**Лекція № 5, 6**

**Альтернативні технології виробництва електричної енергії: основні поняття та визначення**

Матеріал базується на основних положеннях стандарту «Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Основні положення. ДСТУ 3569-97 (ГОСТ 30514-97) Державний стандарт України. Чинний від 1997-07-01», який встановлює основні вимоги, призначення, галузь використання нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії (НПДЕ), їх класифікацію, а також класифікацію енергоустановок, які використовують НПДЕ, та основні вимоги, що пред'являються до нормативних документів у сфері НПДЕ.

Цей стандарт є основоположним і призначений для всебічного та обґрунтованого нормативного забезпечення різноманітних аспектів НПДЕ і розповсюджується на всі види НПДЕ, енергоагрегати, що розробляються (проектуються), реконструюються та експлуатуються і призначені для перетворення енергії НПДЕ. В першу чергу це не стосується енергоустановок, які використовують сонячну енергію, енергію біомаси, енергію вітру, деякі види гідроенергії, геотермальну енергію.

Основні вимоги данного стандарту обов'язкові під час застосування у всіх видах технічної документації та літератури у сфері НПДЕ.

**6.1 Класифікація нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії і енергоустановок**

**Основні види НПДЕ** (рис. 6.1):

Рисунок 6.1 – Основні види нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії

1. Сонячна енергія, яка містить у собі потенціал сонячного випромінювання, придатний для:

* вироблення теплової енергії, що використовується в теплохолодопостачанні та гарячому водопостачанні технологічних процесів;
* вироблення електроенергії за термодинамічним циклом;
* вироблення електроенергії шляхом фотоелектричного перетворення.

1. Енергія вітру, яка містить у собі вітроенергоресурси, придатні для:

* виробництва електричної енергії у складі енергосистеми;
* виробництва енергії, яка використовується автономними споживачами енергії;
* використання у різних технологічних процесах.

1. Енергія біомаси, яка придатна для вироблення різних видів палива, газопостачання об'єктів і містить у собі:

* енергоресурси органічних відходів тваринництва та птахівництва, харчової, м’ясо-молочної промисловості;
* енергоресурси рослинних відходів сільського господарства;
* енергоресурси рослинних відходів лісового господарства;
* енергоресурси стічних вод та опадів стічних вод;
* енергоресурси твердих побутових відходів

1. Геотермальна енергія, яка придатна для вироблення теплової енергії і електроенергії і містить у собі:

* парогідротерми;
* гідротерми;
* термоаномальні зони;
* петрогеотермальні зони;
* магму.

1. Енергія малих річок, яка придатна для електрифікації автономних споживачів і містить у собі:

* енергію малих водяних протоків – малих річок та струмків.

1. Енергія Світового океану, яка придатна для вироблення електричної

енергії і містить у собі:

* енергію хвиль;
* енергію припливів та відпливів;
* енергію градієнтів солонуватості морів та океанів;
* енергію температурних градієнтів морів та океанів;
* енергію морських течій.

**Класифікація і основні види енергоустановок НПДЕ** (рис. 6.2):

 Рисунок 6.2 – Класифікація нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії

1. За вхідною (споживчою) енергією:

* сонячні енергетичні установки;
* вітроенергетичні установки;
* гідроенергетичні установки;
* біоенергетичні установки;
* геотермальні станції та ін.

1. За вихідною (одержуваною) енергією:

* з одержанням теплової енергії;
* з одержанням електричної енергії;
* з одержанням механічної енергії;
* з комбінованим виходом (одержання електричної та механічної енергії, теплової і механічної та ін.).

1. За вихідною (корисною) потужністю:

* енергоустановки великої потужності чи інтегровані з елементів малої і середньої потужності;
* енергоустановки середньої потужності, інтегровані з енергоустановок малої потужності;
* енергоустановки малої потужності чи інтегровані з енергоустановок мікропотужності;
* енергоустановки мікропотужності.

*Примітка. Кожний із видів, класифікованих за первинним джерелом енергії, може бути класифікований, у свою чергу, за багатьма ознаками, що характеризуються параметрами первинного джерела енергії, режимом роботи, типом системи керування, типом (видом) проміжного робочого тіла енергоустановки та ін.*

**6.2 Основні характеристики альтернативних джерел електричної енергії**

Для розгляду пропонується такий склад нетрадиційних джерел електричної енергії (рис. 6.3):



Рисунок 6.3 – Склад нетрадиційних джерел електричної енергії

До **джерел прямого перетворення різних видів енергії в електричну** відносять джерела, що передбачають безпосереднє перетворення теплової та хімічної енергій в електричну.

Технологіями, які перетворюють теплову енергію в електричну, є:

- магнітогідродинамічне перетворення енергії;

- використання енергії реакторів-розмножувачів на швидких нейтронах;

- використання енергії термоядерних реакцій;

- термоелектричні технології;

- термоемісійні технології;

- технології з використанням цирконію.

Безпосереднє перетворення теплової енергії в електричну дозволяє суттєво підвищити рівень ефективності використання теплових ресурсів. У класичному паросиловому циклі перетворення енергії теплота, що отримується при спалюванні палива, перетворюється у внутрішню енергію пари, температура і тиск якої при цьому підвищуються. Потім у парових турбінах енергія пари перетворюється в механічну і тільки після цього в електричну.

Процеси цих багаторазових перетворень супроводжуються неминучими втратами, які знижують ефективність усього циклу.

У магнітогідродинамічному циклі відбувається пряме перетворення теплової енергії в електричну. Однак не тільки в цьому полягає перевага МГД- перетворення. В ідеальному тепловому циклі Карно ККД залежить від максимальної та мінімальної температур робочого тіла. В сучасних топках парогенераторів температура перевищує 2000 °С, а нагрів лопатей парових турбін через обмеженість теплостійкості матеріалу не повинен перевищувати 750 °С, що обмежує ККД до 60 %. За реальних умов у результаті недосконалості паросилового циклу ККД не вдається підвищити більше ніж до 40 %. В МГД-генераторах статичні умови роботи дозволяють використовувати матеріали, на поверхні яких температура може досягати 2700-3000 °С, що відкриває широкі перспективи підвищення ККД перетворення енергії.

Значні перспективи забезпечення людства електричною енергією пов'язані з використанням реакторів-розмножувачів на швидких нейтронах і термоядерного синтезу. Якщо перші вже знаходять практичне застосування, то використання термоядерного синтезу може отримати промислове значення через не один десяток років.

Термоелектричні генератори давно використовуються в техніці й побудовані на ефекті Пелтьє. Останній полягає у виникненні термо-ЕРС в замкненому колі з двох різнорідних провідників (напівпровідників) з різною температурою спаїв. Такі системи мають дуже низький ККД (2-3 %), але мають багато переваг: автономність, компактність, безпечність, безшумність.

Принцип дії термоемісійного перетворювача ґрунтується на емісії електронів при сильному нагріванні емітера. Пристрій такого типу подібний до двоелектродної електронної лампи. Як джерело енергії, можна використовувати ядерне паливо, органічне паливо, сонячне випромінювання. Одним із найбільш перспективних напрямів у даній галузі є створення автономних ядерних енергетичних установок із термоемісійним реактором-перетворювачем.

При прямому отриманні електричної енергії за рахунок хімічної енергії розглядаються електрохімічні генератори й паливні елементи (комірки). 3 електрохімічних перетворювачів найбільший інтерес становлять паливні елементи, в яких відбувається пряме перетворення хімічної енергії в електричну. На відміну від гальванічних елементів тут наявні розхідні матеріали – паливо та окиснювач. Найбільш поширена схема використання водню як палива і кисню як окиснювача. При цьому єдиним продуктом електрохімічної реакції є вода, тобто паливний елемент є цілковито чистим, з екологічної точки зору, джерелом енергії. 3 енергетичної точки зору перевагою паливних елементів є максимальний на сьогодні ККД (тобто коефіцієнт перетворення хімічної енергії в електричну) – до 50 - 70 %.

До **нетрадиційних видів палива** насамперед слід віднести водень, водневу енергетику. Вона цікава насамперед тим, що використовується водень, який має теплотворну здатність в 2,5 разу вище, ніж природний газ. Запаси водню необмежені, він екологічний, єдиним продуктом його спалювання є вода. До того ж водень можна використовувати для прямого перетворення хімічної енергії в електричну в паливних елементах. Також до цієї групи джерел енергії віднесений метан вугільних шахт, метан сміттєвих звалищ, синтез-газ, енергія газів геотермальних вод, енергія біомулу очисних споруджень тощо.

**6.3 Перспективи використання нетрадиційних джерел енергії**

Серед нетрадиційних джерел енергії на майбутні декілька десятиліть найбільш перспективним буде використання термоелектричних генераторів, водню, паливних комірок (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 – Найбільш перспективні нетрадиційні джерела електричної енергії

3 усіх різновидів **термоелектричних генераторів** найбільший інтерес становлять термофотоелектричні генератори (ТФЕГ). ТФЕГ завдяки створенню високоефективних фотоелектроперетворювачів та узгоджених із ними за спектром випромінювачів знайдуть широке використання як автономні джерела електричної енергії в наземних і космічних умовах. Питома вартість електроенергії, що може бути отримана за допомогою ТФЕГ, становить у наземних умовах 2-3 дол. США за 1 Вт встановленої потужності, що приблизно в 2 рази нижче питомої потужності наземних сонячних батарей. При цьому кількість електроенергії, яка виробляється за допомогою ТФЕГ еквівалентної потужності, приблизно в 3 рази більша за рахунок їх безперервної роботи. Крім того, питома кількість електроенергії, що виробляється з одиниці площі фотоперетворювачів, у ТФЕГ в 100-200 разів більша, ніж у звичайних сонячних батареях.

Значний економічний ефект за рахунок більш високого ККД і терміну служби забезпечить використання ТФЕГ замість електромеханічних (на основі двигунів внутрішнього згоряння) і термоелектричних генераторів. Не менш важливою є екологічна чистота процесу спалювання палива в ТФЕГ, що забезпечить також значний економічний ефект від заміни дизельних електрогенераторів на ТФЕГ. Це робить перспективним використання ТФЕГ для автономного забезпечення електричною енергією будинків котеджного типу в сільській місцевості, геологічних партій, маяків, ретрансляторних і радіолокаційних станцій тощо.

