### НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Автоматизації управління електротехнічними комплексами

«На правах рукопису» УДК 621.472 .

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

*В.П.Розен* .

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2020 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності *141 «Електроенергетика, електротехніка та*



*електромеханіка»* .

спеціалізація *«Автоматизації управління електротехнічними комплексами»*

на тему: «Підвищення рівня енергоефективності функціонування відновлюваних генеруючих установок станції водопосточання»

.

Виконав: студент VI курсу, групи ОА – 91мн .

(шифр групи)

Чоудхурі Антон

Мохаммед .

(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник проф., д.т.н. Розен В.П.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Нормоконтроль

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

Київ – 2020 року

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Розен В.П

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 20 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію**

студенту Чоудхурі Антон Мохаммед

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. **Тема дисертації** «Підвищення рівня енергоефективності функціонування відновлюваних генеруючих установок станції водопосточання»

затверджена наказом по університету від “ ” 20 р. №

1. **Термін здачі** студентом оформленої дисертації “ ” 20 р.
2. **Об’єкт дослідження**
3. **Предмет дослідження**
4. **Перелік питань, які мають бути розроблені**
5. **Перелік публікацій**
6. **Перелік ілюстративного матеріалу**
7. **Дата видачі завдання “ ” 20 р.**

**Науковий керівник**

(підпис) (ініціали, прізвище)

**Завдання прийняв до виконання**

(підпис) (ініціали, прізвище)

### АННОТАЦІЯ

Магістерська дисертація на тему «Підвищення рівня енергоефективності функціонування відновлюваних генеруючих установок станції водопосточання »

Пояснювальна записка: 137 стор., рисунків - 27, таблиць - 8.

Актуальність теми: розвиток енергетики з ВДЕ, декарбонізація, дешеві джерела енергії, збереження навколишнього середовища, застосування АСУ для ефективної роботи промислових і побутових об'єктів.

**У першій частині** дисертації було розглянуто напрямки розвитку станцій з ВДЕ. Була зроблена оцінка енергетичного потенціалу вказаного регіону.

Об'єктом дослідження в роботі виступає насосна станція, розташована в плблизу м. Керч . Основна мета роботи, досягти максимально ефективного використання енергії сонячних станцій. Ефективність досягається на багатьох етапах переробки сонячної енергії, це використання сонячних модулів з високим ККД, використання двоосьових трекерів з АСУ стеженням за сонцем, накопичення енергії на той час коли вона буде в дефіциті (ніч) в акумуляторних батареях. Включення в схему живлення гібридних інверторів забезпечує безперебійне і якість вихідної напруги .

І заощадливе використання енергії - використання АСУ для економії енергії при використанні силового обладнання ( асинхронні двигуни). Крім того можна розробити графік роботи станції на максимум в часи максимуму генерації.(В проекті цей напрямок не розглядали), або встановлення додаткової потужності для розвантаження мереж.

**У другій частині** дипломної дисертації був проведений огляд гібридних установок і суперконденсатора. Оптимізована РДЕ.

**У третій частині проекту** був Розглянуто каталог насосних станцій.

**У четвертій частині проекту** було проведено дослідження системи автоматичного управління накопичувачів енергії в складі автономної енергосистеми

**У п'ятій частині проекту** Розглянуто старт ап

**Об'єктом дослідження**: режими роботи гібридне станції електропостачання (вихідні дані - для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): є методи і засоби підвищення енергетичних показників гібридне станції електропостачання насосної станції меліорації.

**Предмет дослідження:** є метод і засоби досягнення високих енергетичних показників гібридне станції і насосної станції.

**Методи дослідження:** методи і засоби підвищення енергетичних показників гібридне станції електропостачанняПрактичне значення отриманих результатів: результати роботи можуть бути використані при проектуванні  станцій з ВДЕ

**Аннотация**

Магистерская диссертация на тему « Повышение уровня энергоэффективности Функционирование возобновляемых генерирующих установок станции водопосточання »

Пояснительная записка: 85 стр., Рисунки - 27, таблиц - 8.

Актуальность темы: развитие энергетики из ВИЭ, декарбонизация, дешевые источники энергии, сохранение окружающей среды. Применение АСУ для эффективны работы промышленных и бытовых объектов.

В первой части диссертации были рассмотрены направления развития станций с ВИЭ. Была произведена оценка энергетического потенциала указанного региона.

Объектом исследования в работе выступает насосная станция, расположенная в поблизу м. Керчь. Основная цель работы, достичь максимально эффективного использования энергии солнечных станций. Эффективность достигается на многих этапах переработки солнечной энергии, это использование солнечных модулей с высоким КПД, использование дво осьових трекеров с АСУ слежкой за солнцем, накопления энергии в то время когда она будет в дефиците (ночь) в аккумуляторных батареях. Включение в схему питания гибридных инверторов обеспечивает бесперебойное и качество выходного напряжения. И экономное использование энергии - использование АСУ для экономии энергии при использовании силового оборудования (асинхронные двигатели). Кроме того можно разработать график работы станции на максимум во времена максимума генерации. (В проекте это направление не рассматривали), или установки дополнительной мощности для разгрузки сетей.

**Во второй части дипломной диссертации** был произведен осмотр гибридных установок и суперконденсатора . Оптимизирована РДЕ.

**В третьей части проекта** был рассмотрен каталог насосних станций.

**В четвертой части проекта** было проведено исследование системы автоматического управление накопителей энергии в составе автономной энергосистеме

**В пятой части проекта** рассмотрен старт ап

**Объектом исследования:** режимы работы гибридной станции электроснабжения (выходные данные - для магистерской диссертации по

образовательно-профессиональной программе): есть методы и средства повышения энергетических показателей гибридной станции электроснабжения насосной станции мелиорации.

**Предмет исследования:** является метод и средства достижения высоких энергетических показателей гибридной станции и насосной станции.

**Методы исследования:** методы и средства повышения энергетических показателей гибридной станции электроснабжения

**Практическое значение полученных результатов:** результаты работи могут быть использованы при проектировании станций с ВИЭ.

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТОЧАННЯ

**Abstract**

Master's thesis on "Improving the energy efficiency of a hybrid power plant"

Explanatory note: 155 pages, Figures - 53, tables - 27.

Relevance of the topic: development of energy from renewable sources, decarbonization, cheap energy sources, preservation of the environment. Application of ACS for efficient operation of industrial and domestic facilities.

In the first part of the dissertation the directions of development of stations with RES were considered. An assessment of the energy potential of the region was made.

The object of study is a pumping station located near Kerch. The main goal of the work is to achieve the most effective energy use of solar stations. Efficiency is achieved at many stages of solar energy processing, it is the use of high-efficiency solar modules, the use of two-axis trackers with ACS tracking the sun, the accumulation of energy while it is in short supply (night) in rechargeable batteries. The inclusion of hybrid inverters in the power supply circuit ensures uninterrupted output quality. And economical use of energy - the use of ACS to save energy when using power equipment (asynchronous motors). In addition it is possible to develop the schedule of work of station on a maximum during times of a maximum of generation. (This direction was not considered in the project), or installation of additional capacity for unloading of networks.

In the second part of the diploma dissertation the calculation of force was made pumping station equipment. The automatic control system for the induction motor is calculated, modeling of work of the induction motor on application of PWM is made management.

In the third part of the project the calculation of hybrid elements is made wind solar station with rechargeable batteries.

The startup is developed in the fourth section. The startup is developed in the fourth section.

The purpose of the master's dissertation: to increase the energy performance of the hybrid pumping station power supply station.

The task of the master's work: to determine ways to increase the energy performance of the hybrid station.

The object of study: there are modes of operation of the hybrid station Subject of research: is a method and means of achieving high energy performance of a hybrid station and a pumping station.

Research methods: the analysis of the influence on the quality of operation of the power supply station was carried out in the work. Practical significance of the obtained results: the results of the work can be used in the design of stations with RES.

Зміст:

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів ВСТУП

1. ГІБРИДНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ З, ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.
   1. Види відновлювальної енергії
   2. Напрямки розвитку ВДЕ
   3. Витрати на генерацію ВДЕ
   4. Енергетичний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети ………….
   5. Гібридизація ВДЕ
   6. Система накопичення
   7. ВИДИ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ. …………………………………………….

Висновки

1. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА
   1. Схема гібридной електростанції ……………………………………………
   2. Суперконденсатор.
   3. Оптимізація функціонування РДЕ 59
2. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТОЧАННЯ 60

Висновки

1. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ НАКОПУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ В СКЛАДІ АВТОНОМНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

4.1 Система керування НЕ ………………………………………………………

4.2 Моделювання НЕ Висновки

1. СТАРТАП-ПРОЕКТ
   1. Зміст ідеї для стартап проекту
   2. Системний інжиніринг та проектування
   3. Генеруючі потужності України
   4. Інвестиційна привабливість проекту Висновки

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

### Скорочення

DEWI – German Wind Energy Institute GWEC – Global Wind Energy Council

ICAO – International Civil Aviation Organization NACA – National Advisory Committee for Aeronautics WWEА – World Wind Energy Association АГ – асинхронний генератор

АД – асинхронний двигун АЕС – атомна електростанція

АІН – автономний інвертор напруги АМ – асинхронна машина

БК – батарея конденсаторна

АБ-акумуляторні батареї

ВГУ – вітрогенераторна установка ВЕС – вітроелектростанція

ВЕУ – вітроелектрична установка ДЕС – дизельна електростанція ЕРС – електрорушійна сила

ККД – коефіцієнт корисної дії ЛЕП – лінія електропередачі МРС – магнітно рухома сила РЛС – радіолокаційна станція СГ – синхронний генератор

СГПМ – синхронний двигун з постійними магнітами СЕП – система електропостачання

СК – синхронний компенсатор т.у.п. – тона умовного палива ТЕС – теплова електростанція

ЦАГІ – центральний аерогідродинамічний інститут СА-станція акумулювання

НЕ – накопичувачі енергії

### ВСТУП

**Актуальність**

Процес декарбонізації електроенергетики йде швидкими темпами, зазначає. Дві третини електроенергії, виробленої в Європі в першій половині поточного року, не містять викидів вуглецю. Частка поновлювані джерела енергії становить 40% від загального обсягу виробництва, в той час як вироблення електроенергії на основі викопного палива впала на 18%.

Вироблення вугільних електростанцій випереджає траєкторію європейської довгострокової стратегії. До 2030 року кількість країн ЄС, в яких не буде вугільної генерації, досягне 21. І ця тенденція буде продовжуватися. Незалежно від того, чи зіткнеться європейська економіка з затяжною економічною кризою або з швидким відновленням, до 2030 року до 80% електроенергії ЄС може бути проведено без використання викопного палива.

При цьому на основі ВДЕ (включаючи ГЕС) буде вироблятися 60% електрики. Відзначається, що Євросоюз повинен вжити заходів, щоб уникнути недобросовісної конкуренції та імпорту електроенергії на вугільній основі з третіх країн. Через слабких норм в області енергетики і клімату, середня інтенсивність викидів CO2 в імпортованої електроенергії в два-три рази вище, ніж у електроенергії, виробленої в Європі.

Для формування по-справжньому стійкої енергетики роль фотовольтики та вітроенергетики в електропостачанні повинна стрімко зростати. Отже, основним завданням залишається впровадження цих технологій таким чином, щоб мінімізувати будь-які додаткові витрати на їх інтеграцію. Рано чи пізно буде потрібно змінити політику і перейти від ізольованого підходу, спрямованого на підтримку окремих технологій, до встановлення довгострокових цілей для мінімізації загальносистемних витрат.

Технічні перешкоди до розширення інтеграції в енергосистему різних поновлюваних джерел енергії, таких як енергія сонця і вітру, відсутні. При низькому рівні поширеності вартість підключення до мереж буде негативною або скромною, проте у міру поширення цих технологій вона може збільшитися. Але і при цьому з урахуванням екологічних наслідків використання викопних видів палива на місцевому та світовому рівні вартість підключення до мереж представляється значно меншим злом, навіть якщо на різні відновлювані джерела припадатиме 40 відсотків загального обсягу енергопостачання.

Процес деградації земель, що призводить до зниження ґрунтової родючості, триває в нашій країні. Це пов'язано з посиленням антропогенного навантаження і формуванням техногенного кругообігу речовин. У нас процеси деградації крім іншого поглиблюються несприятливої соціально-економічної обстановки в сільському господарстві (за рахунок різкого скорочення обсягу інвестицій і трудових ресурсів). У нашій країні практично весь грунтовий покрив антропогенно змінений і схильний до різних видів деградації, серед яких переважають процеси водної та вітрової ерозії, для вирішення цих проблем потребується розвиток систем меліорації.

### Мета і завдання дослідження

Метою роботи є дослідження можливості використання відновлюваних джерел електроенергії разом з гібридним систем накопичення енергії.

Відповідно до поставленої мети мають бути вирішені такі завдання:

* аналіз існуючих відновлюваних джерел енергії(СЕС та ВЕС) , а також систем накопичення(літій-іоний акумулятор та суперконденсатор);
* моделювання процесу системи накопичення;

**Об’єкт дослідження:** є режими роботи гібридної станції електропостачання (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): є методи та засоби підвищення енергетичних показників гібридної станції електропостачання станції меліорації.

**Предмет дослідження:** є методи та засоби підвищення енергетичних показників гібридної станції електропостачання**.**

### Методи дослідження

Комп’ютерне моделювання.

### Наукова новизна одержаних результатів:

* проведено дослідження СН в складі автономної енергосистеми;
* проведено комп’ютерне моделювання роботи СН;

### Практичне значення одержаних результатів

Робота має практичне значення при проектуванні ГДЕ з СН. Результати, які отримані у даній роботі, допоможуть визначити техніко-економічну доцільність впровадження ГДЕ з СН.

### Особистий внесок магістра

Магістерська робота є результатом дослідження акумуляторних установок.

### Структура і обсяг дипломної роботи

Дана магістерська дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку використаних літературних джерел та п’яти додатків. Повний обсяг роботи складає 102 сторінок, включає у себе 42 рисунків, 6 таблиць, 3 формул, 33 джерел в переліку посилань та 1 презентацію.

### РОЗДІЛ 1. ГІБРИДНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ З, ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.

* 1. **Види відновлювальної енергії.**

Відновлювана енергія – це енергія, вироблена за допомогою ресурсу, який швидко заповнює (відновлюється) у результаті природного або природного процесу, що не припиняється.

З економічної точки зору відновлювані джерела енергії (ВДЕ) можна розглядати як ефективний засіб стимулювання інноваційної й ділової активності в національних економіках, створення додаткових робочих місць, формування нових значних джерел надходжень від імпорту обладнання.Експерти ООН запропонували наступну класифікацію ВДЕ:

* + - сонячна й вітрова енергія;
    - енергія від використання торфу, біомаси, включаючи відходи сільського, лісового, промислового й комунального сектору;
    - енергія падаючої води, включаючи ГЕС, потужністю меншою за 1 Мвт;
    - геотермальна енергія;
    - хвильова енергія, включаючи енергію течій, припливів і відливів, а також енергія температурних перепадів океану;
    - енергія залишкового тепла землі (низько- потенціальна енергія).

### Напрямки розвитку ВДЕ.

Одним із ключових векторів сталого розвитку високотехнологічних країн став вибір екологічно чистої енергетики майбутнього, який включає :

* застосування інноваційних принципів вироблення відновлюваної енергії, що сприяє її ефективному використанню, дасть додатковий імпульс охороні навколишнього середовища, забезпечує надійне енергопостачання й підвищення конкурентоспроможності економіки;
* енергозбереження на благо екологічно чистого майбутнього, враховуючи, що викопне паливо довгий час буде затребуване світовою енергетикою, дасть  пріоритет тим інноваційним технологіям, які будуть спрямовані на зниження  його шкідливого впливу на навколишнє середовище;
* стимулювання науково-дослідних розробок, спрямованих на впровадження екологічно чистої енергетики;
* створення джерел фінансування ВДЕ шляхом удосконалення   ринкових інструментів, включаючи податкові;
* пом'якшення наслідків кліматичних змін, шляхом вироблення необхідних  заходів для розвитку ринків технологій «чистої» енергетики, підвищення їх доступності для країн, що розвиваються.

За прогнозом Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), до 2025 року споживання електроенергії у світі досягне 26 трлн. кВт/год, при цьому встановлена потужність електростанцій сягатиме 5500 ГВт, до 2035 року – 32 трлн. кВт/год, установлена потужність електростанцій досягне 5900 ГВт. Значну роль (близько 44%) у досягненні заявлених параметрів лідери  провідних держав відводять ВДЕ, оскільки традиційні способи вироблення електрики, мають обмежений первинний ресурс, завдають певної шкоди навколишньому середовищу .

У 2014 році за даними щорічного інвестиційного дослідження UNEP глобальні інвестиції у ВДЕ досягли 290 млрд. євро, а в 2015 році цей показник перевищив 329 млрд. доларів США .

### Витрати на генерацію ВДЕ

Наявність технологічних інновацій призвело до впровадження поліпшених виробничо-споживчих продуктів ВДЕ з меншими витратами ресурсів. В умовах  достатнього вітрового і сонячного потенціалу й не завжди передбачуваних цін  на нафту, а також дорогої інфраструктури для їхнього застосування, ВДЕ починають успішно конкурувати із традиційною енергетикою.

За останнє п’ятиріччя розвитку інноваційних технологій в секторі ВДЕ практично вдвічі зменшилась вартість генерації (табл.1.1).

Таблиця 1.1 Порівняння середніх витрат на генерацію для різних видів ВДЕ в країнах ЄС в 2010 р., дол США/ у тоннах нафтового еквівалента (т.н.е) [1]

|  |  |
| --- | --- |
| **Джерело енергії** | **Витрати** |
| Природний газ | 625 – 950 |
| Віддалений дизель генератор | 3000 - 5000 |
| Вітер | 600 - 1500 |
| Біомаса | 1000 - 1500 |
| Фотоелектричний без підключення  до мережі | 2000 - 4500 |
| Фотоелектричний з підключенням до  мережі | 4000 - 6500 |

### Енергетичний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети

Таблиця 1.2. Енергетичний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ТеоретичноМож  ливий | Технічно-  Досяжний | Доцільно-  Економічний |
| Променева енергія  Сонця | 86000 | 5 | 1 |
| Теплова енергія морів  і океанів | 7500 | 1 | 0,1 |
| Енергія вітру | 860 | 5 | 1 |
| Гідроенергія, зокрема: | 6,065 | 0,04 | 0,01 |
| *Енергія водотоків* | 3 | 2,91 | 1,5 |
| *Енергія хвиль* | 3 | 0,05 | 0,01 |
| *Енергія припливів* | 0,065 | 0,04 | 0,01 |
| Енергія біомаси,  зокрема: | 40 | 2,55 | 2,0 |
| *лісів* | 15 | 1,5 | 1,5 |
| *рослин* | 10 | 1,0 | 0,5 |
| *водоростей* | 15 | 0,05 | 0 |
| Геотермальна енергія | 16 | 0,4 | 0,2 |
| Всього | 94422,065 16, | 16,95 | 5,82 |

### Гібридизація ВДЕ.

Також в статті [1] . нагадується що автономні системи відновлюваних джерел енергії не є надійними через не постійну доступність та зміни кліматичних умов. Ці незалежні системи не можуть забезпечити безперервне джерело енергії оскільки вони сезонні по своїй природі, фотоелектрична енергетична система не може забезпечити надійною потужністю в несонячні дні, автономна вітрова

система не може задовольнити вимогам постійного навантаження внаслідок значних флуктуацій величини швидкостей вітру від години до години протягом року.

Очевидно, що комбінація двох або більше відновлюваних джерел енергії більш ефективна, ніж система з одним джерелом з погляду ціни, ефективності й надійності. Така система називається гібридною відновлюваною енергетичною системою (ГВЕС) і стає елементом ринку, що найбільш швидко розвивається в усьому світі.

Гібридизація призводить до збільшення надійності системи ВДЕ, однак передбачає оптимальний вибір джерел енергії та технологій їх відбору, що буде визначати методологію проектування таких систем для покращення експлуатаційних характеристик, розв’язання задач диспетчеризації й керування. Різні джерела генерації можуть сприяти один одному у досягненні більш високої енергетичної ефективності і/або поліпшувати функціонування.

### Система накопичення

Накопичувальний елемент це складова частина гібридної ВЕ й AЕ системи генерації енергії. Технології зберігання енергії з високою ємністю, такі як насосна гідроелектростанція, зберігання енергії стисненого повітря й зберігання водню загалом не мають швидкого часу відгуку й використовуються для довгочасного зберігання енергії/ керування повільною варіацією навантаження. З іншого боку, для реагування на короткі тимчасові перешкоди, такі як швидкі перехідні процеси при навантаженні й для прискорення навантаження, використовуються пристрої зберігання з високою швидкістю, такі як батареї, маховики, суперконденсатори й надпровідне магнітне сховище енергії (НМСЕ). Короткий огляд різних технологій генерації енергії ВЕ / AЕ й різних схем

зберігання енергії, які можуть використовуватися в гібридних системах наведено у табл. 2. [1]

Таблиця 1.3 Короткий огляд різних технологій генерації енергії ВЕ / AЕ й різних схем зберігання енергії

|  |  |
| --- | --- |
| **Основні технології ВУ/АУ** | **Варіанти накопичення енергії** |
| Біомаса | Акумулятори |
| Геотермальна | Стинення повітря |
| Гідро/Мікрогідро | Махове колесо |
| Океанські припливи/Хвилі | Гідравлічні насоси/Гідро  акумулятори |
| Сонячні фотопанелі | Водень |
| Вітер | НМСЕ |
| Паливний елемент | Суперконденсатор |

Час розряду.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Секунди-хвилини | Хвилини- години | Декілька-годин |
| Якість  електроенергії | Управління енергією | Управління енергією |
| Суперконденсатори | Літій-іонні батареї  (Li-ion) | ГАЕС |
| Маховики | Свинцеві і свинцево-кислот ні (Lead-acid) | Накопичувачі стисненого повітря |
| Надпровідні магнітні накопичувачі енергії(SMES) | Нікель- кадмієві акумулятори (Ni-Cad) | Проточні батареї |
|  |  | Водородні накопичувачі |

Таблиця 1.4

* 1. ВИДИ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ.

