articles-ua/331-vodneva-energetika-perspektivi-ukrajini.html>
13. Войнаш Л.Г. Товарознавство непродовольчих товарів. Частина 1. / Л.Г. Войнаш, І. О. Дудла, Д.І. Козьмич, Н.В. Павловська, М.В. Приходько./За загальною редакцією Л.Г. Войнаш/Підручник. – К.: НМЦ "Укоопосвіта", 2004. – 436 с.
14. Волошина, С.В. Товарознавство (Непродовольчі товари). Частина 4. Товарознавство нафтопродуктів і побутових електротоварів: курс лекцій / С.В. Волошина, Г.В. Іоненко, / Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, Каф. підпр. і торгівлі. – Кривий Ріг : [ДонНУЕТ], 2018. – 80 с.
15. Гальванічний елемент [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://chemistry.sc46.pp.ua/galvanichnij-element/>
16. Гелетуха Г. «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник/За ред. Г. Гелетуха. – К.: «Поліграф плюс», 2015. – 72 с

- 17.Гречко Т. К.. Публічне управління в забезпеченні сталого (збалансованого) розвитку : [навч. посіб.] / Т. К. Гречко, С. А. Лісовський, С. А. Романюк, Л. Г. Руденко. – Херсон : Грінь Д.С., 2015. – 264 с.
- 18.Доценко А. Роль національної економіки у формуванні національної системи розселення / А. Доценко // Економічна та соціальна географія. – 2015. – Вип. 3. – С. 41-43. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/esg\\_2015\\_3\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/esg_2015_3_8)
- 19.ДСТУ 2420-94 «Енергоощадність. Терміни та визначення». – К., 1994. – 7 с.
- 20.«Екологічна освіта на уроках хімії та в позакласній роботі важлива умова формування життєвої та соціальної компетентності учнів». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/ekologichna-osvita-na-urokah-himi-ta-v-pozaklasniy-roboti-vazhлива-umova-formuvannya-zhittevo-ta-socialno-kompetentnosti-uchniv-z-dosvidu-roboti-18257.html>
- 21.Електродні процеси, їх біологічна роль та застосування в медицині. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://biochem.vsmu.edu.ua/chem\\_common\\_u/lecture\\_electrods.pdf](http://biochem.vsmu.edu.ua/chem_common_u/lecture_electrods.pdf)
- 22.Закон України «Про альтернативні види палива» від 14 січня 2000 р. No 1391-XIV // Відомості Верховної Ради України. – 2000. – No 12. – Ст. 94
- 23.Закон України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 р. No 74/94-ВР // Відомості Верховної Ради України. – 1994 р. – No 30. – Ст. 283.
- 24.ЗАКОН УКРАЇНИ Про охорону навколишнього природного середовища (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546)
- 25.Згоннік В'ячеслав. Воднева енергетика. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uahe.net.ua/articles-ua/360-vodneva-energetika-2.html>
- 26.Кислова О.В. Основи електрохімії: навч. посіб. /О.В. Кислова, І.С. Макєєва. – К.: КНУТД, 2017. – 128 с.

- 27.Класифікація батарейок за хімічним складом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sites.google.com/site/batareykazao/batarejka-ak-galvanicnij-element/klasifikacia-batarejok-za-himicnim-skladom>
- 28.Класифікація енергетичних ресурсів за даними Світової енергетичної ради [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.worldenergy.org/>
- 29.Копецька Ю. О. Сутність, основні види та класифікація енергетичних ресурсів як складові виробничого потенціалу підприємства / Ю.О. Копецька – Науковий вісник Ужгородського національного університету. – Випуск 7, частина 2 – 2016. – С. 21-26
- 30.Кудря С.О. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Курс лекцій/ С.О. Кудря, В.І. Будько. –К.: НТУУ «КПІ», 2013. –387с.
- 31.Лук'янова Л. Б. Лабораторний практикум з екології: Навчально-методичний посібник./ Л. Б. Лук'янова – Вид. 2-ге змінене і доповнене. – Київ : ТОВ «ДСК – Центр». – 143 с.
- 32.Маляренко В.А. – Енергетика і навколишнє середовище. / В.А. Маляренко – Харків: Видавництво САГА. – 2008
- 33.Маляренко В.М. Енергетика, довкілля, енергозбереження. / В.А. Маляренко, Л.В. Лисак /Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка, Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.
- 34.Маниліч М.І. Інноваційна діяльність з впровадження поновлюваних джерел енергії як спосіб досягнення енергоефективності ЖКГ та економіки вцілому / М.І. Маниліч // Економічний простір. – № 100. – 2015
- 35.Мартиненко В.Г. Хімія неметалів з основами біогеохімії. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів екологічного та агрономічного профілю /Укл. Мартиненко В.Г., Мартиненко А.П., Медведєва О.В. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 330 с

- 36.Петрушина Г.О. Електрохімія: навч. посіб./ Г.О. Петрушина. – Дніпро:Пороги, 2018. – 84с.
- 37.Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець. – Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с.
- 38.Посібник для учителя / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://documents.rec.org/publications/Green\\_Pack\\_Ukraine\\_UA\\_FEB\\_10.pdf](http://documents.rec.org/publications/Green_Pack_Ukraine_UA_FEB_10.pdf)
- 39.Рабинович М.Д. Альтернативна енергетика: проблеми класифікації та положення Кіотського протоколу / М.Д. Рабинович // Проблеми загальної енергетики. – 2003. – № 9. – 387 с.
- 40.Світова Економіка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sites.google.com/site/kraienisvit/home/religiie-svitu/svitova-ekonomika>
- 41.Сонко С. Курс лекцій з дисципліни «Природні ресурси України» для студентів напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». / С. Сонко/ УНУС. – Репозитарій УНУС. – Умань,2010. – 34 с.
- 42.Сорока К.О. Основи теорії системі системного аналізу: Навч. посібник/К.О. Сорока. – ХНАМГ:, 2004. – 291 с.
- 43.Федоров М.П. Вторинні ресурси / М.П. Федоров // Енергетика. 2002. №6. – С. 7-11. Утилізація й переробка ТБО з метою одержання біогаза // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: [www.solidwaste.ru/dictionary/2.html&view=A](http://www.solidwaste.ru/dictionary/2.html&view=A)
- 44.Чернобровкін, А.В. Використання відновлюваних джерел електроенергії на об'єктах держгідрографії / А.В. Чернобровкін // Энергосбережение. – 2011. – № 6. – С. 24 – 27
- 45.Шевряков М.В. Аналітична хімія: Навч.-метод. посібник для студентів університетів напряму підготовки «Хімія\*». / М.В. Шевряков, М.В. Повстяний, Б.В. Яковенко, Т.А. Попович –Херсон: Айлант, 2011. –404 с.