Використання ТФЕГ дасть суттєвий ефект у системах енергоживлення космічних апаратів, особливо тих, які запускаються в бік від Сонця, тобто в умовах, коли використання сонячних батарей неможливе або неефективне, а використання хімічних або інших джерел енергії забезпечить менший ККД або короткий ресурс роботи.

Сьогодні у світі спостерігається значний інтерес до **паливних елементів**. Значна кількість наукових організацій і фірм працюють над різними схемами та практичними застосуваннями паливних елементів. Значний інтерес становлять щодо цього галузі енергетики, космічної техніки, транспорту, мікроелектроніки. Одна з технічних проблем полягає в тому, що для електродів (катода) необхідно використовувати високорозвинуті поверхні. Очікується, що це завдання буде вирішено у зв'язку з досягненнями в галузі нанотехнологій, які дозволяють виробляти наноструктури типу нанотрубок, наноконусів, фулеренів із розмірами до кількох наномікрон. Саме такі наноструктури можуть бути основою для принципово нових і високоефективних складових паливних елементів.

**Водень** – це енергетичний ресурс майбутнього, але способи отримання його на сьогодні потребують значних капітальних витрат. У цьому напрямі наявні екзотичні проекти великомасштабного виробництва водню за допомогою бактерій. Процес відбувається за схемою фотосинтезу: сонячне світло поглинається, наприклад, синьо-зеленими водоростями, які швидко ростуть. Ці водорості можуть бути їжею для деяких бактерій, які в процесі життєдіяльності виділяють з води водень. Однак щоб здійснити цю ідею, необхідно вирішити багато наукових та інженерних задач.

**6.4 Розвиток нетрадиційної енергетики в Україні**

В Україні проблемам використання нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії значну увагу почали приділяти лише після проголошення незалежності, значно пізніше, ніж у розвинених країнах світу. Недостача енергетичних ресурсів в Україні сприяє підвищенню уваги до використання нетрадиційних джерел отримання паливно-енергетичних ресурсів. І це при тому , що значна кількість теплоти (більше 70 %) газотурбінних установок, що працюють на компресорних станціях магістральних газопроводів розсіюється з вихлопними газами, з температурою 270 - 400 °С. Достатньо перспективним, є метан вугільних родовищ. Ресурси метану в українській частині Донбасу оцінюються на 6-13 трлн м3. Згідно з оцінками іноземних експертів, із надр Донецького басейну за умовою інвестування приблизно на 180 млн дол. США щорічно можна добувати більше 12 млрд м3 газу, тоді як загальне добування природного газу в Україні становить близько 20 млрд м за рік.

У перспективі головними цілями розвитку та використання нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії в Україні є (рис. 6.5):

Рисунок 6.5 – Головні цілі розвитку та використання нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії в Україні

Засобом досягнення цих цілей є державна політика в напрямі підтримки розвитку нетрадиційних і поновлювальних джерел енергії та економічне зростання з нарощуванням виробництва ПЕР.

**Технологія виробництва електричної енергії на вітроелектростанціях**

**7.1 Загальна характеристика вітроенергетики**

**Вітер** – це рух повітряних мас земної атмосфери, викликаний перепадом температур в атмосфері через нерівномірне нагрівання її сонцем.

**Використання енергії вітру** – перетворення енергії сонця в механічну. Пристрої, що в свою чергу, перетворюють енергію вітру в будь-яку іншу (механічну, теплову, електричну), називають вітроенергетичними установками (ВЕУ).

Інтерес до ВЕУ різко виріс після енергетичної кризи 1973 року, коли різко підвищилась ціна на нафтопродукти. З того часу побудовано велику частину вітроустановок з широким використанням досягнень аеродинаміки, механіки, мікроелектроніки для контролю і керування. Вітроустановки потужністю від декількох кіловатів до мегаватів виробляються в Європі, США й інших частинах світу. Велику частину з них використовують для виробництва електроенергії як у складі енергосистеми, так і автономно.

**7.2 Умови впровадження вітроустановок**

**Одна з основних умов при проектуванні вітроустановок** – забезпечення захисту від руйнування сильними випадковими поривами вітру. В середньому раз у 50 років у кожній місцевості бувають вітри зі швидкістю, яка у 5-10 разів перевищує середню. Тому вітроустановки проектують з великим запасом міцності, але максимальна проектна потужність визначається для стандартної швидкості вітру, за яку звичайно приймають 12 м/с.

ВЕУ потрібно встановлювати досить високо над місцевими перешкодами, щоб вітровий потік був сильним та однорідним з мінімальними змінами напрямку і швидкості, яка збільшується з висотою над поверхнею Землі.

Найкращим місцем для розміщення ВЕУ є гладка куполоподібна, нічим не затінена, височина. Бажано, щоб в радіусі декількох сотень метрів вона була оточена полями чи водяною поверхнею. Як правило, голівки вітроустановок знаходяться на висоті від 5 до 50 м.

Для визначення швидкості Uz на цих висотах використовують апроксимаційну формулу, в яку входить значення стандартної швидкості вітру для даної місцевості U10 на висоті 10 м, а саме:

, (7.1)

де z– висота, м,

b =0,14 – параметр для відкритих місць.

Чим менше значення швидкості, тим менше розрізняється навантаження, що зазнає лопать вітроколеса в нижнім та верхнім положенні. Значення параметра b різні в різну пору року і протягом однієї доби. Тому приведеною вище формулою треба користуватися дуже обачно, особливо для висот більш 50 м.

Таблиця 7.1 – Сила вітру по шкалі Бофорта та її вплив на вітроустановки та умови роботи

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Бали Бофрта | Швидкість вітру | Характеристика сили вітру | Спостережливі ефекти дії | Вплив вітру на ВЕУ | Умови для роботи ВЕУ |
| 1 | 0,4-1,8 | Тихий | Дим з труби ледве відхиляється, на воді з’являються брижі | - | Відсутні |
| 2 | 1,8-3,6 | Легкий | Вітер відчувається лицем, шелестять листя, на воді виразне хвилювання | - | Відсутні |
| 3 | 3,6-5,8 | Слабкий | Хитається листя на деревах, розгортаються легкі прапори. На окремих хвилях з’являються «баранці». | Починають обертатися лопоті тихохідних ВЕУ | Погані для всіх установок |
| 4 | 5,8-8,5 | Помірний | Хитаються тонкі гілки дерев, підіймається пил та клаптики паперів, на воді багато «баранців» | Починають обертатися колеса всіх ВЕУ | Гарні |
| 5 | 8,5-11 | Свіжий | Починають розкачуватись листвяні дерева, всі хвилі в «баранцях» | Потужність ВЕУ досягає 30% від проектної | Дуже гарні |
| 6 | 11-14 | Сильний | Розкачуються великі гілки дерев, гудять телефонні провода, піняться гребні хвиль | Потужність у розрахунковому діапазоні близька до максимальної | Сприятливі для міцних малогобаритних електроустановок |
| 7 | 14-17 | Міцний | Всі дерева розкачуються, з гребнів хвиль зривається піна | Максимальна потужність | Крайні допустимі |
| 8 | 17-21 | Дуже міцний | Ламаються гілки дерев, важко йти проти вітру, з хвиль зриваються клаптики піни | ВЕУ починають відключатися | Недопустимі |
| При швидкості вітру 21-34 м/с – шторм, понад 34 м/с – ураган. | | | | | |

У районах зі сприятливими вітровими умовами середньорічне виробництво електроенергії вітроустановками складає 25-35% його максимального проектного значення, термін служби вітроустановок – 15-20 років, а вартість – від 1000 до 1500 доларів США за 1 кВт проектної потужності. Офіційні оцінки можливої частки вітроенергетики в енергетиці, наприклад, у Великобританії і Західній Німеччині, що не передбачають яких - небудь серйозних змін у сформованій інфраструктурі енергоспоживання, складають не менш 20 %.

Автономні вітроустановки дуже перспективні для заміни дизельних електростанцій і опалювальних установок, що працюють на нафтопродуктах, особливо у віддалених районах, і можуть бути призначені для безпосереднього виконання механічної роботи (наприклад, приводу водяного насоса) або для виробництва електроенергії. В останньому випадку вони приводять в дію електрогенератор і разом з ними називаються вітрогенераторами.

Таблиця 7.2 – Параметри вітроенергетичних установок різної проектної потужності при швидкості вітру 12 м/с

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Клас ВЕУ | Розрахункова (проектна потужність), кВт | Діаметр вітроколеса, м | Період обертання,с |
| Малі | 10; 25 | 6,4; 10 | 0,3; 0,4 |
| Середні | 50; 100; 150 | 14; 20; 25 | 0,6; 0,9; 1,1 |
| Великі | 250; 500; 1000 | 32; 49; 64 | 1,4; 2,1; 3,1 |
| Дуже великі | 2000; 3000; 4000 | 90; 110; 130 | 3,9; 4,8; 5,7 |

Таблиця 7.3 – Вітротехничні показники вітроагрегатів, рекомендованих до впровадження

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Зональна середньорічна швидкість вітру, м/с | Діапазон робочих швидкостей вітру ВЕУ, м/с | Розрахунокова швидкість вітру, що відповідає номінальній потужності, м/с | Орієнтована частка використання ВЕУ, % |
| до 4,5 | 3-20 | 8 | 40 |
| 4,5 – 5,5 | 4-24 | 9 | 30 |
| понад 5,5 | 4-24 | 10-12 | 30 |

Принцип дії і класифікація ВЕУ. Як уже було сказано, у вітроенергетичних установках енергія вітру перетворює в механічну енергію робочих органів. Первинним і основним з них є вітроколесо, що безпосередньо приймає на себе енергію вітру і перетворює її в кінетичну енергію обертання.

Обертання вітроколеса під дією вітру обумовлено тим, що на будь-яке тіло, яке обтікається потоком газу, діє сила Р, яку можна розкласти на дві складові – уздовж швидкості потоку (силу лобового опору Fo ), і у напрямку, перпендикулярному швидкості потоку, що набігає піднімальною силою Fп . Величини цих сил залежать від форми тіла, орієнтації його в потоці газу і швидкості. Під дією цих сил вітроколесо приводиться в обертання.

**7.3 Класифікація вітроустановок**

Вітроелектроустановки класифікуються (рис. 7.1).

Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, то установка називається горизонтально-осьовою, якщо перпендикулярна – вертикально-осьовою. Установки, що використовують силу лобового опору , як правило, обертаються з лінійною швидкістю, меншою швидкості вітру, а установки, що використовують підйомну силу, мають лінійну швидкість кінців лопатей, яка більше швидкості вітру.