Енергія може бути різною, зокрема тепловою, механічною, електричною, хімічною, внутрішньоядерною, а також потенційною енергією різних фізичних полів (гравітаційного, магнітного, електричного). Накопичення енергії також має різні види. [2]

Гідроакумулювання (водосховища гідроелектростанцій, насосні гідроакумулюючі електростанції);

Теплові акумулятори (нагріта або охолоджена вода, розплавлена сіль, нагріте або охолоджене каміння);

Механічні акумулятори ( зберігання енергії за рахунок стисненого повітря, маховики, гравітаційні накопичувачі енергії);

Хімічні акумулятори (під час розряду акумулятора енергія хімічних реакцій перетворюється на електричну енергію; при зарядці, навпаки, електрична енергія перетворюється на хімічну) [2];

* + 1. Гідроакумулювання. Цей метод був описаний не раз, і він є найбільш популярним. Полягає цей спосіб в накопиченні води в спеціальних резервуарах. Коли потрібна електроенергія, то вода з верхнього резервуара випускається і обертає турбіну. Коли ж енергії досить, то її надлишок використовують з метою закачування води назад в верхній резервуар.
    2. Теплові акумулятори. [3]

Збереження енергії за допомогою термальних сховищ. Такий спосіб застосовується з метою охолодження будинків без застосування кондиціонуючого обладнання. У нічний час вода в спеціальних цистернах переходить з стан льоду, а в денну спеку відтає і несе прохолоду в житлове

приміщення. Такий підхід дозволяє значно знизити витрату електроенергії в регіонах з жарким кліматом.

* + 1. Накопичення теплової енергії. Використання розплавленої солі. Сіль, що знаходиться в розплавленому стані, здатна зберігати теплову енергію досить тривалий час. Її застосовують в роботі сонячних теплових установок. Геліостати акумулюють теплову енергію і тим самим підвищують температуру спеціальної рідини, що знаходиться всередині конструкції. Дана рідина і є сіль в розплавленому вигляді. Далі ця рідина збирається в резервуар. Наступним етапом в процесі є застосування парогенератора і розплавленої солі для запуску турбіни, яка і генерує електроенергію. Незаперечна перевага технології – це можливість солі працювати при підвищеній температурі (вище 500 ° С). Така характеристика матеріалу дозволяє підвищити продуктивність самої турбіни.
    2. Механічні акумулятори.

Накопичення енергії за допомогою використання стисненого повітря. Метод полягає в стисненні повітря за допомогою його охолодження. При нестачі енергії стиснене повітря випускають в спеціальний відсік, де воно і обертає турбіну.

* + 1. Гравітаційні накопичувачі енергії – пристрої, які генерують електрику, випускаючи у разі потреби важкий вантаж із певної висоти.
    2. Застосування маховика. Суть роботи полягає в накопиченні енергії за допомогою інерції. У електроенергію перетворюється кінетична енергія, накопичена в маховику. Перетворення одного виду енергії в іншу відбувається за

допомогою динамо-машини. Якщо необхідно отримати електрику, то конструкція уповільнює маховик. [3]

1.7.7. Супермахови́к — один із типів маховика, призначений для накопичення механічної енергії. В порівнянні зі звичайним маховиками, здатен зберігати велику кількість кінетичної енергії.

Сучасний супермаховик є барабан, виготовлений з композитних матеріалів, наприклад, намотаний з тонких витків сталевої, пластичної стрічки, скловолокна або вуглецевих композиційних матеріалів. За рахунок цього забезпечується висока міцність на розрив і безпеку експлуатації. [4] Закінчений вигляд супермаховик приймає тоді, коли він здатний запасати і віддавати енергію. Для цього створюється мотор-генератор, де статором є барабан, а ротором - вісь, навколо якої він обертається. Таким чином, при підключенні до мережі він буде запасати енергію, а при підключенні навантаження - віддавати. ККД цього перетворення досягає 98%.

1.7.8 Хімічні акумулятори

Акумулятор, як і будь-яке хімічне джерело струму, складається з позитивного і негативного електродів та електроліту, в який вони занурені. Різниця потенціалів, що виникають на межі стикання електродів з електролітом, утворює ЕРС акумулятора (або напругу акумулятора при розімкнутому колі). Під час розряду акумулятора енергія хімічних реакцій перетворюється на електричну енергію; при зарядці, навпаки, електрична енергія перетворюється на хімічну.

Акумуляторна батарея може бути виконана із декількох електрохімічних комірок, об'єднаних в один електричний ланцюг. Ці комірки сполучені електрично і конструктивно для отримання необхідних значень струму і

напруги. Використовується, зокрема, як джерело енергії для живлення тягових електродвигунів акумуляторних електровозів. Основні параметри, які характеризують такий акумулятор, — електрорушійна сила, напруга, внутрішній опір, струм та ємність.

В акумуляторах глибокого заряду-розряду, автомобільних акумуляторах (забезпечують постійну подачу струму протягом тривалого періоду часу) енергію виробляють елементи — група свинцевих пластин покритих окисом свинцю і кислотою. Свинцеві решітки покриті окисом свинцю і кислотою називають пластинами. Поперемінно чергуючи позитивні і негативні пластини складені стопками і вставлені у футляри називають елементами. [4]

Лужні залізонікелеві акумулятори (що застосовуються частіше) у порівнянні з кислотними свинцевими мають ряд переваг: можуть зберігатися в розрядженому або напів розрядженому стані, не виходять з ладу в результаті коротких замикань, мають більший строк служби. Переваги кислотних А.б.: вищий ККД, вища розрядна напруга, менший внутрішній опір. На шахтах в А.б. використовують кислотні (свинцеві) і лужні (залізонікелеві) акумулятори Розрізняють кислотні (свинцеві) і лужні акумулятори.

Кислотні акумулятори мають високу номінальну напругу (2 В), малий внутрішній електричний опір та відносно високий коефіцієнт корисної дії (до 0.85). Проте невеликий термін служби, недостатня міцність та незадовільна робота при низьких і високих температурах обмежують їх застосування. [5]

Лужні акумулятори мають ряд переваг перед кислотними: вони міцніші, не бояться перевантажень, добре працюють в широкому інтервалі температур,

невибагливі до виробничих умов. Основні їх недоліки: низький ККД (до 60 %) і напруга (1,2; 1,25; 1,33 В).

За складом електродів (активної маси) лужні акумулятори поділяють на: Кадмій-нікелеві; Залізо-нікелеві; Цинк-нікелеві; Срібло-цинкові.

За способом утримання електродів акумулятори поділяють на:

Ламельні (у них активна маса поміщена у ламелі. У залізо-нікелевих акумуляторах ламелями є плоскі сталеві коробочки з перфорованими стінками); Безламельні.

Безламельні акумулятори мають підвищену ємність і менші розміри. Останнім часом почали застосовувати стартерні залізо-нікелеві акумулятори, які працюють при низьких температурах краще, ніж кислотні. Для одержання великих імпульсних струмів при низьких і високих температурах та значних змінах атмосферного тиску застосовують срібло-цинкові акумулятори.

Кадмій-нікелеві акумулятори можуть бути дуже малих розмірів — 1—3 см² (т. з. ґудзики), їх застосовують у слухових апаратах для глухих та в напівпровідникових радіо приладах. Лужні акумулятори виробляють сухими. [5] Сучасні літій-іонні акумулятори мають високі показники: 100—180 Вт\*год/кг і 250—400 Вт\*год/дм3, робоча напруга — 3,5-3,7 В.

Перший літій-іонний акумулятор вивела на ринок корпорація Sony в 1991 році. [6]

Якщо ще кілька років тому розробники вважали досяжною ємність літій-іонних акумуляторів не більше кількох ампер-годин, то нині більшість причин, що обмежують збільшення ємності, подолано і багато виробників почали випускати акумулятори ємністю в сотні ампер-годин.

Сучасні малогабаритні акумулятори працездатні при струмах розряду до 2С, потужні — до 10-20С. Діапазон робочих температур: від −20 до +60°С . Але

багато виробників вже розробили акумулятори, працездатні при −40 °С. Можливе розширення температурного діапазону і в бік вищих температур. [6]

В основному Li-ion акумулятори краще всього функціонують при кімнатній температурі. Робота при підвищеній температурі скорочує термін дії їх використання. Підвищена температура тимчасово протидіє внутрішньому опору акумулятора, збільшення якого призводить до його зносу.

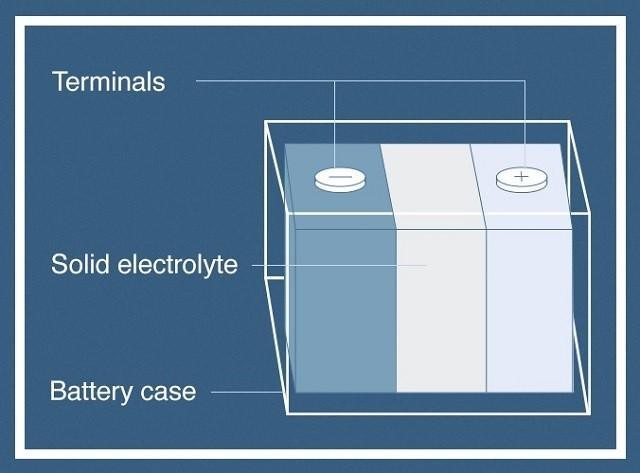
До недоліків Li-ion акумуляторів варто віднести чутливість до перезарядження і сильного розряду, через це вони повинні мати обмежувачі заряду й розряду. [4]

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА СВІТОВІ ЛІДЕРИ

2. Системи акумулювання енергії: промислові та побутові Основні технології ESS (energy-storage-system) [7]

Системи зберігання енергії надають широкий спектр технологічних підходів до управління нашим енергопостачанням. Розглянемо лише основні категорії.

Твердотільні акумулятори – ряд електрохімічних накопичувачів, у тому числі сучасні хімічні акумулятори та конденсатори (Мал. 1).



Мал.1. Твердотільні акумулятори. Джерело: онлайн-видання Energy storage networks, An overview of 6 energy storage methods,

2. Проточні акумулятори – акумулятори, в яких енергія накопичується безпосередньо в розчині електроліту для збільшення терміну служби і миттєвого спрацювання (рис. 2). [7]

Цинк-бромний акумулятор є типом гібридної проточної батареї. Розчин броміду цинку зберігають у двох ємностях. Коли акумулятор заряджається або розряджається, розчини (електроліти) перекачуються через реакторний стік і назад в резервуари. Один резервуар використовується для зберігання електроліту для позитивних реакцій електрода, а другий для негативних.

Цинк-бромові батареї різних виробників мають щільність енергії від 34,4 до 54 Вт · год / кг.

Переважно водний електроліт складається з солі броміду цинку, розчиненої у воді. Під час заряду металевий цинк виливають з розчину електроліту на негативні поверхні електродів у клітинках клітини. Бромід перетворюється на бром на поверхні позитивного електрода і зберігається в безпечній хімічно складної органічній фазі в ємності з електролітом. Кожна клітинка з поліетилену високої щільності (HDPE) має до 60 біполярних пластикових електродів між парою блоків анода та катода.

Цинк-бромова батарея може розглядатися як машина для гальваніки . Під час зарядки цинк гальмується на струмопровідні електроди, в той же час утворюється бром. При розряді відбувається зворотний процес: металевий цинк, нанесений на негативні електроди, розчиняється в електроліті і може бути знову нанесений на наступний цикл заряду . Його можна залишити повністю розрядженим на невизначений термін без пошкоджень.

Основними ознаками цинково-бромного акумулятора є:

Висока щільність енергії відносно свинцево-кислотних акумуляторів 100% глибина здатності скидання щодня.

Немає обмежень терміну придатності, оскільки цинково-бромові батареї не швидкопсувні, наприклад, на відміну від свинцево-кислотних та літій-іонних акумуляторів.

Масштабована ємність.

До недоліків можна віднести:

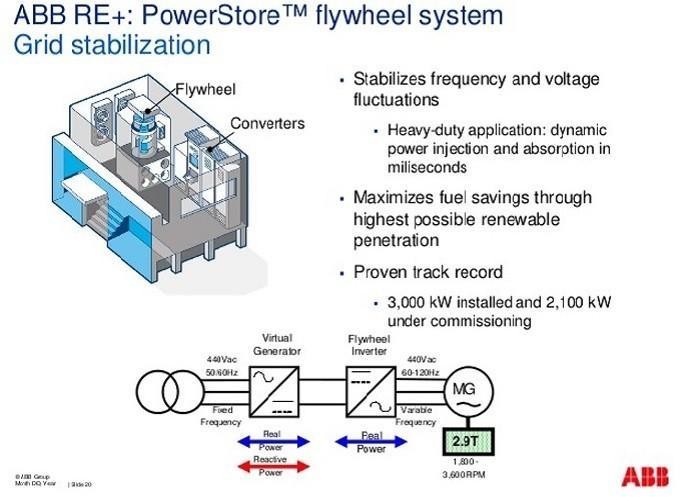
Необхідність повністю скидати кожні кілька днів, щоб запобігти дендритам цинку, які можуть проколоти сепаратор.

Необхідно кожні 1–4 цикли коротко замкнути клеми через малого імпедансного шунта під час роботи насоса з електролітом для повного видалення цинку з пластин акумулятора.

Низька ареальна потужність (<0,2 Вт / см 2 ) під час як заряду, так і розряду, що означає високу вартість енергії. [7]

Застосування проточних редокс-систем. Під проточними батареями розуміють великого розміру контейнери, що містять електроліт. Електрика створюється шляхом пропускання електроліту крізь спеціальну мембрану. В якості електроліту використовують ванадій, цинк, хлор або воду, в якій знаходиться певний відсоток солі. Такий спосіб акумулювання чистої енергії є досить нескладним в застосуванні, час використання установки довгий.

На даний момент цей спосіб не має комерційних проектів. Дослідницькі технології припускають загальну потужність 320 мегават. Головна перевага такого способу – тривала видача енергії (близько чотирьох годин). Мінус – великі габарити і неможливість безпечної утилізації після відпрацьованого

Мал.

2. Принцип роботи проточного акумулятора. Джерело: онлайн-видання Power Electronics, 6 Promising Energy Storage Options to Tie into the Gri d, Feb’18.

У планах електростанції EWE з Німеччини спорудити найбільшу за світовими мірками установку з проточними батареями на 700 мегават-годин. Розташувати її хочуть в печері, яка раніше використовувалася для зберігання природного газу.

1. Система зберігання енергії на основі стисненого повітря (рис. 3, рис 4). За допомогою даного способу можна створювати потужний запас енергії. Канадська компанія Hydrostor в партнерстві з AECOM очолює впровадження цієї технології як на морі, так і на суші.[7]

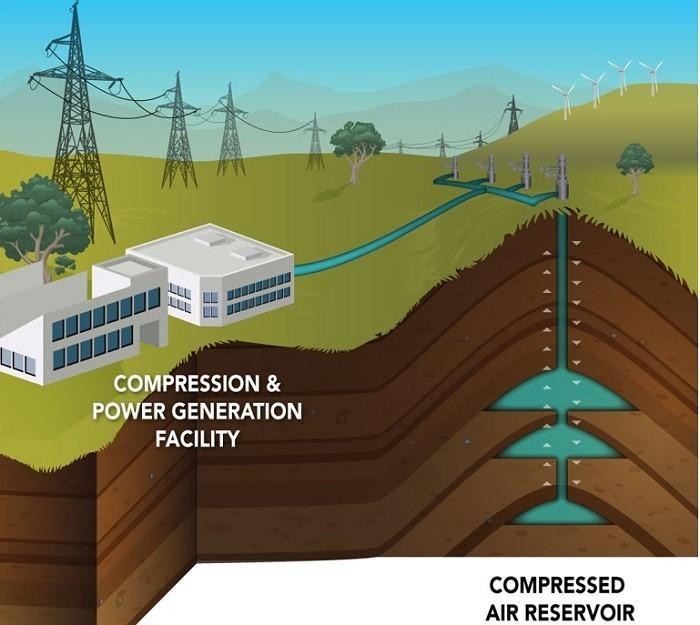


Рис. 3. Зберігання енергії за рахунок стисненого повітря. Джерело: the website of the Pacific Northwest National Laboratory, Compressed Air Energy Storage, Apr’17

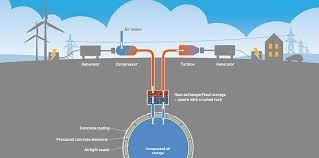


Рис. 4. Зберігання енергії за рахунок стисненого повітря.

Листопад 2009 — Департамент енергетики США присудив $ 24,9 млн цільового фінансування для першого етапу сховища Pacific Gas and Electric потужністю 300 МВт і вартістю $ 356 млн. Сховище використовує пористий сольовий пласт, що розробляється поруч Бейкерсфілд в Kern County, штат Каліфорнія. Цілі проекту — щоб реалізувати і перевірити сучасні розробки.

Грудень, 2010 — Департамент енергетики США надав $29.4 млн цільового фінансування для проведення попередніх робіт по проекту сховища 150 МВт розробки Iberdrola у соляній печері Watkins Glen, Нью-Йорк. Мета — вбудовування технологій розумних мереж для балансування переривчастих відновлювальних джерел енергії.

Грудень, 2012 — General Compression завершує спорудження 2 МВт-ного майже-ізотермічного сховища енергії на стисненому повітрі у Gaines, TX; третього проекту сховища енергії на стисненому повітрі у світі. Цей проект не використовує палива і може зберігати до 500 МВт\*год енергії.

2013 — Перший проект адіабатичного сховища потужністю 200 МВт загальною ємністю 1000 МВт заплановано до спорудження у Німеччині. На основі результатів ADELE розпочато проект ADELE-ING, метою якого є оцінка варіантів системи, розробка окремих інженерних аспектів .

1. Супермаховики, так як вони запасають енергії в тисячі разів більше звичайних маховиків (Фото 1). Винайшов їх 50 років тому російський учений Н. Гуліа, але масово вони не застосовувалися, тільки поодинокі кустарні розробки - візки, що замінювали електрокари [4].



Фото.

Однак останні успішні досягнення відносяться до інших областей. Компанія Beacon Power, заснована в США в 1997 році, зробила істотний крок, розробивши серію великих стаціонарних супермаховиків для застосування в промислових енергомережах. Супермаховики виробництва Beacon Power здатні запасати енергію в 6 і 25 кВт⋅ч в залежності від моделі та потужність в 2 і 200 кВт відповідно[4].

1. Сховище теплової енергії – акумулювання тепла і холоду для створення енергії на вимогу та її виділення в зручний для споживачів час. Основним еталонним об’єктом в області таких сонячних електростанцій є Crescent Dunes Solar Reserve в Неваді (США), потужність якої становить 110 МВт (фото 2).



Фото 2. Електростанція Crescent Dunes Solar Reserve, Невада, США. Джерело: онлайн-видання Power Electronics, 6 Promising Energy Storage Options to Tie into Grid, Feb’18. [7]



Фото 3. Вежа для зберігання екологічно чистої енергії більш ніж 270 тис. домогосподарств \ arabianbusiness.com[8]

У сонячному парку в Дубаї (фото 3) буде побудована найвища в світі сонячна енергетична вежа, яка допоможе забезпечити екологічно чистою енергією більш ніж 270 тис. домогосподарств. Башта заввишки до 260 м вироблятиме 700 МВт чистої енергії, що, у свою чергу, допоможе знизити викиди вуглецю на 1,4 млн тонн на рік. Крім того, в рамках проекту буде реалізовано найбільше в світі сховище теплової енергії. Вартість проекту сягає $3,8 млрд, передає arabianbusiness.com.[8]

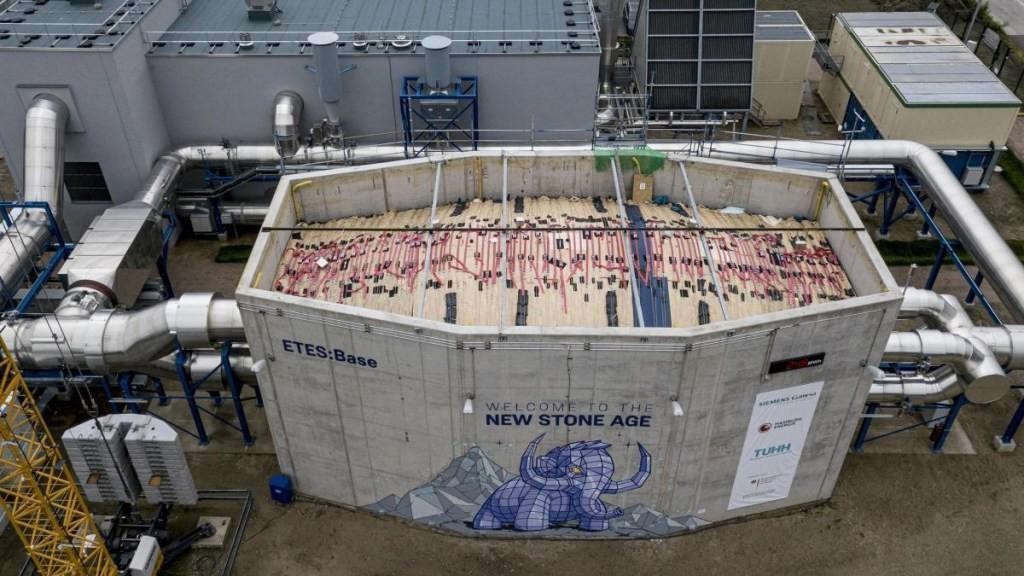


Фото 4. Siemens теплова батарея в Альтенвердері 130 МВт \* год.[9}

Теплова батарея. Церемонія введення в експлуатацію станції відбулася в Альтенвердері, одному з районів Гамбургу (Фото 4). Головний плюс технології

- її неймовірно низька ціна. Коли станція підтвердить свою ефективність, її масштабують і почнуть застосовувати в комерційних системах.

Створена Siemens теплова батарея запасає енергію в 1000 тонн вулканічної породи. Вона живиться електроенергією, перетвореної в гаряче повітря методом нагріву опором, який піднімає температуру каменів до 750 ° C. Коли попит досягає пікових параметрів, включається парова турбіна, і запасені енергія надходить в мережу. «Ласкаво просимо в новий кам'яний вік», - свідчить напис на корпусі установки.

Пілотна електротермічна станція здатна зберегти до 130 МВт \* год теплової енергії в тиждень. Ємність системи залишається незмінною під час всього життєвого циклу.[9]

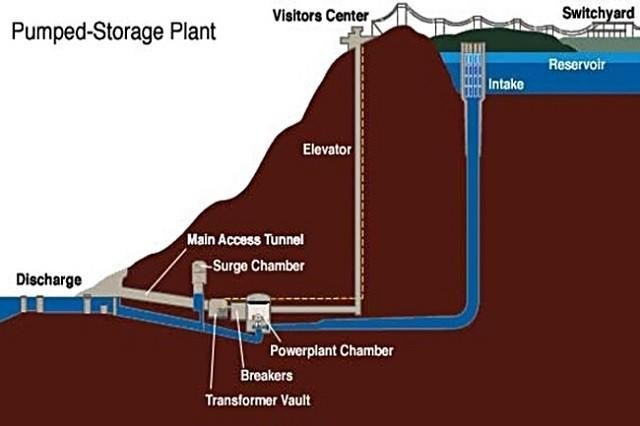
1. Насосна гідроакумулююча електростанція – створення та зберігання енергії з використанням двох резервуарів із водою, розташованих на різних висотах (рис. 5). Відомий приклад даної технології – La Muela від Iberdrola, найбільший гідрокомплекс в Іспанії та Європі.[4]

Рис.5



Фото 5.

Ще один приклад використання(Фото 5) гравітації - проект «енерго запаси» в нано центрів «Сигма» (Новосибірськ). Принцип роботи такого накопичувача схожий на ліфт: двигун споживає електроенергію з мережі і за допомогою каната піднімає вантаж. У потрібний момент вантаж або його частину починають спуск, обертаючи вал генератора. Поки побудований прототип твердотільної акумулюючої електростанції (ТАЕС) потужністю 10 кВт розміром з п'ятиповерховий будинок. Всередині будівлі уздовж стін розташовані два осередки ТАЕС шириною близько 2 м і довжиною близько 12 м. Щоб мати можливість накопичувати 10 ГВт енергії, знадобиться пристрій висотою з Ейфелеву вежу [10].

1. Гравітаційні накопичувачі енергії – пристрої, які генерують електрику, випускаючи у разі потреби важкий вантаж із певної висоти. Ares

– провідна компанія в цій галузі, яка стверджує, що дана технологія коштує на 40%

дешевше, ніж гідроакумулювальна електростанція, і є більш ефективною (рис. 6). Індія розглядає можливість впровадження в свою енергосистему гравітаційних накопичувачів енергії для підтримки інтеграції все зростаючих обсягів генерації на основі ВДЕ. До кінця 2022 року держава планує стати володарем чинного парку 100 ГВт сонячних і 60 ГВт вітрових електростанцій.

В кінці минулого року Індійська Tata Power замовила гравітаційний накопичувач енергії ємністю 35 МВт \* год у швейцарської компанії Energy Vault.



Фото 6.

Вагончик рушить, і світло включається (Каліфорнія, США)У містечку Техачапі поруч з вітропарків по схилу пагорба прокладена вузькоколійна залізниця. По ній переміщається накопичувач, запасающий енергію за допомогою гравітації. Коли вітер дме, вагончик вагою 5670 кг, що приводиться в рух електромотором, їде в гору, накопичуючи енергію, а коли стихає - скочується вниз. У цей момент його двигун працює як генератор, подаючи енергію в мережу. Головне достоїнство проекту - більш низька вартість життєвого циклу в порівнянні з батареями. Ефективність системи досягає 86%[10].

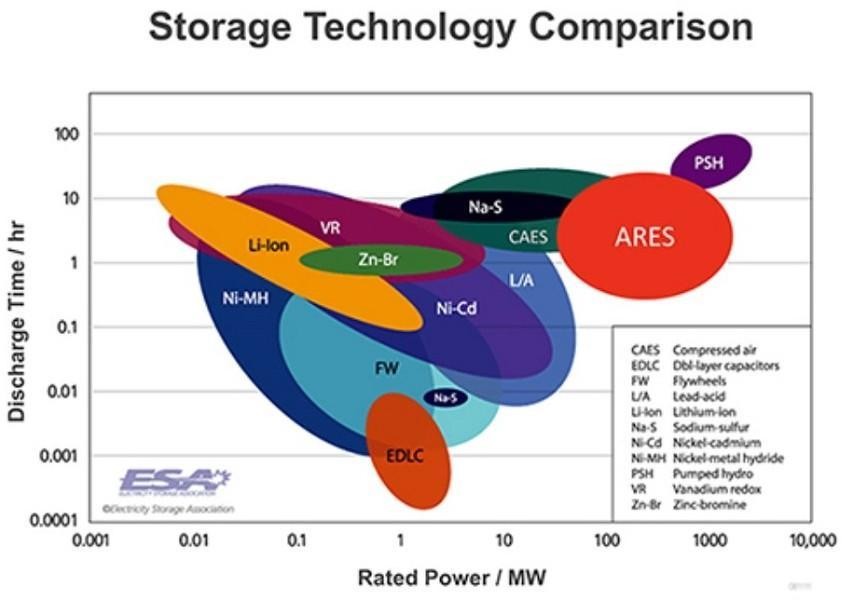


Рис. 6. Порівняння технологій накопичення енергії. Джерело: онлайн-видання Magnus, Energy Storage: Present or Future, Apr’17 [7].

Літій-іонні акумулятори – найпопулярніші елементи, які використовують у сучасних накопичувачах енергії як в побуті, так і в промислових масштабах. Використання традиційних акумулюючих систем. Дані енергосховища представляють собою батареї (їх прототипи використовують для збереження енергії в дрібній техніці: ноутбуках, телефонах і ін.) промислових розмірів. Такий спосіб збереження енергії широко використовується на ВЕС і СЕС компанії Tesla[7].

СВІТОВІ ЛІДЕРИ ВИРОБНИКИ ПРОМИСЛОВИХ СИСТЕМ

На сьогодні більшість ESS зосереджені в Європі, Північній Америці, Східній та Центральній Азії, а також Тихому океані. Провідні країни в даному напрямку – США, Південна Корея, Японія і ряд європейських країн, включно з Німеччиною, Великобританією та Італією. В цілому, близько 96% проектів встановлено саме в цих країнах. Решта 4% знаходяться в Китаї та Південній Америці, переважно в Чилі. Близький Схід і Північна Африка, Південна Азія і Африка на південь від Сахари мають лише незначну кількість систем акумулювання енергії.

На ринку досить багато гравців ESS, перерахуємо лише топові компанії. Компанія Frost & Sullivan, котра займається дослідженням енергетичного ринку, опублікувала звіт, в якому передбачається, що ринок ESS до 2025 року збільшить виручку зі 160,4 млн доларів (дані за 2017 рік) до 1,6 млрд.

Прогнозується, що до цього часу саме США, Австралія, Німеччина та Великобританія будуть приносити річний дохід у розмірі 1,5 млрд доларів[7]

КОМПАНІЯ TESLA (США), технологія Powerwall and Powerpack Одним зі світових лідерів із виготовлення систем зберігання енергії стає компанія Tesla. На цей час виробник пропонує свою новітню технологію Powerwall and Powerpack.

Перша технологія, Powerwall розроблена для використання у побутових нуждах, а Powerpack - для використання у промислових масштабах, через те, що система відрізняється високою потужністю, та можливістю підключення великої кількості споживачів.

Система Powerwall розроблена у трьох варіантах потужності:7 кВт;10 кВт;14 кВт.

Найпотужніший варіант дозволяє накопичити та віддавати енергію для енергопостачання упродовж доби на будинок із двома кімнатами. Заряджати

акумулятор можна різними способами, як від альтернативних джерел енергії, так й за допомогою централізованої мережі. Відносно габаритів обладнання, то розмір становить приблизно одного метра у довжину та ширину, вага близько 100 кг. Використовувати обладнання можна в діапазоні температур від -20 до

+43 градусів, що дозволяє встановлювати систему, як у середині будинку, так і ззовні. Відносно промислової системи Powerpack, її потужність становить 100 кВт. Окрім того конструкція розроблена таким чином, що дозволяє об'єднувати у собі різні елементи, збільшуючи потужність системи до 100 МВт.

Tesla Powerpack – провідний продукт для зберігання енергії в промислових масштабах (фото 5). Це найбільший літій-іонний акумулятор ємністю 129 МВт·год і потужністю 100 МВт.

ESS встановлені на вітровій фермі Hornsdale в Південній Австралії[7].



Рис.7

1. Vivint Solar(США)

Vivint Solar у співпраці з Mercedes-Benz розробляє системи накопичення енергії потужністю 2,5 кВт·год, які можна поєднувати у блок потужністю до 20 кВт·год. Ця побутова акумуляторна система конкурує з Tesla – по вартості та ефективності. Споживачі можуть використовувати батареї для зберігання надлишкової сонячної енергії, що виробляється протягом дня, а потім користуватися нею в періоди пікового споживання енергії (ввечері та вночі), коли тарифи на електроенергію зазвичай вище.

1. LG Chem(LG Chemical) (Корея).

LG Electronics, одна з провідних світових компаній з виробництва акумуляторів, пропонує серію систем зберігання енергії LG (ESS), яка складається з двох високовольтних (RESU7H і RESU10H) і трьох низьковольтних акумуляторних систем (RESU3.3, RESU6.5 і RESU10). Високовольтні моделі також надають різні інвертори, які дозволяють споживачам перетворювати постійний струм, отриманий від сонячних батарей, в придатний для використання перемінний.

1. Eos Energy Storage(США).

Eos Energy Storage пропонує своїм клієнтам привабливі рішення для зберігання енергії. Флагманський продукт компанії Eos Aurora – це недорога акумуляторна батарея постійного струму, спеціально розроблена для задоволення потреби накопичення енергії в мережі. Система розрахована на чотири години безперервної розрядки, її можна масштабувати і налаштовувати для зниження витрат на комунальні послуги.

1. Sonnen (Німеччина).

SonnenBatterie eco використовує технологію літій-залізо-фосфатної батареї (LiFePO4), розробленої в Німеччині. На додаток до батарейних модулів система накопичення енергії складається з інвертора, диспетчера енергії, технології вимірювання потужності та програмного забезпечення. Згідно з повідомленням компанії, продукт оснащений системою виявлення живлення, яка в режимі

реального часу буде знаходити перебої й автоматично перемикатися на живлення від батареї. Нещодавно Sonnen відкрив завод в Атланті, щоб почати виробництво для ринку США (фото 4). КОМПАНІЯ Sonnen, технологія SonnenCommunity[7]/

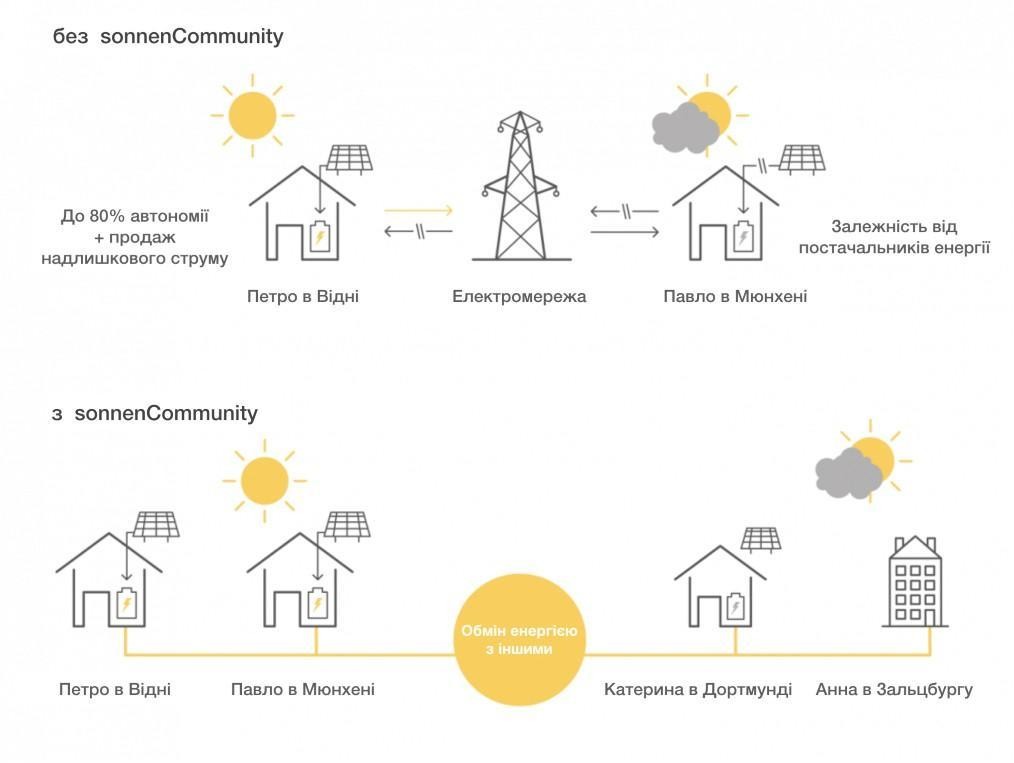


Рис.8.

Компанія Sonnen - безсумнівний лідер німецького ринку побутових систем зберігання енергії, на сьогоднішній день компанія реалізувала більше 10 тисяч домашніх систем. Sonnen представляє акумуляторні батареї ємністю від 2 до 16 кВт / год, термін служби - не менше 10 тисяч циклів зарядки / розрядки при максимально допустимій глибині розрядки близько 80%. Останнім часом

компанія виступає не тільки як виробник обладнання, а й позиціонує себе як постачальник послуг на ринку електроенергетики.

У листопаді 2015 року компанія запустила в Німеччині амбітний проект. Платформа SonnenCommunity - це можливість створити віртуальний пул з власників сонячних систем і електричних батарей. Надлишки електроенергії, отриманої сонячними батареями і не використані в побуті, можуть бути розподілені серед учасників віртуальної мережі, наприклад, можуть бути спрямовані на підзарядку акумуляторної системи в іншого власника, а пізніше - реалізовані на оптовому ринку. З огляду на різке падіння цін на «зелену» електроенергію, це дозволить її виробникам продавати її в реальному часі в момент, коли ціни будуть найбільш сприятливими. До платформи може підключитися будь-який користувач, який придбав обладнання компанії. Sonnen також використовує нове програмне забезпечення, яке може візуалізувати агреговане зберігання в режимі реального часу.

1. Nissan Компанія пропонує рішення для акумуляторних батарей під назвою xStorage, які утримують 4,2 кВт·год енергії. За словами представників компанії, здатність xStorage контролювати, коли брати енергію з мережі, і скорочувати пік споживання допомагає споживачам знизити свої витрати на електроенергію.
2. Sunverge Акумулятори Sunverge One та Infinity забезпечують накопичення енергії від 7,7 кВт до 19,4 кВт·год. Є також відповідний додаток для смартфона, тому споживачі в будь-який час можуть відстежити, скільки відсотків сонячної енергії накопичено.
3. Redflow Компанія виготовляє цинк-бромні акумулятори Redflow ZBM2 и ZCell[7].

Завдяки системі зберігання з технологією plug-and-play і можливості самостійного управління, захисту та моніторингу в режимі 24/7, дані батареї можуть переносити енергію в великих об’ємах.

1. Siemens Компанія вже має свою торгову марку Siestorage для контейнерного зберігання енергії. Але в лютому 2019 року Siemens представили Junelight Smart Battery, системи зберігання енергії на основі літій-іонних акумуляторів для приватних домогосподарств (фото 5). Моніторинг у режимі реального часу доступний через мобільний додаток, систему також можна налаштувати на потужність до 19,8 кВт·год, якщо об’єднати шість модульних блоків по 3,3 кВт·год.
2. PANASONIC (Японія), Smart Towns.

Panasonic - один з найбільших в світі виробників потужних накопичувальних батарей, великі обсяги виробництва дозволяють компанії реалізовувати продукцію за дуже конкурентною ціною.

В Японії, де щорічно зводиться близько 1 мільйона нових будинків, з 2020 року обов'язковим стане стандарт Zero Energy Homes (ZEH). Panasonic і інші японські фірми, прямі конкуренти «Гігафабрікі» Tesla, вже багато років продають місцевим клієнтам готові рішення для домашніх сонячних електростанцій, в яких система зберігання електроенергія поки пропонується як додаткова опція. У 2015 році компанія завершила роботи над «розумним містом» Фудзісава в Японії. Всі будинки міста були підключені до інтелектуальної енергосистеми на сонячній енергії, що дозволяє району працювати в автономному режимі до трьох днів. Протягом наступного десятиліття компанія прагнутиме повторити успіх Фудзісави в області мікромереж у Денвері (США) і почати нові проекти по всій території країни.

Компанія Panasonic реалізує власний проект «розумного» міста, розташованого біля Йокогами. Передбачається, що в межах цього міста всі домашні сонячні електростанції і системи накопичення енергії будуть об'єднані в єдину мережу. Це дозволить не тільки забезпечити енергонезалежність міста, а й в перспективі

* вийти на японський оптовий ринок продажу електроенергії.

Smart Towns — молодий, амбітний проект, в якому Panasonic постарається реалізувати нові підходи в накопиченні і надалі розподілі електричної енергії. При цьому компанія буде опиратися на досвід, набутий недавно в Канаді, де Panasonic реалізувала великий проект «сонячні батареї + акумулятор». Крім того, компанія реалізує декілька проектів по створенню систем збереження електрики для житлових будинків в Австралії, хоча і зіткнулася там з сильною конкуренцією.

Серед переваг можна відмітити: максимально допустима глибина розряду становить 100%, при цьому розробники запевняють, що повний розряд нічим не сказується на ємності батареї та її експлуатаційних характеристиках.

Батарея може знаходитись розрядженою дуже тривалий час, і це ніяк не скажеться на характеристиці ємності. Гарантія на акумулятор 10 років в батарею встроєна в власну систему електро записувань, що існує, існуючий інтерфейс можна контролювати і керувати робочою системою дистанційного, використовує Інтернет.

Екологічна безпека - всі елементи акумулятора підлежать вторинну переробку за своїми габаритами - це сама маленька масова маса, що використовує батарею з рідким електролітом.

Основні проблеми, цинк-бромним акумулятором, які дуже ефективні при тривалих циклах накоплень і зберіганні енергії, але при цьому не дуже виправдані при коротких циклах заряд-розряд.

1. Компанія NGK Insulators, технологія сірчано-натрієвих батарей

Японська компанія NGK Insulators однією з перших вийшла на світовий ринок систем накопичення та зберігання електрики з технологією сірчано-натрієвих батарей з рідким електролітом. На сьогоднішній день сумарна потужність акумуляторів, встановлений по всій земній кулі NGK Insulators, становить близько 3 ГВт, в тому числі на основі акумуляторів саме цього типу в Японії створена найбільша в світі мережа накопичувальних батарей. У період з 2007 по 2010 рік на компанію припадало 66% ринку акумуляторів для довготривалого зберігання електрики. Завдяки особливості технології, сірчано-натрієві батареї мають великий термін експлуатації, але при цьому пожежонебезпечні через високу робочої температури.

Незважаючи на те, що літій-іонні батареї більше підходять для створення масштабних систем зберігання електрики, ніж акумулятори з рідким електролітом, останні ще досить довго будуть зберігати свої позиції в якості альтернативної технології для довготривалого накопичення електроенергії. Наприклад, зовсім недавно компанія виграла тендер на будівництво великої системи акумулювання енергії (35 МВт - 280 МВт) в Італії.

Компанія: Saft, технологія: Intensium li-ion battery[7]

Французька компанія Saft стала одним з головних ньюсмейкеров після того, як вона була придбана нафтовою гігантом Total за 1 мільярд доларів - це сама крупка угода для виробників акумуляторів. До зміни власника, компанія брала активну участь в проектах по всьому світу, створюючи системи зберігання та управління електроенергією на основі літій-іонних батарей власного виробництва. Основна увага компанія зосередила на проектах у віддалених районах з самого початку високими цінами на електроенергію. Як приклад можна привести установку системи потужністю 1,2 МВт для віддаленого селища на Алясці, велика сонячна електростанція в анахола (Гаваї), а так же

недавно отриманий контракт на створення системи накопичення енергії на 10 МВт в Пуерто-Ріко.

Компанія S & C Electric, технологія Pure Wave S & C

Компанія в Техасі об'єднала в єдину мережу 4 електричних мікромережі, що мають різні джерела генерації електрики - в тому числі і сонячну, а також кілька систем зберігання електрики. Крім того, компанія розробила одну з найбільших систем зберігання електрики в Великобританії. Ще один проект потужністю 7 МВт - Half Moon Ventures, в місті Мінстер, штат Огайо.

1. Компания: Aquion, технология: Aqueous Hybrid Ion battery Розроблюваний Aquion гібридний іонний акумулятор, який використовує

натрій-іонний водний розчин (на основі морської води), повинен стати найбільш екологічно безпечної і чистої батареєю на ринку. Серед інших акумуляторів з рідким електролітом, технологія Aquion орієнтована, перш за все, на тривале зберігання електроенергії.

Компанія успішно забезпечила фінансування проекту на ранніх стадіях розробки технології. За розрахунками інженерів компанії, після початку масового виробництва гібридних акумуляторів, їх вартість повинна скласти близько 160 доларів за 1 кВт / год. Але судити про те, наскільки реально ця заява

* поки рано. На сьогоднішній день компанії залучила майже 200 мільйонів доларів інвестицій, але при цьому вдалося реалізувати всього кілька комерційних проектів на основі гібридних акумуляторів. При цьому всі вони були виконані на ринках, де вартість електроенергії спочатку дуже висока, наприклад, в Пуерто-Ріко. Щоб технологія Aqueous Hybrid Ion battery отримала хороші комерційні перспективи, компанії-розробнику варто дуже серйозно попрацювати над скороченням витрат.