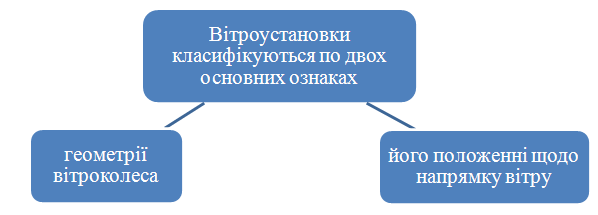
****

Рисунок 7.1 – Класифікація вітроелектроустановок

Кожне вітроколесо характеризується:

− охоплюємою площею S, тобто площею, що покривається його лопатями при обертанні і дорівнює:

, (7.2)

де *D* – діаметр вітроколеса;

- геометричним заповненням, рівним відношенню площі проекції лопаті на площину, перпендикулярну потоку, до ометаємої площі (так, наприклад, при однакових лопатях чотирилопатне колесо має вдвічі більше заповнення, чим дволопатне),

- коефіцієнтом потужності Ср, який характеризує ефективність використання енергії вітрового потоку та залежить від конструкції вітроколеса;

- коефіцієнтом швидкохідності Z, рівним відношенню швидкості кінця лопаті до швидкості вітру.

При швидкості вітру V та щільності повітря ρ вітроколесо з охоплюємою площиною S розвиває потужність

, (7.3)

яка пропорційна кубу швидкості вітру. ВЕУ з великим геометричним заповненням вітроколеса розвивають значну потужність при відносно слабкому вітрі, максимум потужності досягається при невеликих обертаннях колеса. ВЕУ з малим заповненням досягають максимальної потужності при великих обертаннях, та потребують більш великого часу при виході на цей режим. Тому перші використовуються у водяних насосах і навіть при слабкому вітру зберігають працездатність, а другі – у якості електрогенераторів, де необхідна висока частота обертання.

Виробництво електроенергії ВЕУ. Використання вітроустановок для виробництва електроенергії є найбільш ефективним засобом утилізації енергії вітру. Вимоги до показників частоти та напруги електроенергії, яка виробляється ВЕУ, залежать від особливостей споживачів. Ці вимоги досить тверді при роботі ВЕУ у рамках єдиної енергетичної системи і доволі м’які – при використанні енергії вітроустановок в освітлювальних та нагрівних установках.

Основними елементами вітроелектрогенераторів є : вітроустановка, електрогенератор, система керування параметрами генерувальної електроенергії в залежності від змінювання сили вітру та швидкості обертання колеса.

Для виключення перебоїв в електропостачанні ВЕУ потрібні акумулятори електричної енергії або необхідно запаралелення з електроенергетичним обладнанням інших типів, тому що неминучі періоди безвітря. Одним із засобів керування електроенергією вітру є випрямлення змінного струму ВЕУ, а потім перетворення його в змінний струм з заданими стабілізованими параметрами. В таблиці 7.3 приведено характеристики вітру і показники ВЕУ, рекомендованих до впровадження.

**7.4 Система енергозабезпечення навантажень 220В/50Гц на основі ВЕУ-08**

Основні характеристики систем енергозабезпечення навантажень 220В/50Гц на основі ВЕУ-08 (Рис. 7.2):

* номінальна потужність - 800 Вт;
* діаметр вітротурбіни - 3.1 м;
* стартова швидкість вітру - 2.5 м/с;
* стартова швидкість вітру - 8 м/с;
* макс. експлуатаційна швидкість вітру - 50 м/с;
* номінальна частота обертання - 310 об/хв;
* метод зупинки - флюгування;
* регулювання обертів – зміна шагу;
* номінальна напруга генератора – 24 В;
* ЕРС генератора – до 60 В;
* висота щогли, що рекомендується – 11..17 м.

У типовий склад системи енергозабезпечення навантажень 220В/50Гц на основі ВЕУ-08 входять наступні компоненти:

1. Головка ВЕУ-08 - виробляє «грубу» електроенергію з нестабільними параметрами, залежними від швидкості вітру.

2. Фотоелектричний модуль (ФМ) – опційний компонент, що виробляє додаткову «грубу» енергію, залежну від освітленості. Підвищує надійність енергозабезпечення і сумарне вироблення енергії.

3. Акумуляторна батарея (АБ) – накопичувач енергії для узгодження графіків вироблення і споживання енергії. Застосовується кислотна АБ з номінальною напругою 24В і ємкістю, що рекомендується, 190А год. Може складатися з двох автомобільних стартерів АБ 12 В.

4. Джерело безперебійного живлення ІБП-1.5/3С-ВГ/ФМ – пристрій, що погоджує між собою вказані вище компоненти, навантаження і зовнішню мережу 220В. Заряджає АБ від ВЕУ, ФЕМ і зовнішній мережі 220В. Перетворює накопичену в АБ енергію в стабілізовані 220В/50Гц з номінальною потужністю до 1.5кВт з синусоїдальною формою сигналу. Автоматично комутує навантаження на живлення від зовнішньої мережі 220 В або від перетворювача. Відображає параметри системи на цифровому індикаторі.

5. Щогла – використовується для встановлення головки на висоті 11 або 17м, на якій вітровий потік не затінюється перешкодами і має достатню швидкість.

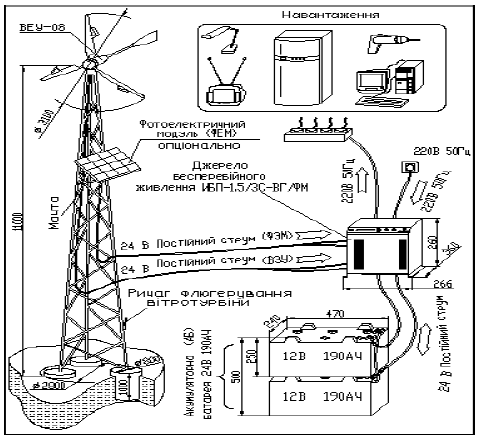


Рисунок 7.2 – Система енергозабезпечення навантажень 220В/50Гц на основі ВЕУ-08

**7.5Варіанти виконання вітроустановок**

Вітряні установки мають два основних варіанта виконання (рис. 7.3): автономні та підключені до зовнішньої мережі.

**Автономні** застосовуються тоді, коли будинок або офіс повністю відключені від зовнішньої мережі і ВЕУ генерує всю необхідну електроенергію.

**Підключені до зовнішньої електромережі** установки живлять потрібних споживачів та одночасно видають надлишки енергії у зовнішню мережу. Таким чином, якщо у звітний період часу, якщо спожити енергії менше, ніж виробила ВЕУ, то енергопостачальна організація теоретично повинна компенсувати цю різницю.



Рисунок 7.3 – Варіанти виконання ВЕУ

Приведемо декілька популярних схем роботи вітрогенераторних систем із споживачем. Це всього лише деякі приклади, тому можливі і інші схеми роботи. В кожному випадку складається індивідуальний проект, який здатний вирішити поставлене перед нами завдання.

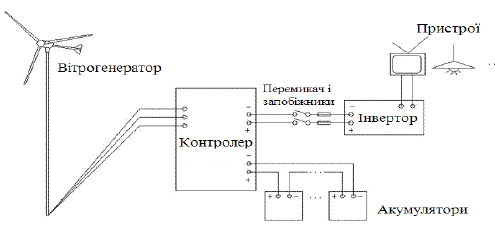


Рисунок 7.4– Автономне забезпечення об'єкта (з акумуляторними батареями)

Об'єкт живиться тільки від вітроенергетичної установки.

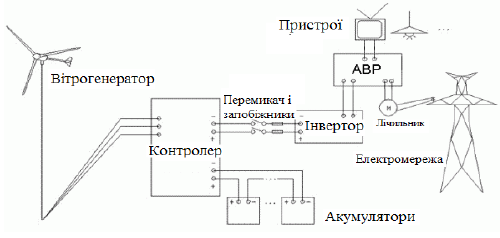


Рисунок 7.5 – Вітрогенератор (з акумуляторами) і комутація з мережею

АВР дозволяє перемкнути живлення об'єкта за відсутності вітру і повному розряді акумуляторів на електромережу. Ця ж схема може використовуватися і навпаки – вітрогенератор як резервне джерело живлення. У цьому випадку АВР перемикає на акумуляторні батареї вітрогенератора при відсутності живлення від електромережі.

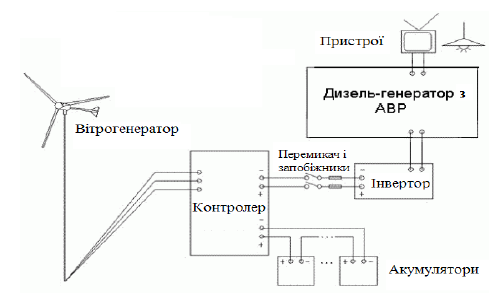


Рисунок 7.6 – Вітрогенератор (з акумуляторами) і резервний дизель-(бензо-) генератор

У разі відсутності вітру та при розряді акумуляторної батареї відбувається автоматичний запуск резервного дизель-генератора.

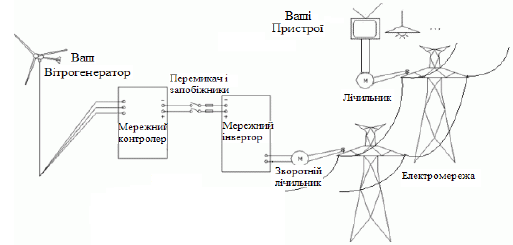


Рисунок 7.7 – Вітрогенератор (без акумуляторів) і комутація з мережею

Суспільна електромережа використовується замість акумуляторної батареї – в неї вирушає вся вироблена електроенергія і з неї споживається. Ви платите лише за різницю між виробленою і спожитою електроенергією. Така схема роботи поки-що не дозволена в Україні і в багатьох інших країнах.

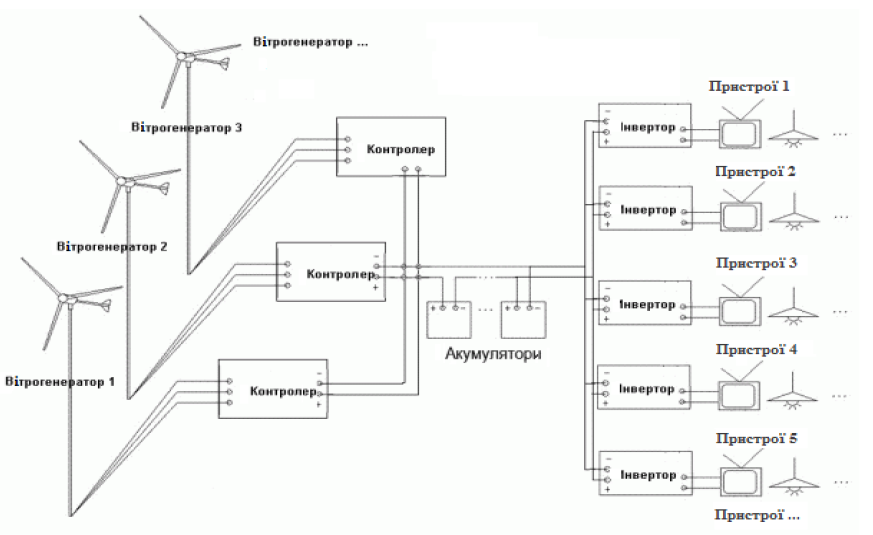


Рисунок 7.8 – Збільшення продуктивності системи

Можливо встановити два і більше генератора, інвертора і комплекту акумуляторів для збільшення потужності системи.

**Лекція № 9**

**Технології прямого перетворення різних видів енергії в електричну. Технологія виробництва електричної енергії електрохімічними джерелами**

**9.1 Загальні відомості**

Сучасні засоби отримання електричної енергії ґрунтуються переважно на марнотратному використанні органічного палива. В майбутньому через зростаючу потребу у великій кількості дешевої енергії і в більш раціональному використанні природної сировини для виробництва продуктів хімічної, фармацевтичної та інших галузей промисловості неминуче на зміну традиційним засобам перетворення енергії прийдуть якісно нові, насамперед такі засоби, що безпосередньо перетворюють тепло й хімічну енергію в електричну. Ці засоби безпосереднього перетворення різних видів енергії на електричну ґрунтуються на фізичних явищах та ефектах, що були відкриті в минулому, їх практичне використання вдосконалюється разом зі зростанням прогресу в науці й техніці, з накопиченням значного експериментального матеріалу та використанням новітніх технологій.

Однак засоби безпосереднього отримання електричної енергії поки що не є конкурентоспроможними порівняно із засобами перетворення енергії, що використовуються на сучасних електричних станціях. Пряме отримання великої кількості електроенергії перетворенням теплоти, хімічної та ядерної енергій належить до нових, перспективних засобів, які, безперечно, в майбутньому стануть головними й значно збільшать доступні енергетичні ресурси планети.

Безпосереднє отримання електричної енергії вже широко використовується в автономних джерелах енергії невеликої потужності, для яких показники економічності роботи не мають вирішального значення, а мають значення надійність роботи, компактність, зручність обслуговування, невелика маса тощо. Такі джерела енергії використовуються в системах збирання інформації у важкодоступних місцях Землі та в міжпланетному просторі, на космічних апаратах, літаках тощо. Сумарна установлена потужність мільярдів автономних джерел енергії, незважаючи на їхні малі розміри, перевищує потужність усіх стаціонарних електростанцій разом узятих.

Робота автономних джерел, що безпосередньо перетворюють різні види енергії в електричну, ґрунтується на хімічних або фізичних ефектах. У хімічних джерелах, наприклад, таких, як гальванічні елементи, акумулятори, електрохімічні генератори, використовується енергія окисно-відновних реакцій хімічних реагентів. Такі фізичні джерела електроенергії, як термоелектронні генератори, фотоелектричні батареї, термоемісійні генератори, працюють, відповідно на основі різних фізичних ефектів.

**9.2 Технологія виробництва електричної енергії на основі фотоелектричного ефекту**

Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі. Унаслідок реакцій ядерного синтезу в його активному ядрі досягаються температури до 107 К. При цьому поверхня Сонця має температуру близько 6000 К. Електромагнітним випромінюванням сонячна енергія передається в космічному просторі і досягає поверхні Землі, з потужністью близько 1,2-1011 Вт. Одержання такої енергії протягом однієї години досить, щоб задовольнити енергетичні потреби всього населення Земної кулі протягом року.

Максимальна щільність потоку сонячного випромінювання, що приходить на Землю, складає приблизно 1кВт/м2. В залежності від місця, часу доби і погоди потоки сонячної енергії міняються від 3 до 30 МДж/м2 у день (для різних населених районів).

Для створення комфортних умов життя одній людині, в середньому, потрібно приблизно 2 кВт х час на добу, або приблизно 170 МДж енергії. Якщо прийняти ефективність перетворення сонячної енергії в зручну для споживання форму - 10% та потік сонячної енергії - 17 Мдж/м2 у день, то необхідну для однієї людини енергію можна одержати з 100 м2 площі земної поверхні. При середній щільності населення в містах - 500 чоловік на 1км2, на одну людину приходиться близько 2000 м2 земної поверхні. Тобто, досить всього 5% цієї площі, щоб за рахунок сонячної енергії, що знімається з її, задовольнити енергетичні потреби людини.

Для характеристики сонячного випромінювання і взаємодії його з речовиною використовуються наступні основні величини.

**Потік випромінювання** – енергія, що випромінюється електромагнітними хвилями за одну секунду через одиницю довільної поверхні [Дж/с=Вт].

**Щільність потоку випромінювання (енергетична освітленість)** - відношення потоку випромінювання до площі поверхні, що опромінюється. Щільність потоку випромінювання від Сонця, що падає на перпендикулярну йому площадку поза земною атмосферою, ще називається **сонячною** **константою** δ .

**Коефіцієнт поглинання** – відношення потоку випромінювання, що поглинається поверхнею тіла, до потоку випромінювання, який падає на цю поверхню в тому же спектральному інтервалі. Залежить від частоти (довжини хвилі) випромінювання , природи і температури тіла. Тіло, для якого коефіцієнт поглинання дорівнює одиниці, поглинає все падаюче на нього випромінювання і називається абсолютно чорним тілом.

**Відбивна здатність тіла** - відношення потоку випромінювання, відбитого поверхнею тіла, до потоку, падаючого на його поверхню. Для поверхонь, що розсіюють падаюче сонячне випромінювання, цю величину називають *альбедо.*

**9.3 Сонячні системи для одержання електроенергії (сонячні електростанції)**

Концентрація сонячної енергії дозволяє одержувати температури до 7000С, що досить для роботи звичайного теплового двигуна з прийнятним коефіцієнтом корисної дії. Наприклад, параболічний концентратор з діаметром дзеркала 30 м дозволяє сконцентрувати потужність випромінювання порядку 700 кВт, що дає можливість одержати до 200 кВт електроенергії. Колектор передає сонячну енергію теплоносію (останній у цьому випадку може являти собою водяну пару високої температури), яка направляється в парову турбіну для вироблення електроенергії.

Для створення сонячних електростанцій великої потужності (порядку 10 МВТ) можливі два варіанти: розосереджені колектори і системи з центральною сонячною вежею. Сонячна електростанція з розосередженими колекторами складається з безлічі невеликих концентруючих колекторів, кожний з яких незалежно стежить за Сонцем, передає енергію рідині (теплоносію), яка збирається від усіх колекторів в центральної енергостанції і надходить на турбіну електрогенератора. Сонячна електростанція з центральною вежею складається з плоских дзеркал, які розташовані на великій площі, стежать за Сонцем і відбивають сонячні промені на центральний приймач, розміщений на вершині вежі.

**9.4 Пряме перетворення сонячної енергії в електричну (фотоелектричні перетворювачі)**

Найбільш оптимальним є пряме перетворення сонячної енергії в електричну, що стає можливим при використанні **фотоефекту***.*

**Фотоефект** *–* електричне явище, яке відбувається при освітленні речовини, а саме: вихід електронів з металів (фотоелектрична емісія чи зовнішній фотоефект); переміщення зарядів через границю розділу напівпровідників з різними типами провідності (+p, -n) (вентильний фотоефект); зміна електричної провідності (фотопровідність).

При освітленні границі розділу напівпровідників з різними типами провідності (р-n) між ними встановлюється різниця потенціалів (фото ЕДС). Це явище називається вентильним фотоефектом, на використанні якого засноване створення фотоелектричних перетворювачів енергії (сонячних елементів і батарей).

Сонячні елементи характеризуються коефіцієнтом перетворення сонячної енергії в електричну, який є відношенням падаючого на елемент потоку випромінювання до максимальної потужності електричної енергії, що виробляється. Кремнієві сонячні елементи мають коефіцієнт перетворення 10-15 %, тобто при освітленості 1 кВт/м2 виробляють електричну потужність 1-1,5 Вт з кожного квадратного дециметра.

Типова структура сонячного елемента з p-n переходом зображена на рис. 9.1 і включає до себе: 1 - шар напівпровідника (товщиною 0,2-1,0 мікрон) з n-провідністю; 2 - шар напівпровідника (товщиною 250 - 400 мікронів) з p- провідністю; 3 - додатковий потенційний бар'єр (товщиною 0,2 мкм); 4 - металевий контакт з затиллясторони; 5 - сполучний провідник з лицьовою поверхнею попереднього елемента; 6 - противідзеркакльне покриття; 7- лицьовий контакт; 8 - провідник з’єднання з контактом наступного елемента.

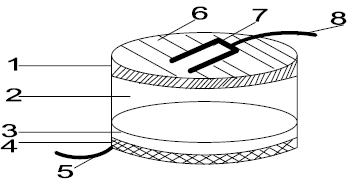
****

Рисунок 9.1 – Сонячний елемент

Сонячні елементи з’єднуються послідовно в сонячні модулі, які, в свою чергу, паралельно – в сонячні батареї (рис. 9.2).

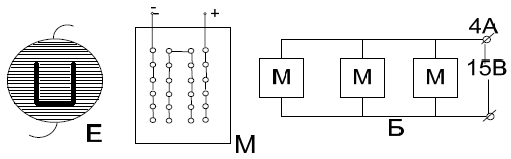
****

Рисунок 9.2– Е – сонячний елемент, М – сонячний модуль, Б – сонячна батарея

Важливим показником, що характеризує можливість широкого використання фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії в електричну є вартість 1 Вт максимальної потужності, яка на даний час дорівнює 0,8 доларів США. При повній вартості сонячних елементів 4 долари США за 1Вт, допоміжної апаратури - 2 долари США за 1 Вт, опроміненні місцевості 20 МДЖ/м2 у день та довговічності сонячних батарей 20 років вартість електроенергії складе приблизно 16 центів США за 1кВтч (4,4 центи за МДж).