1. Компанія ViZN, технологія Zinc-iron flow battery[7]

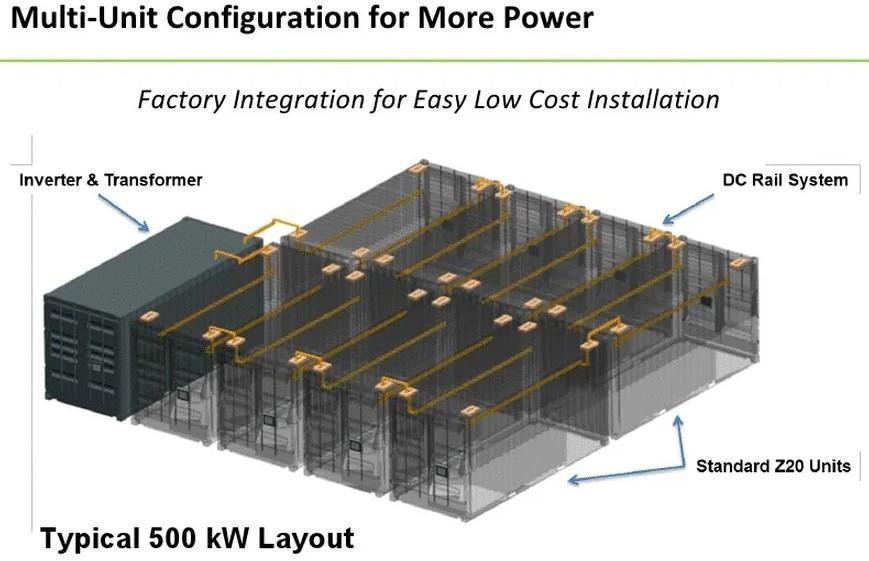


Рис.9

Компанія ViZN - ще один виробників, робить ставку на акумулятори великої ємності з рідким електролітом (Рис.9). На сьогоднішній день акумулятори, що виробляють електроенергію за рахунок хімічної реакції заліза і цинку, доступні в різних конфігураціях. Вони використовуються в якості резервного джерела в домашніх системах, для мереж накопичення і перерозподілу електроенергії, а також для створення автономних енергомереж, наприклад, для розробки віддалених родовищ в гірській промисловості. Про перспективність технології може говорити той факт, що недавно компанія виграла тендер на створення системи стабілізації напруги в Онтаріо (Канада) потужністю 2 МВт / 6МВт.

При цьому фахівці відзначають, що нова технологія Zinc-iron flow battery все ще потребує підтвердження своєї комерційної привабливості. При значному скороченні витрат на її виробництво, батареї цього типу можуть претендувати на значну частку ринку акумуляторів тривалого (3+ години) дії. Крім того,

залізно-цинкові акумулятори, які мають некислу середу, мають кращі показники життєвого циклу системи і продуктивність, ніж інші існуючі нині акумулятори з рідким електролітом[7].

### Висновок до розділу 1.

У цьому розділі були розглянуті особливості побудови гібридних електричних систем з залученням різних джерел живлення. Показані характеристики кожного з елементів гібридної електричної системи. Висвітлені переваги сучасної гібридної системи електропостачання. Багатьма авторами підтверджується, що гібридні системи на основі поновлюваних джерел енергії є перспективне рішення для децентралізованого електропостачання в вилучених (віддалених) об'єктів, а також для забезпечення акумулювання надлишків електричної енергії, зняття пікових навантажень при експлуатації сезонно й погодно залежних поновлюваних джерел енергії великої потужності (вітропарки), системи електропостачання з залученням станцій з різними ВДЕ.

### СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Відсутність на ринку відновлювальної енергетики універсальних пристроїв, які забеспечують можливість об’єднання в рамках єдиної енергетичної різнотипних енергетичних пристроїв з ефективним управління режимами роботи, негативно відображається на розвитку малої енергетики, тому їх створення являється актуальною задачею. [11]

### Схема гібридної електростанції

Безпосереднє підключення генеруючих установок до розподільчої мережі об'єкта електропостачання. Існує багато способів узгодження компонентів гібридної станції. Ці способи можна поділити на тра основні групи: зі зв'язком по постійному струму, зі зв'язком по змінному струму і гібридні.

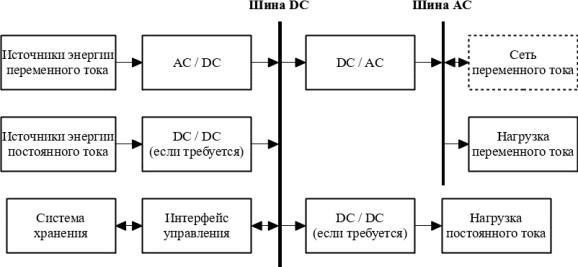
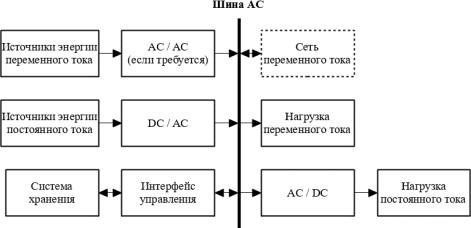


Рис 2.1 - Схема гібридної станції зі зв'язком по постійному струму. [11]

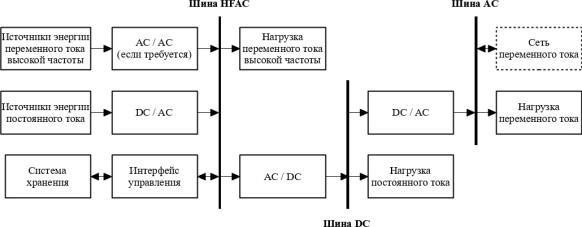
Схема гібридної станції зі зв'язком по постійному струму. Різні компоненти в даній схемі підключаються до єдиної шини постійного струму посередністю відповідних інтерфейсних схем. Джерела енергії постійного струму можуть бути підключені до шини на пряму або DC-DC перетворювач, якщо необхідно отримати певного рівня напруги шини. Якщо існує необхідність живлення

навантаження постійного струму, вони також буть підключені напряму до шини, аба через DC-DC перетворювача, для отримання певного рівня напруги живлення. Система може живити навантаження змінного струму промислової частоти або підключається до загальної мережі змінного струму через інвертор, який може бути спроектований і керувати таким чином щоб забезпечити передачу енергії в обох напрямках. Схема зі зв'язком по постійному струму проста і не потребує синхронізації при підключені різних джерел енергії, але має свої недоліки. При, неробочому інверторі , вся система втрачає можливість від центральної мережі. Для усунення такого недоліку, краще використовувати схему з паралельним підключенням інверторів і застосовувати керування розподілення навантаження між усіма інверторами.



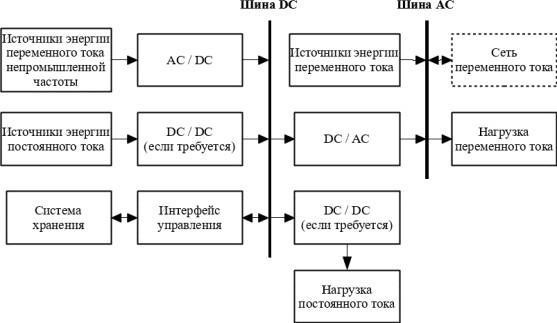
1. Схема гібридної станції зі зв'язком по змінному струму.[11]

Схема гібридної станції зі зв'язком по змінному струму можуть бути розділені на дві групи: системи зі зв'язком по змінному струму промислової частоти і системи високої частоти. На малюнку 121 зображено підключення до шини змінного струму промислової частоти. Для досягнення бажаних параметрів передачі потужності між компонентами схеми і шиною можуть встановлюватись додаткові трансформатори. Енергія постійного струму може бути по такій схемі отримана через перетворювач АС-DC. Схема потребує синхронізації напруги підключених до шини змінного струму пристроїв.



Мал. 2.3. Схема гібридної станції зі зв'язком по змінному струму високої частоти. [11]

Схема гібридної станції зі зв'язком по змінному струму високої частоти, застосовують для живлення літаків, космічних кораблів. Навантаження також змінного струму високої частоти. Енергія постійного струму може бути по такій схемі отримана через перетворювач АС-DC. Схема потребує синхронізації напруги підключених до шини змінного струму пристроїв.



Мал. 2.4 Схема гібридної станції з гібридним зв'язком. [11]

В схемі гібридної станції з гібридним зв'язком використовується шина постійного і змінного струму одночасно. В даній схемі деякі елементи схеми можуть бути підключені на пряму без додаткових інтерфейсних схем. В результаті схема забезпечує кращу ефективність і меншу вартість. Але схема може мати більш складний алгоритм керування, ніж в схема по змінному струмі і постійному струму. Якщо основна частина джерел живлення генерують постійний струм і значне навантаження постійного струму то вибір треба зупиняти на схемі з шиною постійного струму. Якщо основна частина джерел живлення генерують змінний струм і значне навантаження змінного струму то

вибір треба зупиняти на схемі з шиною постійного струму. При змішаній генерації може бути застосована гібридна схема.

### Огляд Суперконденсатора

Одним з найбільш перспективних варіантів є суперконденсатори або, як їх правильніше називати, іоністори (Англомовні автори для позначення цих елементів часто використовують абревіатуру EDLC, яка розшифровується як Electric double-layer capacitor). Перші зразки суперконденсаторів були створені більше 50 років тому назад.[18]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Аккумуляторні батареї | Суперконденсатори | Конденсатори |
| Час заряду | 1-5ч | 0.3 – 30 с | 10 -3 – 10 -6 с |
| Час розряду | 0.3-3ч | 0.3 – 30 с | 10 -3 – 10 -6 с |
| Питома  енергія(Втч/кг) | 10-100 | 1-10 | <0.1 |
| Кол-во циклов | 1000 | >500000 | >500000 |
| Питома  потужність(Вт/кг) | <1000 | <10000 | <100000 |
| Еффективність заряду/розряду | 0.7-0.85 | 0.85-0.98 | >0.95 |

Новий пристрій накопичення енергії не тільки забезпечує щільність енергії до 73 кВт / год на кг, що приблизно еквівалентно щільності енергії

нікель-металогідридні батареї. При цьому новий пристрій працює набагато краще, ніж більшість інших суперконденсаторів, при щільності потужності 16 кВт / год на кг. Секрет нового суперконденсатора полягає в поєднанні різних матеріалів, тому хіміки називають суперконденсатор «асиметричним»

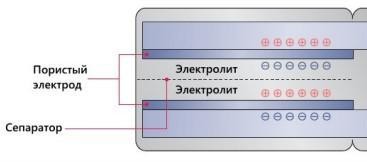
Мал 2.5 –

рис. 2.5 Суперконденсатор

В даний час вони застосовуються в ряді електроприладів (зокрема, в кишенькових ліхтариках, фотоспалах та ін.) в якості основних і резервних джерел живлення.

Крім того, завдяки своїм властивостям суперконденсатори є ідеальним накопичувачем електроенергії для систем рекуперації кінетичної енергії, якими оснащуються багато що випускаються зараз транспортні засоби з електричними і гібридними силовими установками [18].

Головна відмінність між конденсаторами і акумуляторами полягає в тому, що конденсатори безпосередньо зберігають електричний заряд, а акумулятори перетворюють електричну енергію в хімічну, запасають її, а потім назад перетворюють хімічну Енер в електричну. [18]

При перетвореннях енергії частина її втрачається. Тому навіть у кращих акумуляторів ККД становить не більше 90%, в той час, як у конденсаторів він може досягати 99%. інтенсивність хімічних реакцій залежить від температури, тому на морозі акумулятори працюють помітно гірше, ніж при кімнатній температурі

Крім цього, хімічні реакції в акумуляторах в повному обсязі оборотні. Звідси мала кількість циклів заряду-розряду (порядку одиниць тисяч, частіше всього ресурс акумулятора складає близько 1000 циклів

заряду-розряду), а також «ефект пам'яті».

Нагадаємо, що «ефект пам'яті» полягає в тому, що акумулятор потрібно завжди розряджати до певної величини накопиченої енергії, тоді його ємність буде максимальною. Якщо ж після розрядки в ньому залишається більше енергії, то ємність акумулятора буде поступово зменшуватися. «Ефект пам'яті» властиво практично всім серійно випускається типам акумуляторів, окрім, кислотних (включаючи їх різновиди -гелеві та AGM). хоча прийнято вважати, що

літій-іонним і літій-полімерним акумуляторів він не свойственнен, насправді і у них він є, просто проявляється в меншій мірі, ніж в інших типах. Що ж стосується кислотних акумуляторів, то в них проявляється ефект сульфатации пластин, викликає необоротну псування джерела живлення. Однією з причин є тривале перебування акумулятора в стані заряду менше, ніж на 50%.

Стосовно до альтернативної енергетики «ефект пам'яті» і сульфатация пластин є серйозними проблемами. Справа в тому що надходження енергії від таких джерел, як сонячні батареї і вітряки, складно спрогнозувати. В результаті заряд і розряд акумуляторів відбуваються хаотично, в неоптимальному режимі. [18]

Застосовувані для цілей збереження електроенергії АББМ виконуються переважно на базі літій-іонних акумуляторних.

Математична модель накопичувача на базі суперконденсаторів Рівняння для визначення параметрів суперконденсатора [12]:

 (2.1)

 (2.2)

(2.3)

де, Q - миттєвий заряд в момент часу t [КЛ]; С- ємність конденсатора, [Ф];

I - миттєвий струм в момент часу t [А]; V0- напруга заряду[В];

V- миттєва напруга на суперконденсаторі [В]; t- час [сек]

Модель ємнісного накопичувача енергії на базі суперконденсатора представлена блоком з стандартної бібліотеки Simulink і описується наступним виразом (2.4):

## (2.4)

де 𝐴𝑖- площа поверхні між електродами і електролітом;

𝑐 - молярна концентрація;

𝐹 - постійна Фарадея;

𝑖𝑆𝐶 - струм суперконденсатора;

𝑉𝑆𝐶 - напруга на затискачах суперконденсатора;

𝑅𝑆𝐶 - активний опір суперконденсатора;

𝑁𝑒 - число шарів електродів;

𝑁𝑝 - число паралельних суперконденсаторів;

𝑁𝑆 - число послідовних суперконденсаторів;

𝑄𝑇 - електричний заряд;

𝑅 - універсальна газова постійна;

𝑑 - радіус молекул;

𝑇 - робоча температура;

ε - діелектрична проникність матеріалу;

ε0 - діелектрична проникність середовища.

Максимальна швидкість наростання струму визначається наступним чином: Існуючі розробки в області молекулярних конденсаторів дозволяють досягати практично

будь-який енергоємності завдяки з'єднанню суперконденсаторів в батареї і невеликими габаритами самого молекулярного конденсатора.

### Гібридні системи накопичувачів електричної енергії

Гібридні системи накопичення електричної енергії представляють собою складні електротехнічні комплекси. Oсновними елементами є накопичувальний елемент у вигляді літій-іонної батареї і суперконденсатора, перетворювача роду струму 2 з постійного в змінний і навпаки, система управління перетворювачем і система керування електротехнічним комплексом в цілому. У цій схемі акумулятор, маючи прийнятну енергоємність (для літій - іонних систем 90 - 150 Вт год / кг), володіє відносно невеликим (від 500 до 3000 циклів заряд - розряд) ресурсом. Більш того, робота акумулятора (як і будь-якого іншого хімічного джерела струму) в режимах великих потужностей різко знижує його енергоємність і термін експлуатації.

Суперконденсатор легко справляється з високими струмами навантаження. поєднання акумуляторів і суперконденсаторів в одному накопичувачі може дати істотний ефект. Так суперконденсатор, без підключення акумулятора, компенсує обурення тривалістю до декількох перших хвилин. При більш тривалих збуреннях (хвилини, години) в дію включається акумуляторна частина накопичувача. А наявність у складі накопичувача суперконденсаторна частини (при паралельному з акумулятором включенні) дозволяє згладжувати фронти імпульсів струму і напруги, забезпечуючи тим самим зниження миттєвої потужності, віддається або одержуваної акумуляторної частиною накопичувача. Паралельне включення акумуляторів і суперконденсаторів, також забезпечує як мінімум дворазове збільшення потужності накопичувача.

Порівняння принципів організації роботи акумуляторного і гібридного накопичувачів ілюструє рис.2.

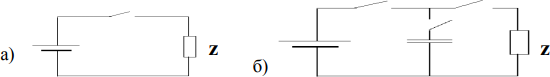
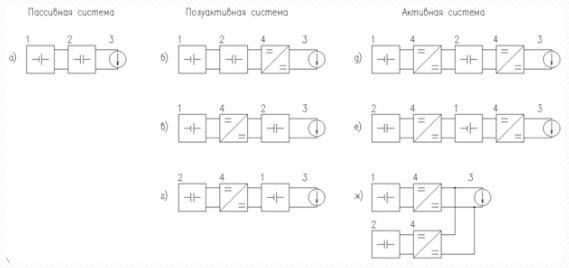


Рис.2.6. Спрощені схеми накопичувачів. а) аккумуляторний; б) гібридний.

### Принцип роботи гібридного накопичувача

Принцип роботи гібридного накопичувача енергії полягає в тому що в момент не дефіциту потужності при короткочасному припинені генерації потужності

Мал. 2.7

або збільшення споживання потужності суперконденсатор компенсує даний провал, а в момент різкого збільшення потужності в мережі або зменшення навантаження суперконденсатор запасає енергію, тим самим усуває тимчасові зміни мережі. [13] Акумуляторні батареї в свою чергу, відіграє роль основного накопичувача енергії і реагує на більш довготривалі зміни напруги живлячої мережі. Така система дозволяє поєднати в собі переваги кожного з накопичувачів енергії, а саме швидкодію і велику питому потужність

суперконденсатора зі стабільною довгою роботою акумуляторної батареї пов'язаної із її великою ємністю.

мал. 2 –Класифікація видів гібридних накопичувачів систем на база АКБ і суперконденсаторів: 1 - АКБ, 2- суперконденсатор; 3 навантаження, 4 DC/DC-перетворювач.

Гібридні накопичувачі енергії, на базі АКБ і суперконденсаторів можуть бути трьох основних типів, кожний із яких має різні варіанти виконання:

Пасивна система(мал.2.7а) Напівактивна (мал.2.7б) Активна система(мал.2.7в)

Пасивна система

Пасивна система являє собою паралельне з'єднання АКБ і суперконденсаторів безпосередньо до навантаження. Основним недоліком пасивної системи є те, що розподілення току навантаження між АКБ і суперконденсатором визначається повними опорами елементів. Також напруга на елементах повинна бути однаковою однаковий проміжок часу. Якщо напруга суперконденсатора знизиться на значну величину, то через нього піде великий струм, що зменшить кількість енергії, яку може видати суперконденсатор[13].

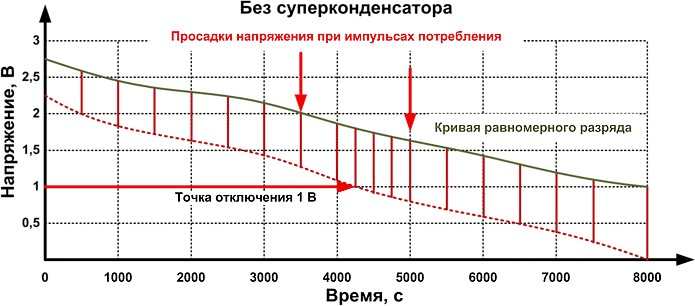
Напівактивна система.

Напівактивна система являє собою паралельне з'єднання АКБ і суперконденсатора з використанням одного DC/DC перетворювача. Напівактивна система в свою чергу розділяється на три системи:

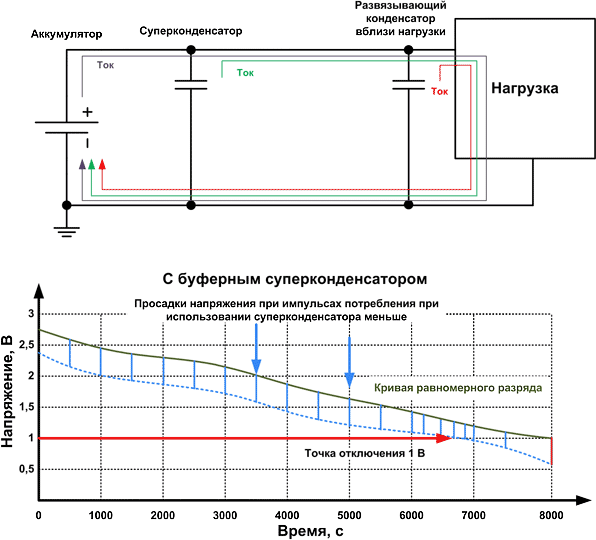
* + 1. Паралельна напівактивна система - перетворювач DC/DC між навантаження і джерелом живлення
    2. Напівактивна система суперконденсатор - перетворювач між навантаження і суперконденсатором, батарея підключена послідовно навантаженю.
    3. Напівактивна система батареї - перетворювач між навантаженням і батареєю, суперконденсатор підключений послідовно навантаженю. Дана схема позбавлена недоліків пасивної системи, але також потребує узгодження параметрів одного з елементів з навантаження (2.7в, 2.7г) або між собою (2.7б). Також завдяки застостосування DC/DC перетворювача даний варіант дозволяє знизити напругу суперконденсаторной модуля, тим сами оптимізувати параметри вибраного модуля по напрузі і ємності. Активна система В активній системі для приєднання блоку АКБ і блоку суперконденсаторів з навантаженням використовується декілька ВС/ВС перетворювачів. Існує три активних системи.