Така цілком конкурентоздатна вартість електроенергії, що виробляється дизель-генераторами у віддалених районах, де вартість доставки палива й обслуговування різко зростає. Слід очікувати, що в найближчий час сонячні батареї будуть широко використовуватись в освітлювальних системах, системах тепло- і водопостачання, в першу чергу, у сільських місцевостях .

Основними компонентами сонячної енергетичної установки є сонячна батарея з приладами контролю і керування, акумуляторна батарея, інвертор для перетворення постійного струму сонячної батареї в перемінний струм промислових параметрів, що споживається більшістю електричних пристроїв

Незважаючи на нерівномірність добового потоку сонячного випромінювання і його відсутність у нічний час, акумуляторна батарея за рахунок накопичення електрики, яка виробляється сонячною батареєю, дозволяє забезпечити безупинну роботу сонячної енергетичної установки.

**9.5 Магнітогідродинамічні перетворювачі енергії**

До одного з центральних фізико-технічних завдань енергетики належить створення магнітогідродинамічних генераторів (МГД-генераторів), що безпосередньо перетворюють теплову енергію на електричну. Можливість практичної реалізації такого роду перетворення енергії в широких промислових масштабах з'являється завдяки успіхам в атомній фізиці, фізиці плазми, металургії та ряді інших галузей.

Пряме перетворення теплової енергії на електричну дозволяє суттєво підвищити рівень ефективності використання паливних ресурсів.

Перший магнітогідродинамічний генератор струму був випробуваний ще в 1832 р. англійським фізиком М. Фарадеєм, який намагався виявити виникнення електрорушійної сили (ЕРС) між двома електродами, що були опущені у воду річки Темза поблизу моста Ватерлоо в Лондоні. Згідно з відкритим Фарадеєм законом електромагнітної індукції, переміщення провідника (в даному випадку солонуватої води з річки) в магнітному полі Землі мало супроводжуватися виникненням ЕРС та електричного струму в провідниках, що з'єднували електроди. А згідно із законом електромагнітної індукції сила струму в провідниках пропорційна індукції магнітного поля Землі і швидкості течії води в річці. Вимірювальна техніка, яку мав Фарадей, не дозволила йому виявити ефект, на який він очікував, але в цьому експерименті було застосовано всі принципові елементи сучасного МГД-генератора струму: провідну речовину, що рухається каналом, поперечне магнітне поле і струмознімальні електроди.

Ефект електромагнітної індукції використовується й у звичайних джерелах струму - електромашинних генераторах, де поперек магнітного поля рухаються жорсткі провідники, які розміщені на обертовому роторі. На відміну від них, в МГД-генераторі жорсткі провідники замінено провідною рідиною або газом.

Які переваги при цьому виникають? Ротор електромашинного генератора обертає парова турбіна або інший тепловий двигун, у якому теплова енергія перетворюється в механічну. МГД-генератор дозволяє безпосередньо перетворювати теплову енергію на електричну без проміжних складних пристроїв типу парової турбіни або двигуна внутрішнього згорання.

Галузь науки, яка вивчає взаємодію між магнітним полем і струмопровідною рідиною або газом, називається магнітогідродинамікою. Принципову схему дії сучасного МГД-генератора наведено на рисунку 9.3. У цій схемі між металевими пластинами, розташованими в сильному магнітному полі, пропускається струмінь іонізованого газу, який має кінетичну енергію руху частинок. При цьому відповідно до закону електромагнітної індукції з'являється ЕРС, що створює протікання струму між електродами всередині каналу генератора і в зовнішньому колі. Потік іонізованого газу – плазма - гальмується під дією електродинамічних сил, що виникають при взаємодії струму, який тече в плазмі, та магнітного потоку.

Донедавна було відомо три стани речовини: твердий, рідкий і газоподібний. Газ вважався електрично нейтральним, бо атоми і складені з них молекули є нейтральними. Заряд електронів в атомах повністю врівноважується зарядом ядра.

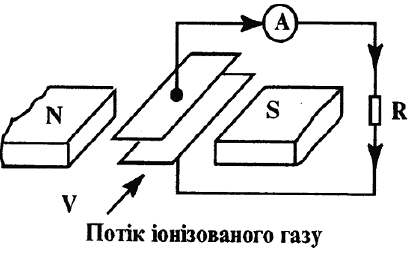
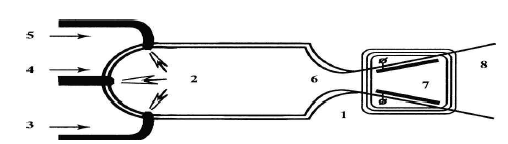
****

Рисунок 9.3 – Принципова схема дії МГД-генератора

При нагріванні газу в результаті інтенсивних співударів атомів відбувається вибивання зовнішніх електронів. Якщо відділити всі електрони від ядер, то речовина перебуватиме в четвертому стані, що називається плазмою.

Хоча плазма має високу електропровідність, її значно збільшують додаванням деяких лугових металів, які легко іонізуються (калій, натрій тощо). Якщо який-небудь газ нагріти до високої температури (приблизно 3000° С); збільшивши тим самим його внутрішню енергію і перетворивши його на електропровідну плазму, то при наступному розширенні плазми в робочих каналах МГД-генератора відбудеться пряме перетворення теплової енергії на електричну.

Принципову конструктивну схему МГД-генератора наведено на рисунку 9.4.

****

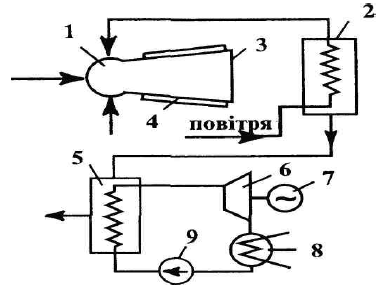
1 - обкладка електромагніту; 2 - камера згорання; 3 - присадка; 4 - повітря;

5 - паливо; 6 - сопло; 7 - електроди; 8 - продукти згорання

Рисунок 9.4 – Принципова конструктивна схема МГД-генератора

В камеру згорання для отримання високих температур подається паливо, повітря і присадки для збільшення іонізації плазми. Після проходження сопла (звуженої частини конструкції) відбувається розширення плазми, збільшення швидкості її руху й утворення ЕРС між електродами. Продукти згорання являють собою потік теплової енергії, їх можна буде використати для паросилового пристрою.

Принципову схему МГД-генератора з паросиловим пристроєм наведено на рисунку 9.5.

****

1 - камера згорання; 2 - теплообмінник; 3 – МГД - генератор; 4 – обмотка електромагніту; 5 - парогенератор; 6 - турбіна; 7 - електрогенератор; 8 - конденсатор; 9 – насос

Рисунок 9.5 – Принципова схема МГД-генератора з паросиловим пристроєм

В камері згорання спалюється органічне паливо, а продукти в плазмовому стані, що утворюються при цьому разом із доданими присадками спрямовуються в канал МГД-генератора, що розширюється. Сильне магнітне поле утворюється потужними електромагнітами. Температура газу вканалі генератора має бути не нижче 2000°С, а в камері згорання - 2500-2800°С.

Необхідність обмеження мінімальної температури газів, що виходять з МГД-генератора, зумовлена настільки значним зменшенням електропровідності газів при температурах нижче 2000° С, що в них практично зникає магнітогідродинамічна взаємодія з магнітним полем.

Теплота відпрацьованих у МГД-генераторах газів спочатку використовується для підігріву повітря, що подається в камеру згорання палива, а отже, – для підвищення рівня ефективності процесу його спалення.

Потім у паросиловому пристрої теплота витрачається на утворення пари і доведення його параметрів до необхідної величини. Гази, що виходять із каналу МГД-генератора, мають температуру приблизно 2000ｰ С, а сучасні теплообмінники, на жаль, можуть працювати при температурах, що не перевищують 800ｰ С. Через це при охолодженні газів частина тепла втрачається.

На рисунку 9.6 схематично показано основні елементи МГД- електростанції з паросиловим пристроєм та їхні взаємозв'язки. Труднощі у створенні МГД-генераторів полягають у виготовленні матеріалів необхідної міцності. Незважаючи на статичні умови роботи, до матеріалів ставлять високі вимоги, бо вони повинні тривалий час працювати в агресивних середовищах при високих температурах (2500-2800°С). Для потреб ракетної техніки створено матеріали, що здатні працювати за таких умов, однак протягом кількох хвилин. Тривалість роботи промислових енергетичних пристроїв вимірюється місяцями і більше.

Жаростійкість залежить не тільки від матеріалів, але й від середовища. Наприклад, вольфрамова нитка в лампі розжарювання при температурі 2500 - 2700°С може працювати у вакуумі або середовищі нейтрального газу декілька тисяч годин, а в повітрі плавиться за декілька секунд.

****

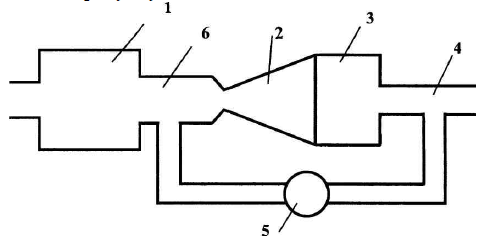
Рисунок 9.6 – Схематичне зображення основних елементів МГД-електростанції з паросиловим пристроєм та їхні взаємозв'язки

Зниження температури плазми з додаванням до неї присадок спричиняє підвищену корозію конструкційних матеріалів. Нині створено матеріали, які можуть працювати тривалий час при температурі 2200 -2500° С (графіт, оксид магнію тощо), проте вони не здатні протистояти механічним напруженням.

Незважаючи на досягнуті успіхи, завдання створення матеріалів для МГД-генераторів поки що не вирішено. Тривають також пошуки газу з найліпшими властивостями. Гелій з невеликим додаванням цезію при температурі 2000° С має однакову провідність із продуктами згорання мінерального палива при температурі 2500°С. Розроблено проект МГД- генератора, що працює по замкненому циклу, в якому гелій безперервно циркулює в системі.

Для роботи МГД-генератора необхідне сильне магнітне поле, яке можна отримати пропусканням великих струмів по обмотках. Щоб виключити сильне нагрівання обмоток і втрати енергії в них, опір провідників має бути якнайменшим. Для цього в ролі таких провідників доцільно використовувати надпровідні матеріали.

Перспективними МГД-генератори з ядерними реакторами, які використовуються для нагрівання газів та їх термічної іонізації. Схему такого пристрою наведено на рисунку 9.7.

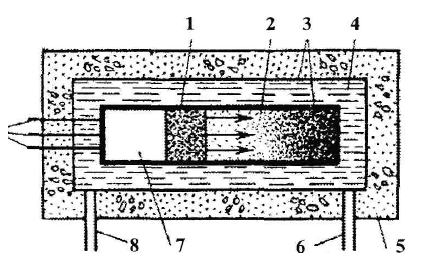
****

1 - ядерний реактор; 2 - сопло; 3 – МГД - генератор; 4 - місце конденсації лугових металів; 5 - насос; 6 - місце введення лугових металів.

Рисунок 9.7 – МГД-генератор із ядерним реактором

Труднощі створення МГД-генератора з ядерним реактором полягають у тому, що сучасні тепловидільні елементи, які вміщують уран і покриті оксидом магнію, витримують температуру близько 600 °С, а для іонізації газів необхідна температура близько 2000 °С.

Інтерес становить МГД-генератор із пульсуючою плазмою (рис. 9.8), у якому можна отримати електричну енергію змінного струму. Складається генератор із замкненої камери, в якій міститься радіоактивний газ в такій кількості, що при його рівномірному розміщенні не відбувається ланцюгова реакція. При стисканні газу в одному з кінців камери досягається за критичний об'єм і відбувається ланцюгова реакція, в результаті чого утворюється ударна хвиля. Слідом за хвилею переміщується плазма. В протилежному кінці камери знову відбувається ланцюгова реакція, і плазма рухається в протилежному напрямку, що зумовлює зміни у ЕРС [2].

****

1 - плазма; 2 - камера згорання; 3 - алюмінієві баки; 4 - теплоносій-затримувач; 5 - бетонний захист; 6, 7 - критична область; 8 - подавання та відведення теплоносія-затримувача; 9 - регулювальні стержні

Рисунок 9.8 – МГД-генератор з пульсуючою плазмою:

Перші експериментальні конструкції МГД-генераторів мають поки що високу вартість. У майбутньому можна очікувати суттєвого їхнього здешевлення, що дозволить успішно використати МГД-генератори для покриття піків навантаження в енергосистемах, тобто в режимах відносно недовгочасної роботи. В цих режимах ККД не має вирішального значення і МГД-генератори можна використовувати й без паросилового пристрою.

Нині у світі споруджено потужні дослідно-промислові зразки МГД- перетворювачів енергії, на яких ведуться дослідження щодо вдосконалення їх конструкцій і створення ефективних МГД-електростанцій, які зможуть конкурувати із звичайними електростанціями.

**9.6 Термоелектричні генератори**

3 усіх пристроїв, що безпосередньо перетворюють теплову енергію в електричну, термоелектричні генератори (ТЕГ) відносно невеликої потужності використовуються найширше.

Основні переваги ТЕГ:

- відсутність рухомої частини, що робить їх роботу безшумною;

- можна використовувати будь-які джерела теплоти;

- мають великий ресурс роботи;

- мають тривалий термін служби і практично необмежений термін зберігання

при повній готовності до роботи в будь-який час;

- не бояться короткого замикання та режиму холостого ходу;

- стійкі в роботі, дають стабільну напругу;

- не потребують спеціального обслуговування.

Завдяки цим властивостям термоелектричні генератори знаходять застосування в галузях, де є потреба в надійніших джерелах електроенергії, яким властивий тривалий термін експлуатації і які не потребують обслуговування: автономні космічні апарати, ракети, підводні човни, морські маяки, автоматичні метеостанції та інші установки невеликої потужності.

До недоліків термоелектричних генераторів відносяться порівняно невисокі енергетичні показники: питома маса - 10-15 кг/кВт, поверхнева густина потужності - ЮкВт/м (на одиницю поперечного перерізу елемента), об'ємна густина потужності - 200-400 кВт/м і порівняно низький коефіцієнт перетворення енергії (2-5 %).

Залежно від призначення ТЕГ можуть перетворювати на електричну енергію теплоту, яка отримується в атомних реакторах, енергію сонячної радіації, енергію органічного палива тощо. Орієнтовно визначають, що за електричними потужностями від 1 до 10 кВт доцільні радіоактивні ізотопи та сонячні концентратори різного виконання, а за більшими рівнями потужності - ядерні реактори.

Теплову енергію, що утворюється в процесі розпаду радіоактивних ізотопів і ділення ядер важких елементів у реакторах, використовують у ТЕГ з кінця 1950-х років.

Принцип роботи термоелемента ґрунтується на ефекті Зеєбека. В 1921 р. Зеєбек повідомив про експеримент, пов'язаний із відхиленням магнітної стрілки поблизу термоелектричних кіл. У цих дослідженнях він не розглядав задачу отримання енергії. Сутність відкритого ефекту полягає в тому, що в замкненому колі, яке складається з різнорідних матеріалів, протікає струм за різними температурами контактів матеріалів.

Ефект Зеєбека можна пояснити тим, що середня енергія вільних електронів є неоднаковою в різних провідниках і по-різному збільшується з підвищенням температури. Якщо вздовж провідника існує перепад температур, то виникає направлений потік електронів від гарячого спаю до холодного, в результаті чого біля холодного спаю утворюється надлишок від'ємних зарядів, біля гарячого - надлишок позитивних. Цей потік буде інтенсивнішим у провідниках з більшою концентрацією електронів.

У простішому термоелементі, замкнене коло якого складається з двох провідників із різними концентраціями електронів, а спаї підтримуються при різних температурах, виникає електричний струм. Якщо коло термоелемента розімкнене, то накопичення електронів на холодному кінці збільшує його від'ємний потенціал, доки не встановиться динамічна рівновага між електронами, що зміщуються до холодного кінця, й електронами, що відходять від холодного кінця під дією різниці потенціалів, яка виникла. Чим менша електропровідність матеріалу, тим менша швидкість зворотного перетікання електронів і, отже, тим вище ЕРС. Тому напівпровідникові елементи ефективніші, ніж метали. В загальному разі величина ЕРС термопари залежить від використаних матеріалів і температур гарячого і холодного спаїв:

, (9.1)

де а – коефіцієнт термо-ЕРС, який залежить від матеріалів термопари;

*Тг, Тх –* відповідно абсолютна температура гарячого й холодного спаїв.

Термо-ЕРС у напівпровідників більше ніж у 40 разів вища, ніж у металів. Добра теплоізоляційна здатність напівпровідників дозволяє створювати на їх основі ТЕГ зі значними перепадами температур, а це означає, із більшими величинами термо-ЕРС. Принципову схему напівпровідникового термоелектричного генератора, який має одну гілку *p* - провідності і одну гілку *n* - провідності; наведено на рисунку 9.9.

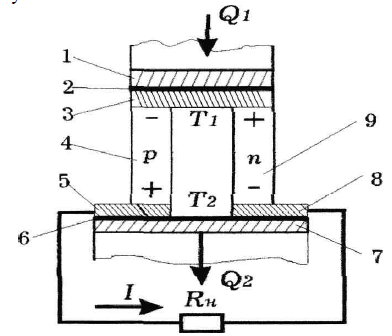
****

Рисунок 9.9 – Принципова схема напівпровідникового термоелектричного генератора

Теплота (*Q1* підводиться до ТЕГ через стінку нагрівача 1 за допомогою теплоносія (наприклад, рідинно-металевого), теплової труби або при безпосередньому контакті з зоною тепловиділення реактора. Через стінку 7 холодильника теплота (22 відводиться від ТЕГ (випромінюванням, теплоносієм або тепловою трубою). Спаї напівпровідникових кристалічних термостовпчиків 4 і 9 утворені металічними шинами 3, 5 і 8, які електрично ізольовані від стінок 1 і 7 шарами діелектрика 2, 6. Ефективність ТЕГ забезпечується суттєвою різнорідністю структури гілок 4 і 9. Гілка *р-типу* з дірковою провідністю утворюється введенням у сплав Vі-Се акцепторних домішок атомарного бору В. Гілка *п-типу* з електронною провідністю утворюється при легуванні Vі-Се донорними атомами фосфору Р. Через підвищену хімічну активність і малу механічну міцність напівпровідникових матеріалів з' єднання їх з шинами 3, 5 і 8 виконується прошарками зі сплаву кремній-бор. Для досягнення стабільної роботи батарея ТЕГ герметизована металевою касетою, заповненою аргоном.

Нині створено напівпровідники, що працюють при температурі більше 500° С. Однак для промислового ТЕГ є потреба в температурі гарячого спаю приблизно до 1100°С. При такому підвищенні температури напівпровідники різних типів виявляють тенденцію до перетворення на власне провідники, у яких кількість носіїв позитивних і від'ємних зарядів однакова. Ці заряди при утворенні градієнта температури переміщуються від гарячого спаю до холодного в рівній кількості і накопичення потенціалу не відбувається, тобто не утворюється термо-ЕРС. Таким чином, подібні напівпровідники не корисні для генерування термоелектричного струму.

На сьогодні широко ведуться дослідження щодо створення напівпровідників, які працюють при високих температурах. Для роботи ТЕГ можна використовувати теплоту, що її отримують у реакторах у процесі ділення ядер важких елементів. Однак у цьому випадку потрібно вирішити кілька завдань, що стосуються ефекту сильного радіаційного впливу на напівпровідникові матеріали, бо ядерне паливо може знаходитися в безпосередньому контакті з напівпровідниковими матеріалами.

Питання про доцільність використання тих чи інших джерел енергії вирішується на користь ТЕГ у тих випадках, коли головне значення має не ККД, а компактність, надійність, портативність, зручність.

На сьогодні можна визначити три напрями використання синтез-газу:

- теплоенергетика - пряме спалювання синтез-газу в опалювальних котлах загальною продуктивністю до 20 Гкал/год;

- електроенергетика - виробництво електроенергії дизельними міні- електростанціями (синтез-газ як паливо для дизель - і турбогенераторів);

- рідке паливо - використання синтез-газу для отримання рідких вуглеводнів паливного класу (дизпаливо, бензин тощо).

Природний радіоактивний розпад ядер супроводжується виділенням кінетичної енергії частинок і квантів. Ця енергія поглинається середовищем, що оточує радіоактивний ізотоп, і перетворюється на теплоту, яку можна використати для отримання електричної енергії термоелектричним способом.