1. Паралельна активна система- перетворювач між кожним накопичувачем і навантаженням ( рис. 2.7ж);
2. Активна система батареї - перетворювач між навантаження і АКБ, і АКБ і суперконденсатором (рис 2.7е)
3. Активна система суперконденсатора - перетворювач між навантаженням і суперконденсатором ,

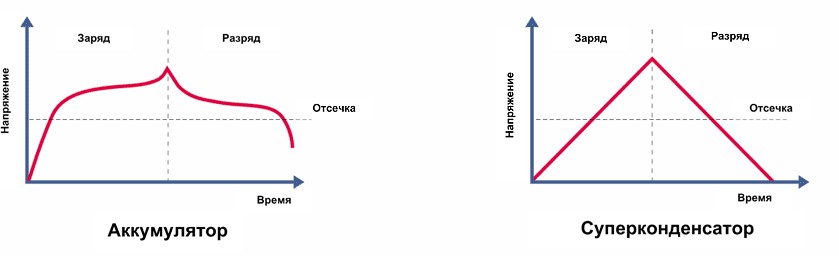
суперконденсатором , суперконденсатором і АКБ (мал. 2д) З однієї сторони, активна система являється найбільш дорогим варіантом в зв'язку з застосуванням двох DC/DC перетворювачів, з іншої сторони, данна система дозволяє реалізувати найбільш оптимальні алгоритми управління НЕЕ[13].



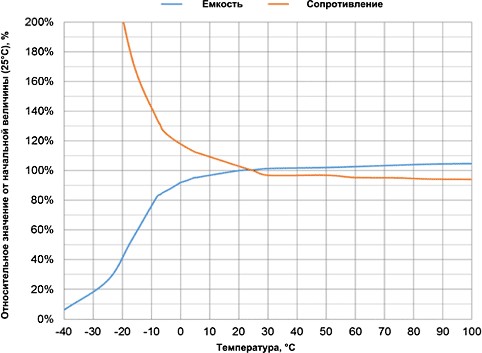
Мал.2.8 Провали напруги із-за великого опору акумулятора [14].

 мал. 2.8 Суперконденсатор захищає акумулятор від пікових струмів, запобігає

хибному включенню[14].



Мал. 2.9 Розрядні характеристики акумулятора і конденсатора.



Мал. 2.10 Температуні характеристики суперконденсатора[14].

### ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ НАКОПУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ В СКЛАДІ АВТОНОМНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

До систем автоматичного управління (САУ) накопичувачів енергії, як і до всіх систем автоматичного управління, поставлено наступні основні вимоги:

* 1. підтримання необхідної точності регулювання в сталих режимах;
  2. забезпечення стійкості;
  3. забезпечення необхідної якості перехідних процесів.

Точність САУ в сталих режимах характеризується помилкою за регульованою величиною при подачі керуючих і вплив збурюючих впливів.

Стійкість – це властивість системи повертатися у вихідний, або близький до нього, сталий режим після будь-якого допустимого обурює впливу. Стійкість, є необхідною, але недостатньою умовою працездатності САУ. Стійкість САУ проявляється в тому, що в системі відбувається загасання перехідного процесу після будь-якого допустимого впливу, що обурює. Час загасання процесу, максимальне відхилення регульованої величини і число коливань в системі при цьому не визначаються, проте ці величини є основними показниками якості процесів регулювання.

Основними завданнями дослідження САУ є такі:

* отримання якісних і кількісних оцінок показників якості перехідних процесів в енергосистемі у всіх режимах роботи накопичувача;
* отримання залежностей, що дозволяють визначити оптимальні значення і співвідношення основних параметрів САУ для забезпечення необхідної якості перехідних процесів;
* розробка методики визначення енергоємності накопичувача і основних параметрів САУ [15].

### Система керування НЕ

Математичну модель накопичувача енергії для будь-якої системи можна представити у вигляді [16] рис.3. 1

Тут Eвх (t) — вхідний потік енергії (надлишкова генерація енергії, яка надходить до накопичувача);

E вих (t) — вихідний потік енергії (енергія, яку забирають з накопичувача в разі дефіциту потужності);

Eвтр (t) — потік втрат енергії накопичувача; g(t) – кількість накопиченої енергії

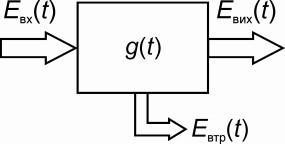


Рисунок 3.1 — Узагальнена модель накопичувача енергії

Кількість енергії, що змінюється в накопичувачі, визначається за законом збереження енергії. За час Δt зміна кількості ∆𝑔, що надійшла до накопичувача буде визначається виразом[16]:

(3.1)

Кількість втраченої енергії в накопичувачі Eвтр(t) залежить від кількості накопиченої енергії g(t).

Коефіцієнт втрат накопичувача енергії ε(𝑡)який визначає частину від накопиченої енергії, яка буде втрачатись накопичувачем за час∆t:

(3.2) 

звідки (3.3)

Враховуючи останній вираз, можна записати рівняння:

 (3.4)

перетворюючи рівняння відносно ***g(t+***∆***t)***:

(3.5)

Останнє рівняння, є рівняння динаміки накопичувача. Це рівняння можна використовувати для розрахунків накопичувачів різних типів (теплові, механічні, електричні, електрохімічні і тд.).

Якщо розрахунки робляться для короткого проміжку часу, величиною втрат в акумуляторі можна знехтувати.

Математична модель акумуляторної батареї.

Основною характеристикою акумуляторної батареї є її ємність CАБ.

Ємністю АБ називають кількість електрики, що виражена в ампергодинах (Агод), яку накопичувач може віддати при при розряді струмом певної величини Iроз. Номінальна ємність акумуляторної батареї САБном гарантується при номінальному струмі розряду[16]:

Коефіцієнт корисної ККД акумуляторної батареї АБ, який визначає відношення кількості енергії, що витрачена в процесі розряду, до кількості енергії отриманої в процесі заряду до початкових параметрів:

(3.6) 

деηаб- коефіцієнт корисної дії ККД акумуляторної батареї,

tрозр, tзар - час розряду, час заряду акумуляторної батареї,

Uрозр ср, Uзар ср - середні значення напруги розряду і напруги заряду, Iрозр ср, Iзар ср - середні значення струмів розряду і струму заряду.

Для створення математичної моделі гібридного накопичувача системи, введемо припущення:

1. напруга акумуляторної батареї дорівнює номінальній напрузі UАБном=const;
2. Коефіцієнт корисної дії не залежить від струму розряду чи заряду АБ і визначається як:



(3.7)

в) нехтуємо впливом температури оточуючого середовища на ємність АБ. Вищезазначенні припущення будуть виконуватись при умовах роботи АБ в межах зазначених виробником.

Вхідна енергія, що надходить до АБ:

(3.8)

де Iзар - значення струму заряду акумулятора.

ηзар- коефіцієнт корисної дії заряду:

Вихідна енергія накопичувача, акумулятора:

(3.9)

Кількість енергії що накопичено:

gАБ(t)=UАБС(t)АБ. (3.10)

де С(t)АБ - ємність акумуляторної батареї в будь-який момент часу.

Коефіцієнт саморозряду. Під коефіцієнтом саморозряду розуміють втрату хімічної енергії, що накопичена акумуляторною батареї, внаслідок реакції на пластинах обох полярностей, що викликані домішками в матеріалах АБ, які виникли в електроліті під час експлуатації.

Саморозряд σ визначається :

(3.11)

де,САБ(t) - ємність акумуляторної батареї в будь-який момент часу САБ(t+∆t) - ємність акумуляторної через час t+∆t .

Помноживши верхню і нижню частину рівняння на значення напруги UАБ і враховуючи (5), отримаємо:

(3.12)

Саморозряд визначають при відключеній акумуляторній батареї. З рівняння (1) враховуючи вище сказане EАБвх (t)=EАБвих (t)=0 чисельник (7), буде дорівнювати втратам EАБ втр (t)∆t

(3.13)

Звідки

(3.14)

Враховуючи , (4), (5), (8), (2) рівняння динаміки накопичувача відносно кількості енергії буде мати вигляд:



## (3.15)

або відносно ємності:



(3.16)

Згідно міжнародних стандартів, розрахунок режимів роботи електричних мереж ємність акумуляторних батарей АБ характеризується наступними величинами:

* 1. рівень заряду батареї SOC(t) (state of change), який визначається відношенням поточної ємності АБ до номінальної:



(3.17)

1) глибина розряду DOD( ) t (англ. depth of discharge):



(3.18)

Розділивши обидві частини (9) на САБ ном , отримаємо:



(3.19)

На режими роботи АБ накладаються обмеження:

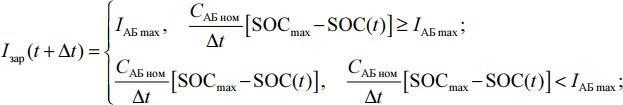
1. за рівнем заряду батареї:



(3.20)

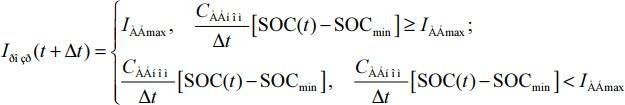
де, SOCmin — мінімальний рівень заряду АБ, який нормується виробником; SOCmax — максимальний рівень заряду АБ (SOC 1 max = );

1. за струмом АБ: при заряді:



(3.14)

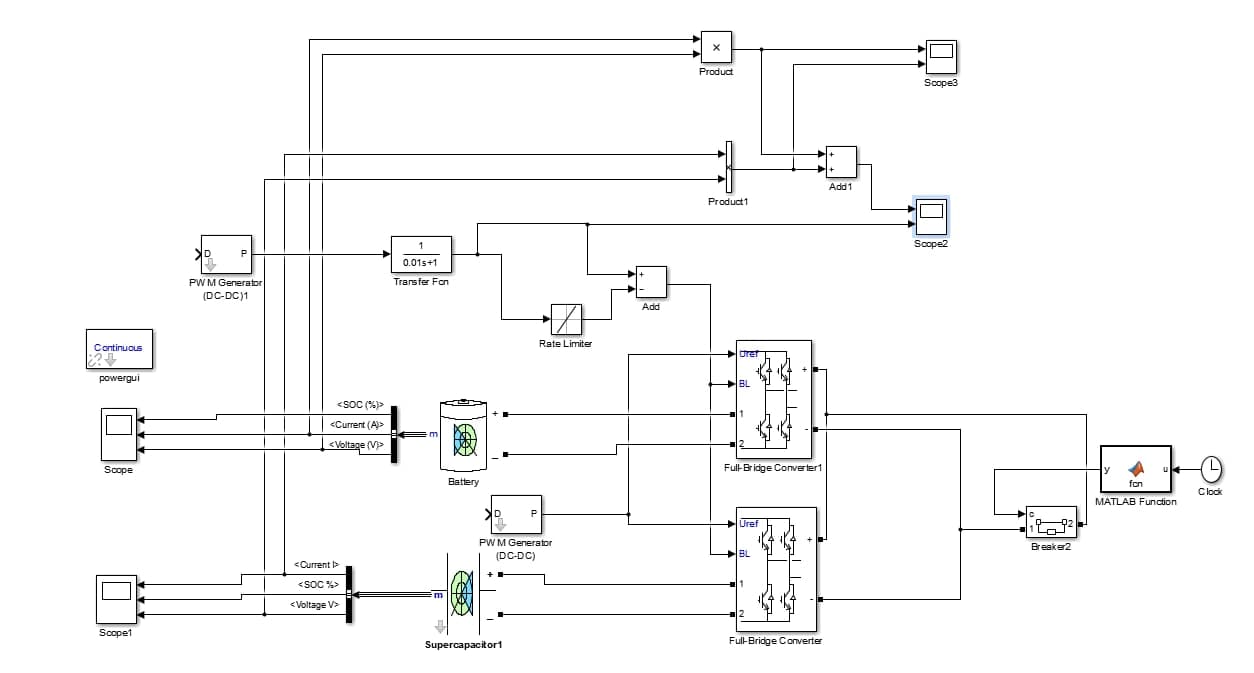
при розряді:

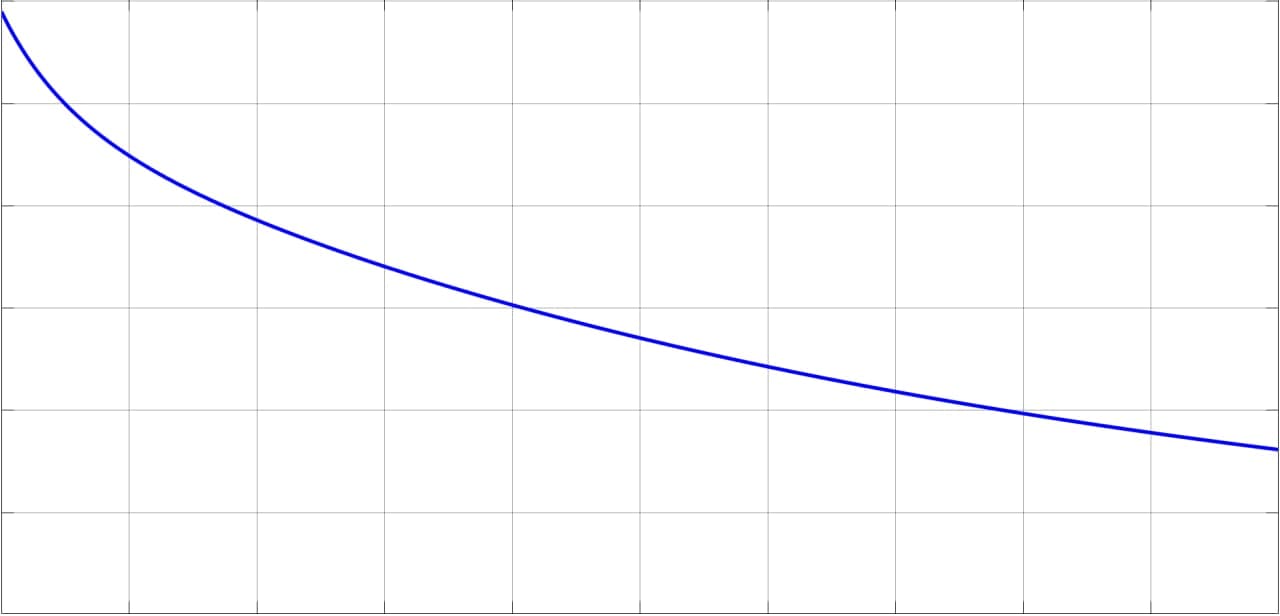


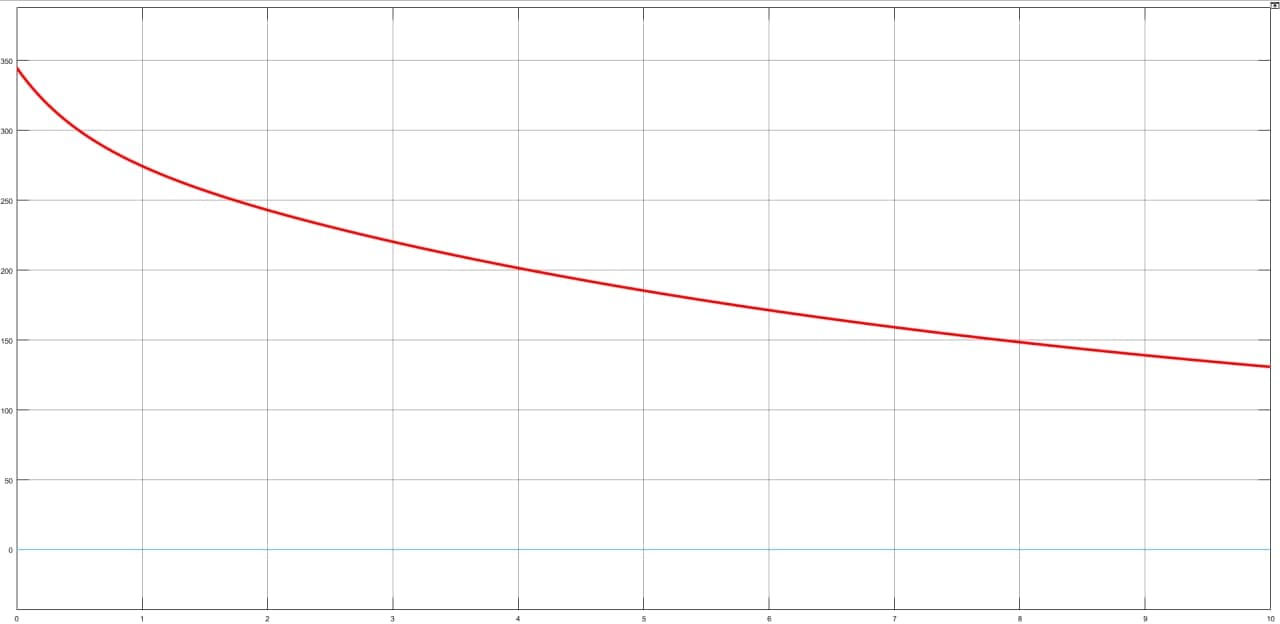
(3.15)

де IАБ max — максимально допустимий струм АБ [16].

**3.2 Моделювання**







### 3.3 Система управління гібридною станцією

Запропонованій ГВССЕ (рис.3. 1) використовуються два взаємодоповнюючі джерела генерування ЕЕ від ПДЕ вітру та сонця, що реалізуються за допомогою, відповідно, вітроелектроустановки з горизонтальною віссю обертання (ВЕУ з ВВО) та сонячної батареї (СБ). Генерування ЕЕ ВЕУ з ВВО та СБ регулюються своїми локальними системами автоматичного керування через напівпровідникові перетворювачі PC1 і PC2 з метою роботи агрегатів у точках відбору максимальної потужності. Сумарна вироблена від ВДЕ електроенергія передається на шину постійної напруги 220 В – DC bus1. Для накопичення надлишкової ЕЕ чи забезпечення нею споживача в періоди дефіциту генерування від ВДЕ в ГВССЕ використовується акумуляторна батарея (АБ), заряджання чи заряджання якої відбувається за допомогою контролера заряду PC3. У випадках, коли АБ повністю заряджена, а споживання є мінімальним, надлишкову

згенеровану ЕЕ від ПДЕ можна використати на інші потреби споживача, наприклад, продати в мережу по зеленому тарифу.[17]

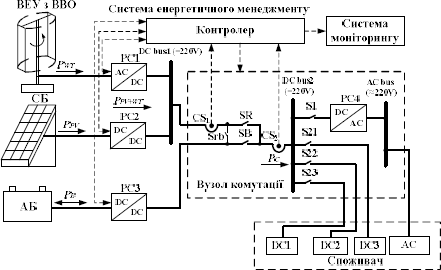


Рис. 3.1

Споживачів електроенергії в даному об’єкті розділено на споживачів змінного струму AC (силове обладнання, двигуни, крани, машини, пристрої, що заживлені через трансформатори на промисловій частоті) та споживачів постійного струму DC (енергозберігаюче освітлення, відео- та аудіоапаратура, комп’ютери, сигналізація). AC споживачі отримують живлення від шини змінної напруги 220 В AC bus, яка через інвертор PC4 може живитися від шини постійної напруги 220 В DC bus2. Споживачі DC розділено, усвою чергу, за величиною споживаної потужності та/чи пріоритетом живлення на, наприклад, три групи: DC1, DC2, DC3.

Функцію підмикання груп споживачів до шини DC bus1 чи батареї АБ виконує вузол комутації за допомогою перемикачів SR, SB, S1, S21, S22, S23. Прийняття рішення про необхідну комутацію здійснює система енергетичного менеджменту (СЕМ), реалізована на контролері, до якого надходять сигнали від давачів струмів генерування CS1 та споживання CS2.

Система моніторингу, яка зв’язана з контролером, постійно отримує інформацію про кількість виробленої чи спожитої енергії. У випадку її підключення до мережі Internet споживач може відслідковувати перебіг процесів енергозабезпечення об'єкта.

Узагальнений алгоритм роботи ГВССЕ окремого об’єкта (рис10. 2) розроблено на

основі наступних критеріїв. Насамперед, споживач повинен максимально використовувати згенеровану ПДЕ потужність і, по можливості, безпосередньо нею живитися.

По-друге, живлення об’єкта повинно бути безперервним, а критерії DPSP та REPG мають бути мінімальними. Працює алгоритм наступним чином.

У блоках 1 і 2 СЕМ зчитує з давачів CS1 та CS2 значення струмів, отримуючи інформацію про сумарну згенеровану ВЕУ з ВВО і СБ потужність PWT PV та потрібну споживачу потужність PC у конкретну годину доби відповідно. У блоці 3 значення PWT PV і PC порівнюються. Для випадку, коли PWT PV є більшою за PC , CЕМ дає команду на замикання перемикача SR. При цьому споживач живиться від ПДЕ (блок 4). Далі СЕМ перевіряє, чи АБ є повністю зарядженою (блок 5). Якщо АБ повністю заряджена, то надлишкова потужність за допомогою замкненого перемикача SR використовується споживачем на інші потреби, наприклад, обігрів (блок 6), а якщо ні, то нагромаджується в АБ за допомогою замкненого перемикача Srb (блок 8). Для випадку, коли PWT PV є меншою за PC , СЕМ дає команду на замикання перемикачів SB та SR. При цьому споживач отримує необхідну потужність, використовуючи наявну потужність від ПДЕ та потужність АБ (блок 7).

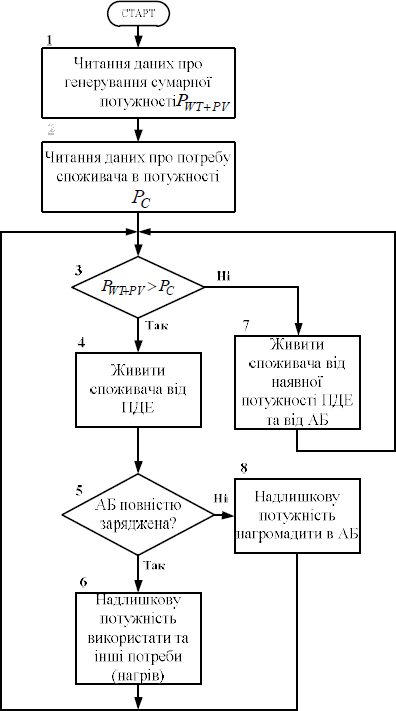


Рисунок 3.2 – Узагальнений алгоритм роботи ГВССЕ

У дослідженнях використовується сформована нами база погодинних метеорологічних даних для м. Керчь за 2018 р., а саме: тривалість сонячного сяйва в інтервалах істинного часу, швидкість вітру та температура навколишнього середовища. Ці дані дають змогу розрахувати кількість поступлення ЕЕ від 1 м2 СБ та від ВЕУ з ВВО

площею омивання 1 м2. Для моделювання навантаження споживача було використано добовий графік споживання ЕЕ насосної станції (теоретичної) неподалік м. Керч.