Пристрої, що перетворюють енергію природного радіоактивного розпаду на електричну енергію за допомогою термоелементів називаються радіоізотопними термогенераторами. Радіоізотопні термогенератори надійні в роботі, мають великий термін служби, компактні та успішно використовуються як автономні джерела енергії для різних пристроїв космічного й наземного призначення.

Сучасні радіоізотопні генератори мають ККД 3-5 % і термін служби від 3 місяців до 10 років. Техніко-економічні характеристики цих генераторів у майбутньому можуть бути значно поліпшенні. Нині створюються проекти генераторів потужністю до 10 кВт.

Радіоізотопні генератори становлять інтерес для різних галузей науки й техніки, зокрема, їх збираються використовувати у вигляді джерела енергії штучного серця людини, а також для стимулювання роботи різних органів у живих організмах. Особливо зручними виявилися радіоізотопні термогенератори при освоєнні космічного простору, де необхідні джерела енергії, що здатні довго та надійно працювати за несприятливих умов впливу іонізуючих випромінювань, у радіаційних поясах, на поверхні інших планет та їх супутників.

**9.7 Термофотоелектричні генератори**

У термофотоелектричних генераторах відбувається перетворення теплового випромінювання в електричну енергію за допомогою елементів, які чутливі в ближній інфрачервоній частині спектра. Цей принцип відомий ужебільше 40 років, але його практична реалізація можлива лише тепер завдяки розробці високоефективних гетероструктурних фотоперетворювачів на основі матеріалів із малою шириною забороненої зони *Е =* 0,6 - 0,75 еВ і створенню ефективних випромінювачів з робочою температурою 1000-1500°С. Найбільш перспективними для цього є гетероструктури на основі антимоніду галію *Е =* 0,7 еВ, твердих розчинів галій-індій-сурма-миш'як *Е =* 0,5 - 0,6 еВ і галій-індій- миш'як *Е =* 0,75 еВ. Фотоелектричне перетворення на основі цих матеріалів забезпечує ефективність термофотоелектричного перетворення, яка перевищує 20 % при температурах випромінювання 1300 - 1500°С.

Максимальна розрахункова ефективність фотоелектричного перетворення становить близько 40 % для теплового випромінювання, яке поглинається в напівпровіднику при температурі 1300-1500°С. ККД системи в цілому буде нижчий внаслідок втрат інфрачервоного випромінювання, що не поглинається в напівпровіднику, втрат у процесі генерації теплового випромінювання та інших теплових втрат. Втрати можуть бути зведені до мінімуму в результаті перетворення випромінювання за допомогою селективно-випромінювальних емітерів і фільтрів, що відбивають довгохвильове випромінювання у випромінювач.

Подальше удосконалення фотоелектричних перетворювачів (каскадні гетероструктури, перетворювачі з тильним дзеркалом) і випромінювачів (багатошарові емітери, нові типи фільтрів) дозволить збільшити ефективність термофотоелектричного перетворення до 30 %. При цьому ККД системи в цілому може перевищити 20 %.

Як джерела теплоти в термофотоелектричних генераторах можуть бути використані природний газ, пропан, бензин, водень тощо. Термофотоелектричні генератори мають ряд переваг у порівнянні з іншими видами автономних джерел електричної енергії.

Порівняно з електромеханічними генераторами на основі двигунів внутрішнього згорання позитивним при використанні термофотоелектричних генераторів є:

- більший термін служби внаслідок відсутності швидко зношуваних рухомих

частин;

- зменшення забруднення довкілля внаслідок більш повного безперервного процесу спалювання палива;

- безшумність роботи.

Порівняно з сонячними батареями термофотоелектричні генератори мають такі переваги:

- можливість цілодобової роботи (при наявності палива), в той час як наземні сонячні батареї працюють тільки 40 % часу на добу;

- більше питоме енергознімання з поверхні фотоперетворювача в ТФЕГ

- більше 2 Вт/см , що еквівалентно 18 кВт-год/см на рік; це в 100-150 разів перевищує середнє питоме енергознімання з поверхні космічних сонячних батарей і в 300-400 разів більше питомого енергознімання наземних сонячних батарей.

У порівнянні з іншими типами електрогенераторів (термоелектричні, термоемісійні тощо) ТФЕГ мають більш високий ККД, який може становити більше 20 %.

**9.8 Термоемісійні генератори**

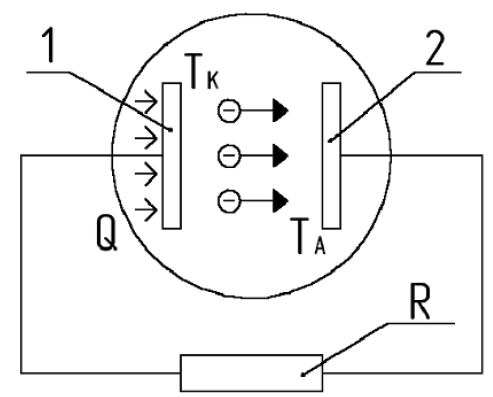
Явище термоелектронної емісії було відкрите Т. Едісоном 1883 р. Працюючи над створенням електричної лампи, Едісон розміщував у колбі дві нитки. Коли перегорала одна з них, він повертав лампу і вмикав іншу. Під час дослідів ламп виявилося, що певна кількість електрики переходить до холодної нитки, тобто електрони "випарюються" з гарячої нитки - катода - і рухаються до холодної нитки - анода - і далі в зовнішнє електричне коло. При цьому частина теплової енергії, що йде на нагрівання катода, переноситься електронами та віддається аноду, а частина енергії електронів виділяється в зовнішньому електричному колі під час протікання електричного струму.

У металі навіть при кімнатній температурі має місце значна кількість вільних електронів, що перебуваються у хаотичному тепловому русі.

Швидкості вільних електронів у будь-який фіксований момент часу різні і змінюються внаслідок взаємодії електронів між собою та з іонами кришталевої решітки металу. Всередині металу сили притягання електрона збалансовані позитивно зарядженими ядрами; безпосередньо для поверхні на електрони діють підсумкові сили притягання, для подолання яких і для виходу за межі металу електрон повинен мати достатню кінетичну енергію. При нагріванні металу швидкості електронів і їх кінетична енергія зростають, у результаті чого електрони отримують достатній запас кінетичної енергії, щоб подолати роботу виходу з металу.

При кімнатній температурі лише незначна кількість електронів металу має запас енергії, достатній для виходу з металу, тому в цих умовах емісія електронів практично є непомітною. Збільшити кількість електронів, що покидають метал, можна шляхом надання електронам додаткової енергії або зменшення роботи виходу з металу.

Додаткова енергія надається електронам шляхом нагрівання катода. Якщо нагріти катод (рис. 9.10) до температури Т = 1100 —2500 К, то з поверхні металу катода почнуть вилітати електрони в напрямі анода, в результаті чого анод розігрівається за рахунок теплоти, що переноситься електронами

****

1 - катод; 2 - анод; (Q – нагрівальний елемент; R – навантаження)

Рисунок 9.10 – Схема дії термоемісійного перетворювача енергії

Якби температури катода й анода *Тл* були однаковими, то теплота "випарювання" електронів із катода точно дорівнювала б теплоті "конденсації" електронів на аноді і не було б перетворення теплоти на електричну енергію.

Чим менша температура анода порівняно з температурою катода, тим більша частина теплової енергії перетворюється в електричну.

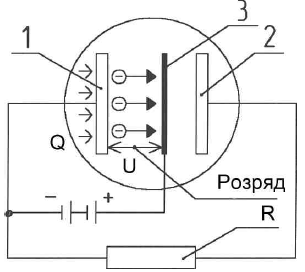
Найбільшу термоемісійну здатність має цезій, барій та ін., найменшу - вольфрам. Однак цезій легко випаровується, а вольфрам добре переносить розігрів до 2700 К. Тому для ламп використовуються активовані катоди, які мають вольфрамову основу, покриту тонким (атомарним) шаром торію, барію або іншого металу з малою роботою виходу. В результаті при торієвому покритті робота виходу зменшується в 1,7 разу, при барієвому - в 3,1 разу. У звичайній двоелектродній лампі потужність, що витрачається на нагрівання катода, приблизно дорівнює 10 Вт, а вихідна потужність, що знімається з анода, становить 1 мкВт. Таким чином, на нагрівання витрачається потужність у 10 разів більша. ККД перетворювача має мізерно малу величину - 10 %. Якби ККД був навіть у мільйон разів більший, то цей пристрій все одно неможливо було б застосовувати як перетворювач енергії для промислових цілей. Однак завдяки прогресу у розвитку термоемісійних перетворювачів значному вдалося довести ККД сучасних діодних перетворювачів енергії до 20%.

У базовому виконанні практично всі види термоемісійних генераторів складаються з двох плоских (або коаксіальних) електродів, розділених невеликим вакуумним проміжком (0,1-0,001 мм) із вимкненим в мережу опором навантаження.

Розрізняють вакуумні та газонаповнені термоемісійні генератори. У вакуумних термоемісійних генераторах з малою міжелектродною відстанню (до 0,01 мм) забезпечується такий рівень розрядження (тиск близько 10 -10 мм рт. ст.), при якому рух електронів відбувається практично без штовхання із залишеними молекулами газу, вакуум у даному разі не є теплопровідним середовищем.

Більш широке розповсюдження отримали газонаповнені термоемісійні генератори, в яких компенсація просторового заряду відбувається введенням позитивних іонів у міжелектродний простір, який генерується поверхневою або об'ємною іонізацією, для чого зазвичай використовується цезій.

При використанні додаткового третього електрода (рис. 9.11) відбувається допоміжний розряд на катод, на який витрачається 10-20 % всієї потужності генератора. До переваг генератора належить відносно низька температура катода, що не перевищує 1500 К; ККД установки - до 10 %.

****

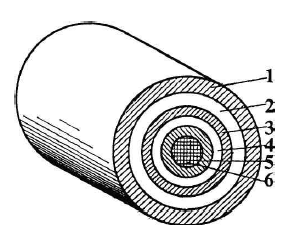
1 - катод; 2 - анод; 3 - допоміжний електрод (екран) (Q - нагрівальний елемент; U *-* напруга між катодом та екраном; R – навантаження)

Рисунок 9.11 – Газонаповнений триелектродний генератор з об'ємною іонізацією

Наступний тип газонаповненого термоемісійного генератора, що набув значного поширення, ґрунтується на використанні ефекту поверхневої іонізації нейтрального газу на катоді. При ударі таких атомів об поверхню гарячого металу вони віддають свої електрони, перетворюючись у позитивно заряджені іони. При цьому відбувається нейтралізація просторового заряду електронів, що знаходяться над поверхнею катода. Цезій, який заповняє між електродний простір і має низький потенціал іонізації (ср = 3;89В), нейтралізує об'ємний просторовий заряд електронів. Кількість іонів цезію та іонізованого газу при тиску 10 мм рт. ст є відносно невеликими. Вже достатньо, що електричне поле в міжелектродному просторі дорівнювало нулю. Чим вищий тиск парів цезію, тим більша емісія електронів із катода на анод. У цілому частково сконденсований на електродах цезій підвищує вихідну напругу елемента.