Потужність PWT ВЕУ з ВВО, що отримується від вітру, розраховується на основі бази погодинних значень швидкості вітру Vw для м. Керчь та параметрів конкретної ВЕУ з ВВО за наступним виразом:

де – густина повітря, що дорівнює 1,23 кг/м3; А – площа омивання вітроротора (ВР), м2;

СР – залежність коефіцієнта ефективності відбору

ВР потужності вітру, який залежить від конструктивних особливостей ВР та його швидкохідності

R Vw ; – кутова швидкість ВР, рад/c; R – радіус ВР, м.

Вважаємо, що досліджувані ВЕУ з ВВО працюють у точках відбору максимальної потужності, й приймаємо, згідно з [17], СР рівним його максимальному значенню 0,351. На рис. 3.3 зображено залежність вихідної потужності ВЕУ з ВВО від швидкості вітру. При швидкості вітру Vw on ВЕУ починає працювати, а при швидкості вітру Vw rated установка досягає свого номінального значення потужності PWT rated . При максимальній швидкості вітру, що

дорівнює Vw off , ВЕУ з ВВО зупиняє свою роботу з метою безпеки.

(3.1)

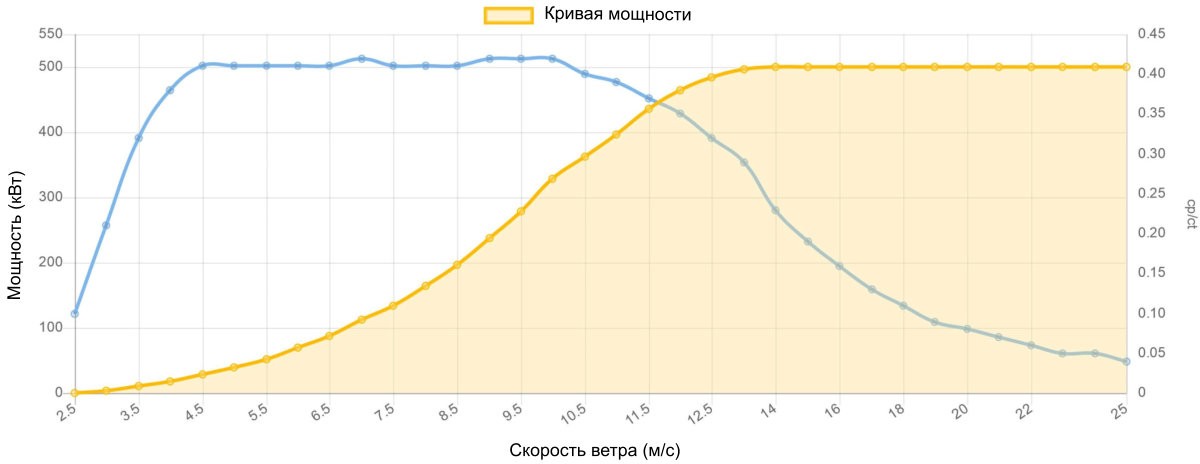


Рисунок 3.3. – Залежність вихідної потужності ВЕУ з ВВО від швидкості вітру.

Потужність PPV на виході із СБ, яка отримується від сонця, обчислюється на основі погодинних значень притоку сонячної радіації на похилу поверхню Gtilt t (Вт/м2), погодинних значень температури

навколишнього середовища та параметрів конкретної СБ за виразом:

(3.2)

де PV – миттєва енергетична ефективність СБ; A – площа СБ, м2.

Згідно з методикою, викладеною в, PV розраховується за наступним співвідношенням:

(3.3)

де r – ККД СБ; pt – ККД системи відстеження точки відбору максимальної потужності (maximum power point tracking system – MPPT), який приймається рівним одиниці, якщо встановлений ідеальний трекер;

– температурний коефіцієнт СБ, який приймається сталим, а для кремнієвих фотоелементів знаходиться в діапазоні 0,004–0,006° C;

cell ref – температура СБ за стандартних умов вимірювання й становить 25° C; cell – реальна температура СБ, розраховуємо за співвідношенням

 (3.4)

де a – температура навколишнього середовища, C;

NCOT – номінальна робоча температура СБ.

Кількість СБ, які необхідно з’єднати послідовно для отримання того ж рівня напруги, що й у внутрішній мережі ГВССЕ, дорівнює

(3.5)

де UNET – напруга мережі ГВССЕ, В; UPV – напруга СБ, В.

Для максимізації річного обсягу генерування ЕЕ від СБ у складі ГВССЕ у м. Керчь було використано отримані нами значення оптимальних параметрів встановлення СБ, а саме: кут нахилу СБ до горизонту – 49 °

та відхилення від напряму на південь 3 °.

Для розрахунку кількості АБ, які необхідно з’єднати послідовно для отримання того ж рівня напруги, що й у внутрішній мережі ГВССЕ, скористаємось співвідношенням (5), лише підставивши значення напруги АБ замість значення напруги СБ.

Залежно від того, чи буде обсяг генерування ЕЕ від ПДЕ достатнім для задоволення потреб споживача в конкретний момент часу, АБ буде заряджатися або розряджатися. Для випадку, коли АБ заряджається, величина енергії EB в АБ у час t розраховується за виразом

 (3.6)

де EGent – погодинне значення згенерованої ЕЕ ВЕУ з ГВО та СБ у час t , кВт·год; EL t

– ЕЕ, яка необхідна споживачу в час t , кВт·год;

B – зарядна ефективність АБ, %. Кількість енергії EB АБ в час t , коли АБ розряджається, розраховується за співвідношенням

(3.7)

Мінімальна кількість енергії АБ EBmin виражається через максимальну глибину розряду батареї DODmax і розраховується за виразом

(3.8)

 де – номінальна енергетична ємність АБ, Вт·год.

Якщо обсяг згенерованої від ПДЕ енергії перевищує обсяг енергії, необхідної споживачу в конкретний момент часу, то надлишкова енергія буде нагромаджуватися на АБ, поки величина енергії АБ не досягне максимального значення EBmax .

Продовження такої ситуації зумовлює наявність надлишкової згенерованої енергії EPG , погодинні значення якої розраховуються за співвідношенням

 (3.9)

Значення критерію REPG для періоду T год., що дорівнює одному року, обчислюється за виразом

(3.10)

У випадку, коли згенерована енергія буде недостатньою для потреб споживача й кількість енергії АБ досягає мінімального значення EB min , погодинні значення дефіциту енергії DPS розраховуються за виразом

(3.11)

Значення критерію DPSP за рік роботи системи:

(3.12).

Для визначення оптимальної конфігурації елементів ГВССЕ необхідно провести кошторисний аналіз елементів системи та системи в цілому,

Ціна 1 кВт·год енергії ( COE ) на виході з ГВССЕ окремого об’єкта з певною конфігурацією елементів є економічним критерієм, за допомогою якого можна визначитися з тим чи іншим варіантом конфігурації системи. Значення COE залежить, насамперед, від реальних цін на елементи ГВССЕ, які можна розрахувати, врахувавши рівень інфляції та ставку дисконтування. Також у дослідженні враховуються витрати на обслуговування елементів системи протягом усього періоду роботи, витрати на заміну елементів (заміна АБ), але не враховуються витрати на встановлення ГВССЕ. Оскільки обладнання для ГВССЕ в більшості випадків є імпортним і його закупівельна вартість залежить від курсу долара США, то для зручності в розрахунках та уникнення перерахунків курсів валюти у зв’язку з її коливанням, ціну на обладнання, яке ми взяли з електронних каталогів мережі Інтернет, виражатимемо в доларах США.

COE визначається за наступним співвідношенням

(3.13)

де COE обчислюється в $/кВт·год; TAC –– загальна річна вартість системи електропостачання (total annualized cost), $/рік; TALE – загальна річна кількість спожитої енергії (total annual load energy), кВт·год/рік.

TAC знайдемо за таким співвідношенням:

(3.14)

де TLCC – загальна вартість системи протягом періоду експлуатації (total life cycle cost),

$;

CPWF – сукупний фактор реальної вартості (cumulative present worth factor).

CPWF залежить від рівня інфляції та ставки дисконтування й знаходиться за виразом

(3.15)

де n – термін експлуатації елемента системи, роки.

Змінну X знаходимо за наступним співвідношенням

(3.16)

де i – рівень інфляції, %; d – ставка дисконтування, %.

TLCC включає в себе вартість кожного елемента системи, вартість на обслуговування протягом всього періоду експлуатації, а також вартість на

заміну АБ, яку визначимо за наступним співвідношенням

(3.17)

де P – ціна елемента системи через n років, приведена до реального часу, $; PC – ціна елемента системи, $. Приймаємо, що вартість на обслуговування елемента системи протягом одного року дорівнює 5 % від вартості самого елемента системи.

У дослідженні вважається, що термін експлуатації системи буде 20 років. Заміна АБ буде відбуватися кожні 10 років, тому до розрахунку вартості АБ враховуємо вартість однієї заміни АБ P лише один раз. На сьогодні рівень інфляції в Україні становить 4 %, а ставка дисконтування – 9,5 %.

Узагальнений алгоритм розрахунку показників енергопостачання ГВССЕ окремого об’єкта за вищенаведеною методикою зображено на

Рисунок 5 – Узагальнений алгоритм розрахунку показників енергопостачання ГВССЕ Працює алгоритм наступним чином.

Блок 1: читаються дані про значення на конкретну годину року сумарної згенерованої ВЕУ з ВВО та СБ енергії EGen t,

Блок 2: дані про кількість енергії EL t, яка необхідна споживачу в конкретну годину доби.

Блок 3: значення EL t і EGen t порівнюються.

Блок 4. Для випадку, коли EGen t є більшою за EL t, відбувається заряджання АБ

Блок 5. Порівняння величини енергії АБ у час t EB з номінальною енергетичною ємністю АБ EB nom.

Блок 6, Якщо EB в час t менша за EB nom , то надлишкова згенерована енергія в час t буде рівною нулю.

Блок 7. А якщо ні – розрахується за співвідношенням, що продемонстровано у блоці 7.

Блоу 8. Розраховується критерій REPG . Для випадку, коли EGen t є меншою за EL t, відбувається розряджання АБ (блок 9).

Блок 10: порівнюється величина енергії АБ у час t EB з величиною максимальної глибини розряду АБ DODmax . Якщо EB в час t є більшою за величину DODmax , то дефіцит енергії буде рівним нулю =(блок 11),

Блок 12. А якщо ні – розрахується за співвідношенням, що показано у блоці 12. Блок 13: розраховується критерій DPSP .

Таблиця 3.1. Параметри СБ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип | YL280P12B-29b | KD-P380 | LR4-60HPH |
| P, Вт | 280 | 380 | 365 |
| U, B | 24 | 24 | 24 |
| I, A | 8.95 | 9.39 | 10.69 |
|  | 43 | 43 | 43 |
|  | 17.1 | 19.5 | 19.5 |
|  | 1.65\*0.992 | 1.957\*0.992 | 1.772\*1.052 |
|  | 89 | 128 | 146 |
| Річна вартість обслугов., $ | 4.45 | 6.4 | 7.3 |
| Ntr | 97 | 73 | 76 |
| N | 2384 | 1460 | 1520 |
| Загальна вартість з трекерами, $ | 310550 | 282110 | 319280 |
| Обслуговування | 8100 | 8448 | 10074 |

Поворотна система - двовісний трекер 1550$. Виробник: ST (Україна)

Номінальна кількість панелей 20 шт/на 1 трекер

Максимальна кількість панелей 24шт/на 1 трекер Кількість актуаторов - 1шт

Опорно поворотний привід SE9 - 1шт Блок управління ST2000 GPS - 1шт Датчик Вітру - 1шт

Блок живлення 24В 10А - 1шт Кінцевий вимикач - 2шт

Креслення металоконструкції сонячного трекера

Забезпечує до 60% річного збільшення вироблення потужності Робоча температура: від -40 до + 60 ℃

Таблиця.3.2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | [Turbowinds](https://www.thewindpower.net/manufacturer_en_12-turbowinds.php) T400-34 | Enercon 40/500 |  | **Suzl** |
|  |
| P, кВт | 400 | 473.5 | 350 | |
| U, B | 690 | 440 | 400 | |
|  | 908 | 1256 | 875.71 | |
|  | 3 | 3 | 3,5 | |
|  | 14 | 11,5 | 14 | |
|  | 25 | 25 | 25 | |
|  | 76600 | 91071 | 88928 | |
| Річна вартість обслугов., $ | 3830 | 4553 | 4446 | |
| N | 2 | 2 | 2 | |
| n , роки | 25 | 25 | 25 | |

Таблиця 3.3 АБ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип | OPzV 2TV243000 | NiFe Battery TN1000 1.2V 1000AH | Modular AGM 2-1000 |
| С,А год | 3150 | 1000 | 1000 |
| U, B | 2 | 1.2 | 2 |
| Ціна, $ | 2657.71 | 500 | 545 |
| N | 21160 | 110976 | 66470 |
| n, роки | 10 | 10 | 10 |

До складу будь-якої конфігурації елементів ГВССЕ було взято гібридний інвертор живлення Axioma Energy серії IS з номінальною потужністю 7,2 кВт з встроєним

контролер заряду MPPT з номінальним струмом 30 А. Ціна інвертора та контролера становить $ 1130.

Таблиця 3.4

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Місяць |  |  |  | 280/17,5 | 380/19,5 | 365/19,5 |
|  |  |  |  | 1,6368 | 1,9413 | 1,8641 |
| січень | 1,27 | 31 | 39,37 | 7.713 | 10.476 | 10.063 |
| Лютий | 2,06 | 28 | 57,68 | 11.300 | 15.349 | 14.743 |
| Березень | 3,05 | 31 | 94,55 | 18.522 | 25.160 | 24.166 |
| Квітень | 4,03 | 30 | 120,9 | 23.684 | 32.171 | 30.902 |
| Травень | 5,44 | 31 | 168,64 | 33.029 | 44.875 | 43.104 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Червень | 5,84 | 30 | 175,2 | 34.321 | 46.621 | 44.781 |
| Липень | 6,2 | 31 | 192,2 | 37.652 | 51.144 | 49.126 |
| Серпень | 5,34 | 31 | 165,54 | 32.429 | 44.050 | 42.312 |
| Вересень | 4,07 | 30 | 122,1 | 23.919 | 32.491 | 31.209 |
| Жовтень | 2,67 | 31 | 82,77 | 16.215 | 22.025 | 82.77 |
| Листопад | 1,55 | 30 | 46,5 | 9.109 | 12.373 | 11.885 |
| Грудень | 1,07 | 31 | 33,17 | 6.498 | 8.82 | 8.478 |
| За рік |  |  | 1298,62 | 254.278 | 345.562 | 331.927 |
|  |  |  |  | 493299 | 504520 | 504521 |

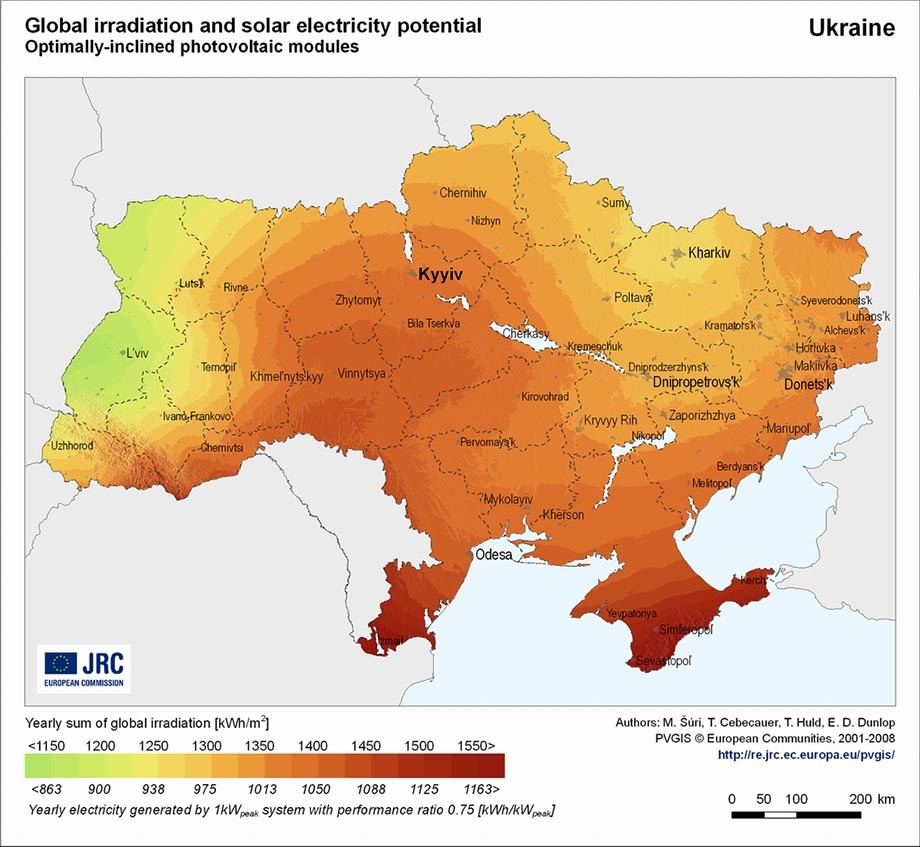


Рис.3.2 Керч сереньорічна інсоляція на добу 3,58 кВтгод/м2.

Визначення необхідної щомісячної кількості електроенергії кВтгод, яку повинні генерувати енергосистема.

Мал. Карта сонячної іррадіації України.

Таблиця.3.5. Питома іррадіація по місяцям місто Керч.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ре гіо н/ Мі ся | січ ен ь | л ю т | бер | квіт | тра в | чер вен ь | лип ень | серп ень | ве ре се нь | жо вте нь | лист опад | груден ь |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ц |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1,2  7 | 2,  0  6 | 3,0  5 | 4,3 | 5,4  4 | 5,8  4 | 6,2 | 5,34 | 4,  07 | 2,6  7 | 1,55 | 1,07 |

Далі розрахуємо місячні і сумарні річні значення сонячної іррадіації по формулі і занесено дані в таблицю 2.



, де

 , кількість днів в даному місяці. Наприклад для січня :

 Е=1,27\*31=39,37 Таблиця 3.6

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Місяць |  |  |  |
| січень | 1,27 | 31 | 39,37 |
| Лютий | 2,06 | 28 | 57,68 |
| Березень | 3,05 | 31 | 94,55 |
| Квітень | 4,03 | 30 | 120,9 |
| Травень | 5,44 | 31 | 168,64 |
| Червень | 5,84 | 30 | 175,2 |
| Липень | 6,2 | 31 | 192,2 |
| Серпень | 5,34 | 31 | 165,54 |
| Вересень | 4,07 | 30 | 122,1 |
| Жовтень | 2,67 | 31 | 82,77 |
| Листопад | 1,55 | 30 | 46,5 |
| Грудень | 1,07 | 31 | 33,17 |
| За рік |  |  | 1298,62 |

Критерій для визначення раціонального режиму роботи ФЕМ знаходиться за формулою:

(3.18)

де Егод середні річні суми сумарної радіації на горизонтальну поверхню, кВт · год / м2;

Емес - середньомісячна сума сумарної радіації на горизонтальну поверхню, мінімальна протягом року, кВт · год / м2. Коефіцієнт kрад характеризує ставлення сонячної радіації при найменш сонячному місяці до радіації за весь рік, тому можна сказати, що якщо це ставлення буде більше 50, то режим роботи для ФЕМ необхідно вибрати сезонний, якщо менше 50 - цілорічний,



1298,62/33,17 =39,15 ≺ 50, режим цілорічний.

**4.Розрахунок гібридної станції**

# Розрахунок кількості сонячних батарей.

Загальна площа (територія насосної станції SB=400\*700=280000 м2).

Розрахунок потужності сонячних батарей необхідний для правильного їх вибору і забезпечення необхідною кількістю електроенергії СЕС. Розрахунок площі сонячної батареї, м2:



(4.1)

де Рнагр - розраховується загальне навантаження кВт об'єкта. Далі збільшимо

потужність кожного об'єкта Ррасч.нагр на 20% в зв'язку з неминучими втратами в проводах, сонячному контролері і інверторе, а так само з можливим збільшенням навантаження і поступовим незначним зниженням ефективності ФЕМ при експлуатації.

Тоді:



= 553000·1,2=663600 Вт



- розрахункова середня потужність ФЕМ, Вт / м2;



де (4.2)

 -Максимальна питома потужність, що віддається ФЕМ, Вт / м2, згідно, при номінальному умови освітлення, Рфем = 1000 Вт / м2;

η - коефіцієнт корисної дії (ККД) монокристалічних ФЕМ,

в середньому становить значення від 15 до 22%. Приймаємо ККД по технічним характеристикам для кожної моделі.



1000\*0,175=175Вт; (Для ФЕМ 280Вт)



1000\*0,195=195 Вт; (Для ФЕМ 380Вт, 365 Вт)

Тоді площа СЕС складе:

663600/175=3792 м2 ;



663600/195=3403 м2 ;

З таблиці 19 площа одного ФЕМ складе:

 1=1,65\*0,992=1,6368м2;

 2=1,957\*0,992=1,9413м2;

3=1,772\*1,052=1,8641 м 2;

Відповідно кількість панелей СЕС, шт складе:



3792÷ 1, 6368 = 2316, 7,

Округлюємо до парного найближчого значення 2318 шт; Відповідно номінальна потужність всіх ФЕМ СЕС складе, кВт:



2318·280=649040Вт;



3403·1,9413=1753, округлюємо до 1754;

 1754·380=666520Вт;

3 3  3403÷ 1, 8641 = 1855, 4, округлюємо до 1856;



3 3 3=1856· 365 = 677440Вт

Кількість електроенергії, що виробляється сонячною батареєю залежить від погодних умов і умов рельєфу. Взявши з таблиці 17 значення сонячної радіації за цікавий для нас період і розділивши його на 1000, одержимо так зване кількість пікогодин, тобто умовний час, протягом якого сонце світить як би з інтенсівностью 1000 Вт / м2. СЕС потужністю РСЕС протягом обраного періоду виробить таку кількість енергії, кВт · год:

 (4.3)

де Е-значення інсоляції за обраний період з таблиці 18; k - коефіцієнт, що дорівнює 0,5 і 0,7 в літній і зимовий періоди, відповідно. Він робить поправку на втрату потужності сонячних елементів при нагріванні на сонці, а також враховує похиле падіння променів на поверхню модулів протягом дня. Різниця в його значенні взимку і влітку обумовлена меншим нагріванням елементів в зимовий період.

Приклад: розрахунок в січні місяці 𝐸міс = 39,37 кВт год/м2



=

=0,7· 1, 27 · 649040/1000 = 576, 997кВтгод.

Для додаткової оцінки ресурсів сонячної енергії скористаємося так само програмою

онлайн-калькулятор , яка визначає вироблення електроенергії ФЕМ, в залежності від сонячної радіації на обраної території.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Місяць |  |  |  | 280/17,5 | 380/19,5 | 365/19,5 |
|  |  |  |  | 1,6368 | 1,9413 | 1,8641 |
| січень/ 6год | 1,27 | 31 | 39,37 | 576,997 | 592,536 | 602,244 |
| Лютий/ 7год | 2,06 | 28 | 57,68 | 935,92 | 961,121 | 976,868 |
| Березен ь/7год | 3,05 | 31 | 94,55 | 1385,70 | 1423,02 | 1446,334 |
| Квітень  /10 | 4,03 | 30 | 120,9 | 1830,941 | 1880,25 | 1911,058 |
| Травень  /12 | 5,44 | 31 | 168,6  4 | 2471,54 | 2538,10  8 | 2579,691 |
| Червен ь/15 | 5,84 | 30 | 175,2 | 2653,27 | 2724,73  4 | 2769,374 |
| Липень  /15 | 6,2 | 31 | 192,2 | 2816,834 | 2892,69  7 | 2940,09 |
| Серпен ь/14 | 5,34 | 31 | 165,5  4 | 2426,112 | 2491,45  1 | 2532,27 |
| Вересе нь/12 | 4,07 | 30 | 122,1 | 1849,115 | 1898,91  5 | 1930,026 |
| Жовтен ь/10 | 2,67 | 31 | 82,77 | 1213,056 | 1245,72  6 | 1266,135 |
| Лист/7о пад | 1,55 | 30 | 46,5 | 704,208 | 723,17 | 735,022 |
| Грудень | 1,07 | 31 | 33,17 | 486,131 | 499,223 | 507,402 |

# . Розрахунок акумуляторних батарей.

Витрата ємності ΔС акумуляторної батареї СЕС за час живлення навантаження Δtнв визначається за формулою :

(4.4)

де Pн - номінальна потужність навантаження об'єкта;

Uн- номінальну напругу навантаження, приймаємо 48 вольт (для отдного блок- трекера 6 кВт; Δtнв- інтервал нічного часу

доби в літній час Δtнв = 10 годин, взимку-Δtнв = 16 годин ;

Розглянемо режим максимального навантаження станції в літній період. Pн=553кВт. Δtнв = 10 годин

Розрахуємо витрата ємності для батареї об'єкта:

 553000⋅10 115208Агод;

= =

48

Глибокий розряд може вивести акумулятор з ладу. Тому виробники акумуляторів встановлюють кінцеву напругу розряду, при досягненні якого акумулятор необхідно відключати від навантаження і заряджати. Щоб акумулятор служив довго, його не можна розряджати більше ніж на 70-80% . Ступінь розрідженості АКБ СЕС:

(4.5)

Виразивши з ємність АКБ Саб. н з урахуванням отримаємо вираз для визначення необхідної ємності акумуляторної батареї СЕС у вигляді:

(4.6)

Найбільш важким режимом експлуатації АКБ СЕС є літній час, тому при розрахунках за формулою приймають Δtнв = 10 год, а ступінь розрідженості АКБ - Sp = 70%.

 100\*553000\*10 =164583Агод

70\*48

Для стаціонарних (промислових) свинцевих акумуляторів максимальний струм розряду обмежений значенням, яке чисельно в амперах становить від 5 до 25 ємностей акумулятора. Чим менше струм СЕС, тим менше омические втрати потужності, вище ККД і, отже, нижче вартість сонячної електростанції. Тому вигідно мати електричні системи високої напруги. Причому, чим більше потужність електростанції, тим більше виграш високовольтної системи в порівнянні з низьковольтної.

Акумуляторна батарея СЕС з ємністю Сн набирається з окремих серійно вироблюваних акумуляторних батарей невеликої ємності шляхом послідовного і паралельного їх з'єднання. послідовне з'єднання окремих акумуляторних батарей використовується для збільшення напруги, а ємність гілки акумуляторної батареї при цьому відповідає ємності окремої акумуляторної батареї. Отримана при паралельному з'єднанні акумуляторна батарея має той же напруга, що і одиночна акумуляторна батарея, а ємність такої акумуляторної батареї дорівнює сумі ємностей входять в неї одиночних

акумуляторних батарей. Енергоємність акумуляторної батареї автономної сонячної електростанції обчислюється за формулою 3(16):

(4.7)

Чим більше енергоємність або ємність при заданій напрузі акумулятора, тим менше окремих акумуляторів буде потрібно в акумуляторну батарею СЕС. Число послідовно включених одиночних акумуляторних батарей в галузі:



(4.8)

де Uаб - напруга окремої акумуляторної батареї. Uаб = 2 В для обраної батареї. Число паралельних гілок в акумуляторної батареї СЕС:

(4.9)

де Саб- ємність окремої акумуляторної батареї, Саб = 960 А·год відповідно до обраної батареї. Тоді загальне число окремих акумуляторних батарей в акумуляторної батареї CЕС відповідає:

, (4.10)

Розрахуємо кількість акумуляторних батарей для об'єкту:

n = Uн / Uаб = 48 / 2 =24 шт;

m1 = Cн / Cаб = 164583/ 3150 = 52,24, округлюємо до 53; m2 = Cн / Cаб =164583/ 1000 = 164,5 округлюємо до 165; N1= n · m1 = 24 · 53 = 1272 шт;

N2= n2 · m2 = 24 · 165 = 3960 шт.

В результаті розрахунків отримали на об'єкті кількість АКБ рівне 1272 шт, для моделі АКБ OPzV 2TV243000 або 39060 шт для Modular AGM 2-1000. Очевидно, що розрахунок дає завищену необхідну ємність акумуляторної батареї. Для більш точного визначення необхідної ємності необхідно якомога точніше врахувати зміну графіка навантаження на інтервалі нічного часу доби.

* 1. Вибір типу сонячного контролера Сонячний контролер - електронний прилад, який відповідає за контроль і регулювання заряду акумуляторної батареї. Існує три типи контролерів для сонячних батарей, що відрізняються своєю функціональністю і деякими особливостями [27]: ON / OFF контролер - найпростіший з існуючих. рідко застосовується в сучасних системах, тому що має масу недоліків. суть його роботи полягає в тому, що він просто відключає надходження електрики з сонячної панелі при досягненні максимального заряду батареї. Напруга і сила струму при цьому буде

змінюватися в залежності від інтенсивності роботи самих панелей. АКБ при цьому сама регулює скільки

«Взяти» струму. У підсумку, максимальний струм досягається при 70% рівня заряду АКБ, контролер спрацьовує. Батарея швидко приходить в непридатність. Двома відчутними перевагами такого пристрою є його вартість і простота обслуговування і підключення [27];

ШІМ або PWM (Широтно-імпульсна модуляція - англ. Pulse-width modulation (PWM)) - контролери забезпечують ступеневу зарядку АКБ шляхом перемикання між різними режимами заряду. Ці режими, в свою чергу, вибираються автоматично в залежності від ступеня розрідженості акумулятора. АКБ заряджується до 100% за рахунок підвищення напруги і зниження сили струму. Недоліком такого контролера є втрати при Недостатком такого контроллера являются потери при зарядке аккумулятора – до 40% [27];

МРРТ регулятор заряду (Відстеження точки максимальної потужності - англ MPPT Maximum power point tracking) - працюють за принципом пошуку точки максимальної потужності, тобто передача навантаженні максимальної енергії, яку виробляють сонячні панелі. Точка максимальної потужності панелей завжди плаває, тому що в кожен момент часу змінюється кут падіння сонячних променів і відповідно змінюється напруга і струм, т. Е. Змінюється потужність панелі в кожен момент часу [27]. Такі прилади є більш дорогими щодо інших видів контролерів. Але збільшення сонячної енергії до 30% дає велику перевагу МРРТ контролерам.

Умови вибору сонячного контролера:

 вхідна напруга сонячного контролера має дорівнювати або більше максимального напруження видається сонячної батареєю (в тому числі напругою холостого ходу батарей);

 - вихідна напруга сонячного контролера має дорівнювати або більше максимального напруження заряджається їм АКБ;

струм заряду видається сонячним контролером повинен бути більше або дорівнює максимальному току заряду АКБ;

1. Сонячний контролер повинен підходити до типу АКБ (тобто вміти

заряджати дану АКБ). Максимальний струм заряду АКБ визначається, згідно формули

(4.11)

Відповідно зарядний струм батарей двох об'єктів буде дорівнює виходячи з ємності ланцюжка n послідовно з'єднаних батарей всій АБ:



10.2.4. Вибір типу інвертора.

Інвертор - пристрій для перетворення постійного

струму в змінний зі зміною величини напруги. Зазвичай являє собою генератор періодичного напруги, за формою наближеного до синусоїді, або дискретного сигналу.

Для отримання змінного струму від СЕС або АКБ, доступного

споживачеві, використовують інвертори, діляться на три основних типи [30]:

3.2.5 Вибір типу інвертора.

Інвертор - пристрій для перетворення постійного

струму в змінний зі зміною величини напруги. Зазвичай являє собою генератор періодичного напруги, за формою наближеного до синусоїді, або дискретного сигналу.

Для отримання змінного струму від СЕС або АКБ, доступного споживачеві, використовують інвертори, діляться на три основних типи :

Мережеві інвертори застосовується в тих випадках, коли СЕС подає

енергію в основну мережу, припустимо живлячи внутрішню мережу підприємства.

Зручна функція синхронізації з основною мережею дозволить вчасно відключити подачу електроенергії при зникненні напруги в мережі.

Даний тип пристроїв може служити для продажу електроенергії [30]; Автономні інвертори використовуються в системах автономного, енергонезалежного харчування, що не потребує у зовнішній мережі Найчастіше інвертори даного типу вже мають контролери заряду,

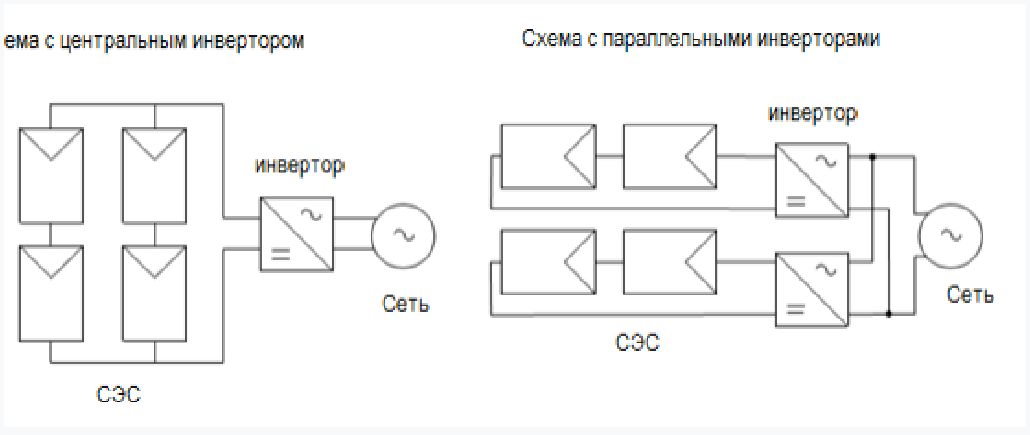
дозволяють днем накопичувати енергію, а у відсутності променевої енергії -віддавати її.

Вартість автономних генераторів періодичного напруги порівняно висока, проте головною метою тут стає не економія, а

енергонезалежність ; Гібридні інвертори для живлення можуть використовувати як енергію СЕС і АКБ, так і основну мережу. До складу генераторів цього типу вже входять контролери заряду, і зарядні пристрої, що дозволяють підключити додаткове джерело енергії при відсутності сонця. підключення допомагає зарядити акумулятори завдяки бензиновим або дизельним генераторам, или ВЕУ. Гібридні інвертори

володіють високим ККД, 63 позитивно впливає на параметри роботи автономної системи електропостачання на сонячних батареях . Згідно вище описаного для розраховується СЕС підходять гібридні інвертори. При виборі інвертора враховується вся сумарне навантаження приладів, що підключаються до инвертору, збільшена, як мінімум, на 30% . Обраний на цю потужність інвертор дозволяє запускати такі електроприлади, як компресорний холодильник, насоси та ін., з пусковими потужностями, в 3-4 рази перевищують паспортний. Так само інвертори діляться на однофазні, трифазні і однофазні з можливістю підключення трьох таких інверторів в трифазну мережу.

Вибір схеми підключення інвертора. Існують дві основні схеми підключення інвертора. Схема з центральним інвертором і схема з паралельними инверторами представлена на малюнку 4.1 .



Малюнок. 4.1 – Схеми підключення інверторів.

Схема з центральним інвертором залишається основним вибором для багатьох середньо - і великомасштабних СЕС. Велика кількість ФЕМ підключені в серії, щоб сформувати високу напругу Центральний інвертор забезпечують високу надійність і простоту установки. Однак вони мають недоліки: в разі поломки інвертора (або тривалого ремонту) вся система виходить з ладу, так само є проблеми з узгодженням великого числа ФЕМ (так як вони з'єднані послідовно-паралельно).

Паралельні інвертори забезпечують напругу на рівні для

послідовно з'єднаних ФЕМ з усіх послідовно з'єднаних

ФЕС - незалежні один від одного. Це корисно в тих випадках, коли комутаторів для послуг не можуть бути встановлені з тієї ж орієнтацією або де використовуються ФЕМ різної конфігурації, або коли є проблеми затінення ФЕМ. Інвертори встановлені на паралельну роботу, такі

переваги. По-перше в разі поломки або тривалого ремонту залишається як мінімум один інвертор і система продовжує працювати. По-друге, це

відмова від зберігання резервного інвертора. Це дозволить легко впоратися з непередбаченими обставинами, як у випадку відмови інвертора.

Недоліки - це складність настройки інверторів на паралельну роботу, подорожчання інверторів, так як необхідно застосовувати приставку для паралельної роботи.

Відповідно до вище описаним для нашого випадку приймаємо для об'єкта:

Критерії вибору інвертора:

вхідна напруга інвертора має дорівнювати

або більше максимального напруження видається сонячною батареєю (в тому числі напругою холостого ходу батарей) або АКБ;

 вихідна напруга інвертора має дорівнювати напрузі питомих споживачів (мережі);

- потужність видається інвертором повинен бути більше або дорівнює потужності мережі збільшеною на 30% [31];

1. Пікова потужність інвертора повинна відповідати пусковий потужності найпотужнішого електроприймача або бути більше її.
2. Інвертор повинен бути тієї системи, напруги і частоти, що і мережа живиться їм мережу.

Розрахуємо потужність інвертора, збільшену на 30% , Вт:



(4.13)

Застосуємо паралельну роботу інверторів по одному інвертору на один трекер. Тоді для кожного об'єкта потужність інвертора складе:

+553000\*1,3=7189000.

В нашому випадку один трекер буде складатись з 20 або 16 панелей загальною потужністью від 5,6 до 6 кВт.



Фото. 4.1

Вибираємо гібридний інвертор безперебійного живлення Axioma Energy серії IS - це високоякісні багатофункціональні пристрої, призначені для створення систем гарантованого електроживлення квартир, приватних будинків, котеджів і об'єктів

міні-бізнесу доповнені функцією автономного живлення. Вбудований РК-дисплей дозволяє відстежувати роботу системи і з легкістю змінювати її параметри, такі як: зарядний струм АКБ, встановлювати пріоритет мережі, або альтернативного джерела живлення,

а так само встановлювати діапазон вхідної напруги. Відмітна особливість пристроїв з індексом BFP - здатність працювати без акумуляторних батарей і більш високі напруги на вході PV (до 500 В), а також можливість роботи в паралель до 9 інверторів.

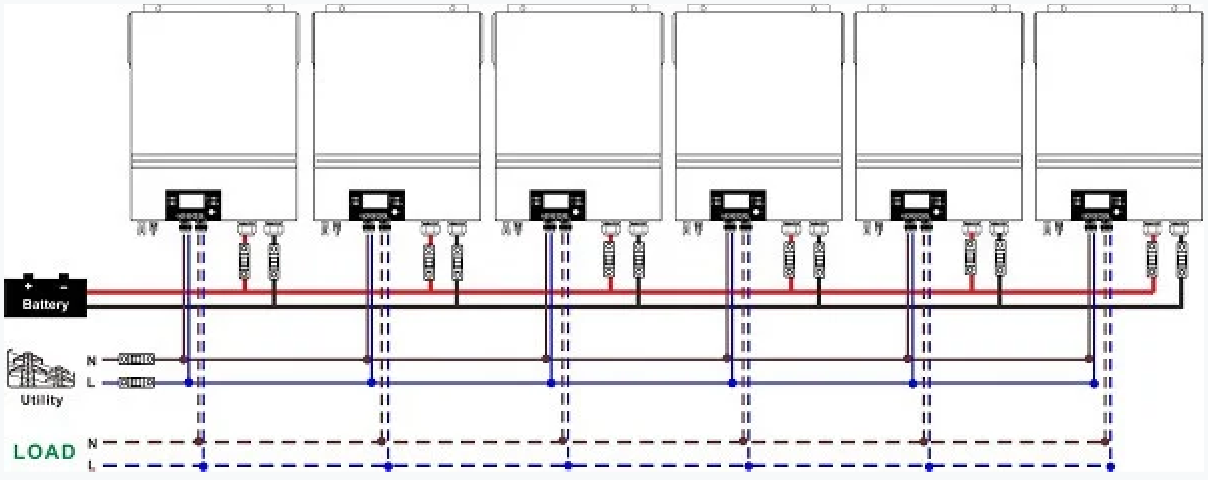


Рис.4.2

Особливості прибору:

Інвертор з чистою синусоїдою

2 МППТ трекера (до 18А на трекер).

Можливість паралельної роботи до 6-ти інверторів в одне і трифазної мережі. Плати паралельного підключення включені в комплект.

Вбудований wifi модуль для онлайн моніторингу роботи інвертора через додаток. Змінний ЖК-модуль дисплей і панель управління з декількома портами зв'язку для BMS (RS485, CAN-BUS, RS232)

Настроюється таймер використання джерел енергії (Сонячні батареї, мережа, акумулятор) для живлення навантаження

Настроюється таймер використання джерел енергії (Сонячні батареї, мережа) для зарядки акумулятора

Налаштовується колір за допомогою вбудованої світлодіодним смуги RGB Підтримує функцію USB On-the-Go

Вбудований комплект anti-dust ( «проти пилу»)

Регульовані діапазони вхідної напруги для побутової техніки і персональних комп'ютерів через ЖК-панель управління

Налаштування пріоритету змінного струму / сонячного зарядного пристрою через ЖК-панель

Регулювання струму зарядки акумулятора в залежності від програми за допомогою РК-панелі управління

Сумісний з електромережею або генератором Автоматичний перезапуск при відновленні змінного струму

Захист від перевантаження / перегріву / короткого замикання

Розумна конструкція зарядного пристрою для оптимізованої роботи акумулятора Функція холодного старту

**Технічні характеристики гібридного інвертора:**

|  |  |
| --- | --- |
| Модель | ISMPPT-BFP 7200 |
| Номінальна потужність | 7200ВА /7200Вт |
| **Вхідні характеристики змінного струму:** | |
| Напруга | 230 VAC |
| Два діапазони напруги (на вибір) | 170-280 (для комп'ютера) |
| 90-280 (для інших навантажень) |
| Частота | 50 Hz/60 Hz (автовизначення) |
| **Вихідні характеристики змінного струму:** | |
| Напруга (при роботі від | 230 VAC ± 5% |

|  |  |
| --- | --- |
| акумулятора) |  |
| Пікова потужність | 15000VA |
| ККД | 90%~93% |
| Час перемикання | 15мсек (для комп'ютера); 20мсек (для інших навантажень) |
| Синусоїда | Чистий синус |
| **Акумулятори:** | |
| Напруга акумулятора | 48 VDC |
| Напруга плаваючою зарядки | 54 VDC |
| Напруга захисту від перезаряду | 60 VDC |
| **Сонячні батареї:** | |
| Максимальна потужність сонячного масиву | 8000 Вт (4000Вт\*2) |
| Максимальна напруга холостого ходу сонячних батарей | П'ятсот |
| Діапазон робочих напруг МРРТ | 90 - 450 В |
| Кількість МППТ трекерів / входів на трекер | 2/1 |
| Макс. вхідний струм | 18\*2 (макс. 30А) |
| Напруга пуску | 80V +/- 5Vdc |
| Макс. струм заряду | 80 А |
| **Загальні характеристики:** | |

|  |  |
| --- | --- |
| Розміри, Глибина x Ширина x Висота, мм | 147,4 х 432,5 х 553,6 |
| Вага, кг | 18,4 |
| Порти передачі даних | USB |
| Допустима відносна вологість | 5% - 95% (Без конденсату) |
| Діапазон допустимої температури для роботи інвертора | -10°C до 50°C |
| Діапазон допустимої температури для зберігання інвертора | -15°C до 60°C |

Загальна кількість інверторів Рінв/Рнінв=7189000/72000=99.84≈ 100шт.