Ще одним розповсюдженим видом термоемісійних генераторів є генератор з об'ємною дуговою нейтралізацією. Під час роботи в ньому за визначених умов між електродами може виникнути довгочасна низьковольтна холодна дуга. Напругу такого елемента вдається підняти до 6 Вт (всі термоемісійні генератори є низьковольтними). 3 одиниці площі такого генератора можна отримати до 250 кВт потужності та підняти ККД установки до 17 % при температурах катода й анода відповідно 2000 К і 1000 К.

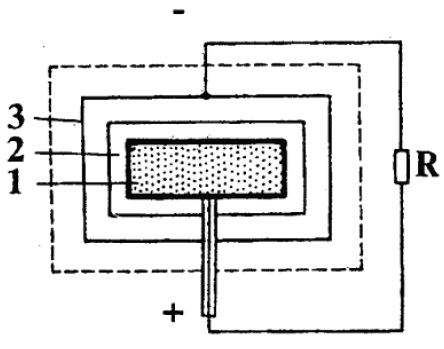
В енергетичних термоемісійних генераторах для нагрівання катода можна скористатися теплотою, що її отримують у результаті ядерної реакції. Схему ядерного термоемісійного перетворювача наведено на рисунку 9.12. ККД перших таких перетворювачів був на рівні 15 %, за прогнозами його можна довести до 40 %.

****

1 - захист; 2 - охолоджувач; 3 - анод; 4 - вакуум; 5 - катод; 6 - ядерне паливо

Рисунок 9.12 – Ядерний термоемісійний перетворювач

Випускання електронів у термоемісійних генераторах спричиняється нагріванням катода. В процесі радіоактивного розпаду електрони випускаються внаслідок природних властивостей елементів. Безпосередньо використовуючи цю властивість, можна здійснити пряме перетворення ядерної енергії в електричну (рис. 9.13).

****

1 - радіоактивний випромінювач; 2 - металева ампула; 3 - металева посудина

Рисунок 9.13 – Схема пристрою прямого перетворення ядерної енергії в

електричну

**9.9 Технологія виробництва електричної енергії електрохімічними джерелами**

Перше хімічне джерело струму було винайдено італійським вченим Алессандро Вольта в 1800 році. Це був «елемент Вольта» - посудину з солоною водою з опущеними в нього цинковим і мідними пластинками, сполученими дротом. Потім учений зібрав батарею з цих елементів, яка згодом була названа «вольтовим стовпом» рис. 9.14.

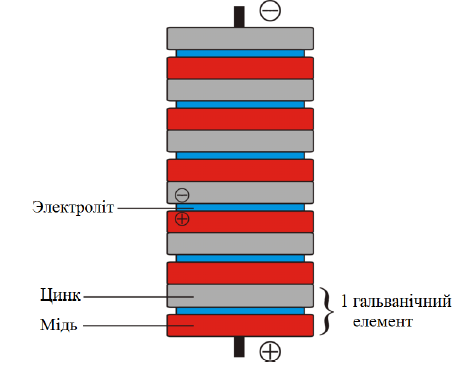


Рисунок 9.14 – Вольтів стовп

Цей винахід згодом використовували інші вчені у своїх дослідженнях. Так, наприклад, в 1802 році російський академік В. В. Петров сконструював вольтів стовп з 2100 елементів для отримання електричної дуги. У 1836 році англійський хімік Джон Даніель удосконалив елемент Вольта, помістивши цинковий і мідний електроди в розчин сірчаної кислоти. Ця конструкція стала називатися «елементом *Даніеля».*

У 1859 році французький фізик Гастон Планте винайшов свинцево- кислотний акумулятор, помістивши скручену в рулон тонку свинцеву пластину в сірчану кислоту. Цей тип елемента і донині використовується в автомобільних акумуляторах.

У 1865 році французький хімік Ж. Лекланше запропонував свій гальванічний елемент (елемент Лекланше), що складався з цинкового стаканчика, заповненого водним розчином хлористого амонію або іншої хлористої солі, в який був поміщений агломерат з оксиду марганцю (IV) MnO2 з вугільним струмовідводом. Модифікація цієї конструкції використовується до цих пір в сольових батарейках для різних побутових пристроїв.

У 1890 році в Нью-Йорку Конрад Губерт, іммігрант з Росії, створює перший кишеньковий електричний ліхтарик. А вже в 1896 році компанія National Carbon приступає до масового виробництва перших у світі сухих елементів Лекланше «Columbia». Самий довгоживучий гальванічний елемент - сірчано-цинкова батарея, що виготовлена в Лондоні в 1840 році. Підключений до неї дзвінок працює і донині в Кларендонської лабораторії Оксфорда.

**Принцип дії**

Основу хімічних джерел струму складають два електроди ( негативно заряджений анод , що містить відновник , і позитивно заряджений катод , що містить окиснювач ) , які контактують з електролітом. Між електродами встановлюється різниця потенціалів - електрорушійна сила , відповідна вільній енергії окислювальновідновної реакції . Дія хімічних джерел струму грунтується на протікання при замкнутої зовнішньої ланцюга просторово -розділених процесів: на негативному аноді відновник окислюється і утворені вільні електрони переходять із зовнішнього ланцюга до позитивного катода, створюючи розрядний струм , де вони беруть участь у реакції відновлення окиснювача . Таким чином , потік негативно заряджених електронів із зовнішнього ланцюга йде від анода до катода , тобто від негативного електрода (негативного полюса хімічного джерела струму) до позитивного . Це відповідає протіканню електричного струму в напрямку від позитивного полюса до негативного , так як напрям струму збігається з напрямком руху позитивних зарядів в провіднику.

У сучасних хімічних джерелах струму використовуються :

* в якості відновника (матеріал анода ) - свинець Pb , кадмій Cd , цинк Zn та інші метали ;
* в якості окислювача (матеріал катода ) - оксид свинцю (IV) PbO2 , гідроксооксід нікелю NiOOH , оксид марганцю (IV) MnO2 та інші;
* в якості електроліту - розчини лугів , кислот [1 ] або солей.

**Класифікація**

По можливості або неможливості повторного використання хімічні джерела струму діляться на :

* гальванічні елементи (первинні ХІТ) , які через незворотності, що протікають у них реакцій, неможливо перезарядити ;
* електричні акумулятори (вторинні ХІТ) – перезаряджаються гальванічному елементу , які за допомогою зовнішнього джерела струму (зарядного пристрою) можна перезарядити ;
* паливні елементи ( електрохімічні генератори ) - пристрої , подібні гальванічного елемента , але відмінне від нього тим , що речовини для електрохімічної реакції подаються в нього ззовні , а продукти реакцій видаляються з нього , що дозволяє йому функціонувати безперервно .

Слід зауважити , що поділ елементів на гальванічні та акумулятори до деякої міри умовне , так як деякі гальванічні елементи, наприклад, лужні батарейки , піддаються підзарядці , але ефективність цього процесу вкрай низька.

За типом використованого електроліту хімічні джерела струму діляться на кислотні (наприклад свинцево-кислотний акумулятор, свинцево-плавиковий елемент), лужні (наприклад ртутно-цинковий елемент, ртутно-кадмієвий елемент, нікель-цинковий акумулятор, нікель-кадмієвий акумулятор) і сольові (наприклад, марганцево-магнієвий елемент, цинк-хлорний акумулятор).

**Деякі види хімічних джерел струму**

Гальванічний елемент – це хімічне джерело електричного струму, названий на честь Луїджі Гальвані. Принцип дії гальванічного елемента заснований на взаємодії двох металів через електроліт , що приводить до виникнення в замкнутому колі електричного струму.

Дивись також Категорія: Гальванічні елементи

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Катод | Електроліт | Анод | Напруга, В |
| Марганцево-цинковий елемент | MnO2 | KOH | Zn | 1,56 |
| Марганцево-олов’яний елемент | MnO2 | KOH | Sn | 1,65 |
| Марганцево-магнієвий елемент | MnO2 | MgRr2 | Mg | 2,00 |
| Свинцево-цинковий елемент | PbO2 | H2SO4 | Zn | 2,55 |
| Свинцево-кадмієвий елемент | PbO2 | H2SO4 | Cd | 2,42 |
| Свинцево-хлоридний елемент | PbO2 | HClO4 | Pb | 1,92 |
| Ртутно-цинковий елемент | HgO2 | KOH | Zn | 1,36 |
| Ртутно-кадмієвий елемент | HgO2 | KOH | Cd | 1,92 |
| Окисно-ртутно-олов’яний елемент | HgO2 | KOH | Sn | 1,30 |
| Хром-цинковий елемент | K2Cr2O7 | H2SO4 | Zn | 1,8-1,9 |

Інші типи:

• Свинцево-плавиковий елемент.

• Мідно-окисний гальванічний елемент.

• Вісмутісто-магнієвий елемент.

• Ртутно-вісмутісто-індієвий елемент.

• Літій-хромсеребряний елемент.

• Літій-вісмутатний елемент.

• Літій-окісномедний елемент.

• Літій-йодсвинцовий елемент.

• Літій-йодний елемент.

• Літій-тіонілхлоридний елемент.

• Літій-оксидванадіевий елемент.

• Літій-фторомідний елемент.

• Літій-двуокисносірковий елемент.

• Діоксісульфатно-ртутний елемент.

• Сірчано-магнієвий елемент.

• Хлористосвинцово-магнієвий елемент.

• Хлорсеребряно-магнієвий елемент.

• Хлористомідно-магнієвий елемент.

• Йодатно-цинковий елемент.

• Магній-перхлоратний елемент.

• Магній-м-ДНБ елемент.

• Цинк-хлорсрібляний елемент.

• Хлор-срібний елемент.

• Бром-срібний елемент.

• Йод-срібний елемент.

• Магній-ванадієвий елемент.

• Кальцій-хроматних елемент.