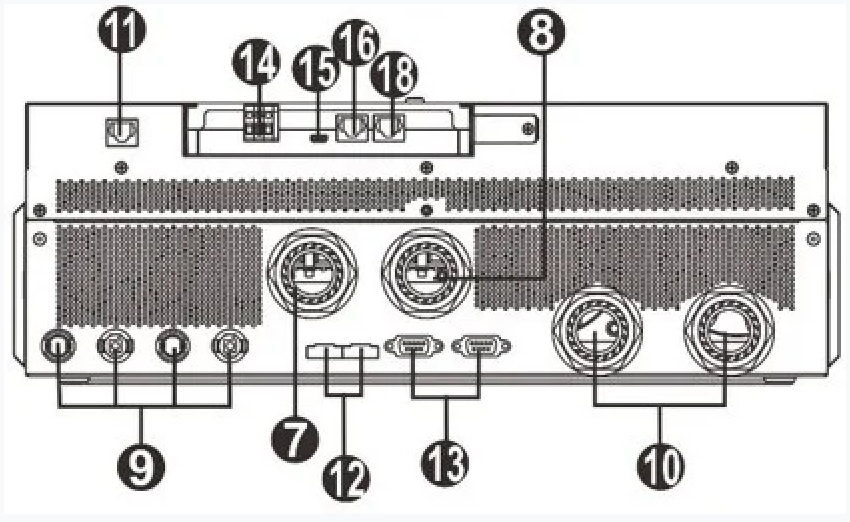


Рис. 4.3

1. Роз'єми входу змінного струму

Роз'єми вихідного струму (підключення до навантаження)

1. Клеми фотомодулів
2. Клеми для акумуляторів
3. Порт зв'язку для віддаленого РК-модуля
4. Порти розподілу струму для паралельного з'єднання інверторів 13. Порти зв'язку для паралельного з'єднання інверторів
5. Сухий контакт
6. Порт USB порт зв'язки і порт USB
7. Порт зв'язку BMS: CAN, RS-485 або RS-232 17. Індикатори вихідного джерела

18. RS-232 порт

**4.4 Вибір вітрогенератора.**

Технічні характеристики вітрогенератора ENERCON : E40/500 кВт Діаметр вітроколеса: 40,0 м

Площа обльоту: 1257 m² м² Кількість лопастей: 3

Швидкість ротора, : 18 - 45 ,0 об / хв

Тип швидкості: 78 м / с Вежа : жорстка.

Висота вежі: 65 м

Зона вітру (DIBt): -WZ III

Клас вітру (IEC): IEC/NVN IA и IEC / NVN IIA

Матеріал: Скловолокно GRP (епоксидна смола); інтегрований захист освітлення; Виробник: Enercon

Щільність потужності 1: 376,7 Вт / м² Щільність потужності 2: 2,52 м² / кВт Номінальна швидкість вітру: 13 м / с Коробка передач тип: безредукторний Генератор тип: синхронний, кількість: 1

Тип турбіни: трансмісія відсутня, зі змінною швидкістю, з регулюванням лопаті; Тип ротора: встановлюється проти вітру, активний контроль кроку гвинта; Направлення обертання: по часовій стрілці

Кількість лопатей: 3

Система гальмування: три незалежних системи контролю кроку гвинта с аварійним джерелом живлення, системи гальмування та блокування ротора;

Контроль кроку лопаті: независимая система контролю кроку кажної лопаті з неззалежним джерелом живлення ENERCON

Привод напрямую соединен с генератором.

Інтервал швидкості вітру: 28 - 34 м/с (шторм-контроль ENERCON) Відалений моніторинг: ENERCON SCADA

Громовідвід в кожнії лопасті.

Контроль курсової стійкості: активний з допомогою регулювання передач, в залежності від

навантаження навантаження згасання.

Генератор: ENERCON с прямим приводом кільцевого генератора; Підключення до енергосистеми: за допомогою інвертора ENERCON; Вежа, макс: -

Загальна вага: -

Головний підшипник: конічні пари роликових підшипників Виробник: ENERCON GmbH

"Енеркон" розробив для нової турбіни спеціальний кільцевий генератор.

В ньому можна знайти відображення ідей Хоннева(розробник): якщо нема можливості заставити ротор крутитись швидше, тоді треба збільшити його діаметр, і котушки ротора і статора будуть рухатись швидше відносно один одного. Тільки Хоннеф хотів сумістити ротор турбіни і з ротором генератору, а в "Енерконі" генератор розмістили паралельно ротору турбіни, що змогло зробити його меншого розміру- всього чотири метри, одна десята діаметру вітрового колеса. Але навіть чотириметровий генератор значно вийшов за межі ступиці, що обумовило незвичний вигляд гондоли з кільцеобразним потовщенням. Маючи 84 полюси і при мінімальній швидкості обертання вітрового колеса в 18 об/хв генератор забезпечує необхідну ЕДС при розумних розмірах котушок.

Із графіку потужності видно, що в діапазон вітру більше 11,5м/с і до 25м/с агрегат виходить на максимальну потужність і забезпечує найвищий ККД 40%.

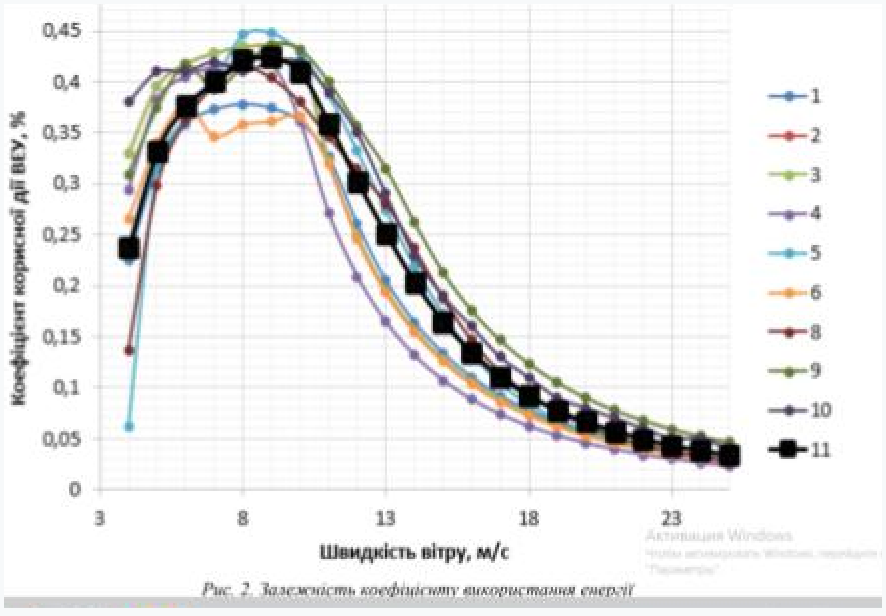


Рис.4.6 . Залежність коефіцієнту використання енергії

від швидкості для різних типів вітроелектричних установок:

1 – ВЕУ 50 кВт polarisamerica, США; 2 – ВЕУ 100 кВт Norvento nED 100-22, Іспанія;

3 – ВЕУ 100 кВт Norvento nED 100-24, Іспанія; 4 – ВЕУ 150 кВт AN Bonus 150/30, Німеччина;

1. – ВЕУ 200 кВт Vestas V25, Данія; 6 – ВЕУ 250 кВт C&F Green Energy, Італія;

7 – ВЕУ 350 кВт Suzlon S.33-350, Індія; 8 – ВЕУ 400 кВт Turbowinds T400-34, Бельгія; 9 – ВЕУ 500 кВт Enercon E-40/5.40, Німеччина;

10 – усереднена залежність для ВЕУ в діапазоні від 50 кВт до 500 кВт Частина вітрів придатних для використання/ по місяцям року. Керч.



Рис.4.7



Рис.4.8

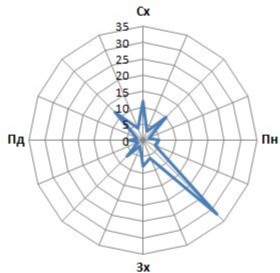


Рис.4. 9. Потужність ВГ для конкретного випадку будівельного майданчика визначається такими параметрами: середньою швидкістю вітру на висоті осі ротора гондоли, густиною повітря, добовим максимумом та мінімумом швидкості вітру [7]:

P = k · ρ · V³ · S/2, (3)

де k – коефіцієнт ефективності турбіни; ρ – густина повітря, кг/м³; V – швидкість вітру, м/с; S –1257 (для вибраної моделі) площа вітрового потоку, м².

Продуктивність прийнятих для аналізу моделей ВГ має вигляд, як на рис. 1. Виробництво електроенергії ВГ можна визначити так:

де ρ – густина повітря; S – площа вітроколеса; Сt – параметр, що характеризує ефективність використання вітрогенератором енергії вітрового потоку



Рис.4.10.

Розрахунок виробітку електричної енергії від ВЕУ проводили за наступним алгоритмом.

Для конкретних ВЕУ різної одиничної встановленої потужності проводили розрахунок коефіцієнтів використання енергії вітру на основі

кривої потужності. При цьому перерахунок проводили згідно наступного рівняння: ξ=Pвеу/Рпп, де

де ξ – коефіцієнт використання енергії вітру (коефіцієнт потужності);

Рвеу – потужність вітроелектричної установки, Вт; Рпп – потужність повітряного потоку, Вт

Середньорічна швидкість для Керчі 5м/с. Для вибраного генерато з приведенням для вежі 65м. Розрахункова швидкість буде 7,8 м/с.

Для швидкості 7,8м/с по характеристикам установлюємо середню швидкість одно вітряка Wвіт=134.67кВт на одну машину. Два вітряка дають потужність 269,34 кВт.

### Висновок:

Регіон розташування проектуємої станції має високий потенціал як сонячної енергії так вітрової, поєднання двох видів ВДЕ сонячної і вітрової станції, з гібридним акумулятором енергії повинен забезпечити безперебійне електропостачання об'єкта.

До того ж гібридні інвертори також можуть живити з центральної мережі.

Крім того перевидобуток енергії можна коригувати навантаженням насосної станції за допомогою системи енергоменеджмент, запрограмовуючи на певні режими роботи.

### Старт ап.

* 1. **Опис ідеї по впровадженню**

Метою цього розділу є визначення сприятливих умов створення гібридної електричної станції для насосной станції меліорації або іншого промислового об'єкту. В проекті розглядалось побудова підприємства в Південих широтах нашої країни. Даний регіон має один з найбільших потенціалів для сонячної енергетики (високі рівні інсоляції), відкриті місцевості та достатньо непогані перспективи для вітрової енергетики (30% процентів вітрів придатні для застосування ВЕУ). В проекті були розглянуті методи оптимізації структури електростанції станції, з урахуванням сучасних напрямків розвитку світової енергетики з використанням ВДЕ . Методи дослідження були базованні на нових наукових працях по даній тематиці. Були розглянуті вже існуючі рішення. Було переглянуто багато наукового матеріалу, а також брався до уваги накопичений практичний досвід у вивченні даного напрямку.

Дослідження дають можливість більше розкрити слабкі та сильні сторони розвитку даного сектору енергетики. другому кварталі 2019 року на території України було введено в експлуатацію об’єкти відновлюваної енергетики загальною потужністю 656 МВт. Цей показник є у 6 разів вищим порівняно з аналогічним періодом минулого року (у ІІ кварталі 2018 року введено 109.6 МВт). Таким чином, на момент кінця другого кварталу потужність сектору ВДЕ в Україні сягнула позначки у 3 634.4 МВт. У квітні - липні 2019 року введення в експлуатацію кожного окремого виду ВДЕ виглядає наступним чином: + 568.3 МВт потужностей СЕС (у 5.5 разів більше ніж у аналогічному періоді минулого року); + 71 МВт ВЕС (більше у 22 рази); + 15.9 МВт станцій на біогазі (більше у 53 рази); + 0.8 МВт малих гідроелектростанцій. Варто зазначити, що середня одинична потужність введених в експлуатацію об’єктів ВДЕ складала 6.4 МВт.

У структурі введення в експлуатацію потужностей за областями лідерами є: — Запорізька область — 152 МВт; — Миколаївська область — 132 МВт; — Київська область — 76.3 МВт. Загалом, за перше півріччя 2019 року в Україні запустили об’єкти ВДЕ, сумарна потужність яких складає 1 517.1 МВт. З них 1

252.1 МВт — СЕС, 243.7 МВт — ВЕС, 20.4 МВт —станції на біогазі та 0.9 МВт

— малі гідроелектростанції.

### Системний інжиніринг та проектування

Системний інжиніринг передбачає на початковому етапі:

визначення визначення розташування, геодезисти, план розташування станції;

Проектування місця підключення до центральної мережі, тип станції; Проектування розміщення елементів станції;

Проектування бетонних, металевих конструкції кріплення; Земляні роботи, створення фундаментів, металоконструкцій; Розрахунок навантаження станції;

Розрахунок потужності станції;

Монтаж трекерів для сонячних станцій, встановлення веж для ВЕУ, виділення боксів для акумуляторних батарей;

Підбір сонячних панелей; підбір акумуляторів;

Підбір гібридних інверторів;

Підбір системи управління і моніторингу трекера. Підбір системи моніторингу (СЕМ);

Розрахунок обладнання насосної станції;

Проектування лічильників, які відстежують продуктивність системи і кількість проданої електроенергії за «зеленим» тарифом;

Проектування металоконструкцій, на яких кріпляться сонячні батареї на земельній ділянці або на даху і стінах будівлі, або розташування їх на рухомі металоконструкції;

Проектування внутрішніх приладів, побутових або промислових, які споживають електроенергію;

Монтаж елементів станції (підрядна організація, яка має ліцензію на виконання таких робіт і має в штаті кваліфікований персонал, необхідною групою допуску робіт в електроустановках;

Прокладка кабельних каналів, прокладка кабелів, підключення та настройка обладнання;

Більшість організацій, які виконують монтаж обладнання надають гарантію до 5 років безкоштовного обслуговування;

* 1. Опис ідеї стартапу.

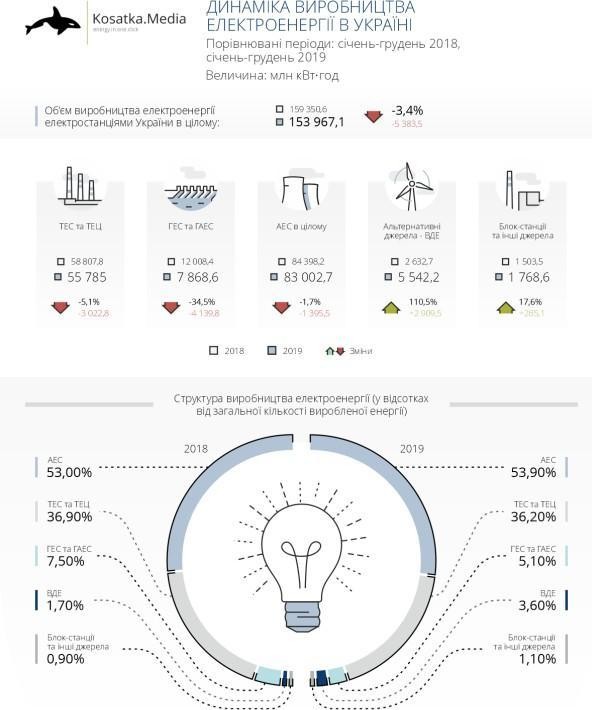
|  |  |
| --- | --- |
| В проекті розглядається створення станції електропостачання з системою акумулювання енергії для живлення об'єкта (насосної станції) в разі відсутності джерел енергії для ВДЕ (Ніч, негода, мала потужність вітру. | Згідно з вивченими матеріалами створення станцій накопичення енергії це один з актуальних напрямів досягнення ефективності станцій з ВДЕ. Застосування може знаходити як в малих станціях домашніх господарств так і великих промислових станцій з потужністью понад 1 МВт. |
|  | Науковий інтерес, вивчення нових методів та розвитку енергетики з використанням ВДЕ, збереження екології. |

|  |  |
| --- | --- |
| Позитивні сторони | Недоліки та перешкоди. |
| Південні райони України мають найвищі показники енергопотенціалу для СЕС, і ВЕУ, що дає гарні перспективи застосування взаємно резервуючих цих двух типів ВДЕ (комбіновані станції) | “Зелений тариф” є одною із привабливою стороною для інвесторів, але не стабільна політична ситуація, що викликає низку економічних криз, може призвети до передчасно скасування “зеленого тарифу”. Особливо необхідно утримання в зоні “зеленого тарифу” на період окупності. |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Декарбонізація енергетики, зменшення викидів СО2 за рахунок зменшення частки видобутку електроенергії з використанням вугілля, мазуту, газу. | З кожним роком 1кВт сонячної енергії стає дешевшим. А сучасні моделі станцій електростанції більш енергоефективним. Тому залучення інвестицій на виготовлення станції на ранніх стадіях розвитку даного сектору менш заощадливий. |
| Застосування станцій аккумулювання (СА), як окремого джерела живлення для підприємства, для ефективного використання дорогих фотопанелей | При значному постачанні надлишків енергії у мережу може викликати не баланс потужності, або не готовність мережі прийняти ту кількість надлишку енергії яку згенеровано в час максимума генерації. Необхідно змінювати структуру зовнішніх мереж.  Необхідні зовнішні станції накопичення енергії. Поки що не має системи накопичення енергії. |
| Застосування трекерних систем стеження за сонцем для збільшення ККД СЕС, |  |
| Застосування гібридних інверторів для безперебійного живлення підприємства |  |
| Застосування АСУ асинхронних двигунів для раціонального використання енергії |  |
| Енергетична незалежність підприємства, економія на витратах на енергозабезпечення підприємства дуже суттєві, так як в даному районі України тарифи на електроенергію одні з найвищих. |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Використання режимів роботи станції в години максимума генерації від ВДЕ. |  |
| Застосування системи енергоменеджмент для ефективного перерозподілу енергії. (СЕМ). |  |
| Покращення ККД фотомодулів призводить до зменшення площі станції. |  |

### Генеруючі потужності України



мал. 5.1 Генеруючі потужності Україна 2019

Основну частку в загальному виробництві за 12 місяців 2019 становить: виробіток АЕС – 53,9%,

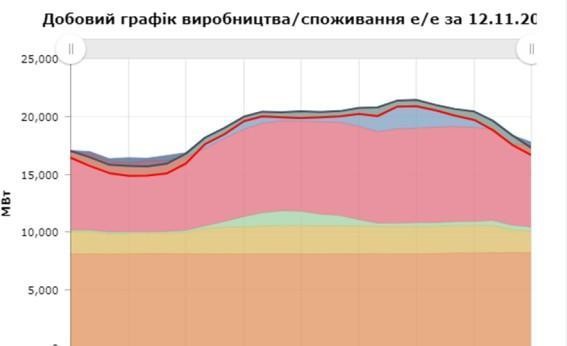
виробіток ТЕС і ТЕЦ – 36,2%, виробіток ГЕС і ГАЕС – 5,1%. виробіток ВДЕ – 3,6%.

Атомні електростанції становлять базис енергосистеми і працюють на встановлену потужність.

Сучасні ТЕС пристосовані для змінного навантаження, на багатьох проведенні реконструкції. Зміна портрету енергосистем призводить до того, що традиційна генерація переходить з базового режиму навантаження в замикаючий або маневрений.

Для балансу енергосистеми саме роль теплової генерації як маневреної має цінність. Річ у тім, що ТЕС швидко збільшують виробництво електроенергії в години пікового споживання або знижують виробництво, коли споживання скорочується. В основному ТЕС згладжують напівпікові навантаження.

Для перекриття пікових навантаженнь використовують, гідроакумулюючі станції, ГЕС, ГАЕС.



Мал 5.2. Добовий графік виробництва /споживання електроенергії. Укренерго.

Дані диспетчерської служби.

На нинішньому етапі розвитку енергетики системи зберігання розглядаються, як частина безпечної роботи енергосистеми через переривчастий характер

«зеленої» генерації.

Накопичувачі можуть забезпечити гнучкість швидкого реагування на зміну обсягів виробництва електроенергії та сприяти збалансованості електромережі. Очікується, що в найближчі 10 років акумуляторні батареї стануть найбільш швидкозростаючим джерелом гнучкості енергосистеми завдяки економії за рахунок масштабу й вдосконалення технологій.

Влітку 2020 року ДТЕК уклав контракт із компанією Honeywell (США) на постачання в Україну першої літій-іонної системи накопичення. Майданчиком для будівництва та встановлення було обрано територію ДТЕК Запорізької ТЕС. Система вважається промисловою, хоча її потужність лише 1 МВт, а ємність – 1,5 МВт год. Це пілотний проєкт компанії, на якому будуть випробувані оптимальні умови роботи таких накопичувальних систем в українському ринку електроенергії. .

### Інвестиційна привабливість проекту.

1) Хоч ще не дешева, але вже достатньо доступна вартість станції. 2)Початкові капіталовкладення компенсуються безкоштовним джерелом

енергії і окупність станції до 7 років.

* 1. Енергетична незалежність (незалежність від ціни на електроенергію, яка в регіоні дуже висока).
  2. Потужний потенціал місцевості (Херсон, Миколаїв), дуже високий рівень інсоляції.

**Висновок до четвертого розділу:**. Проектом передбачається побудова гібридної станції для живлення насосної станції з системою акумулювання, як додаткового джерела живлення. Розглянуто світові розробки з акумулювання енергії та інвестиційної привабливості проекту.

Наведено основні напрямки, як досягти енергоефективності станцій з використанням сонячних панелей (та інших екологічно чистих джерел енергії).

### ВИСНОВОК

Було розглянуто особливості побудови гібридних електричних систем з залученням різних джерел живлення. Показані характеристики кожного з елементів гібридної електричної системи. Висвітлені переваги сучасної гібридної системи електропостачання. Багатьма авторами підтверджується, що гібридні системи на основі поновлюваних джерел енергії є перспективне рішення для децентралізованого електропостачання в вилучених (віддалених) об'єктів, а також для забезпечення акумулювання надлишків електричної енергії, зняття пікових навантажень при експлуатації сезонно й погодно залежних поновлюваних джерел енергії великої потужності (вітропарки), системи електропостачання з залученням станцій з різними ВДЕ.

Встановлено переваги використання гібридної схеми:- струм заряду і розряду акумуляторної батареї відрізнявся плавним наростанням і спадом в порівнянні зі струмом у відсутності суперконденсаторів, що сприятливо позначається на системі балансування (вирівнювання напружень) акумуляторних елементів Таким чином, впливи навантаження компенсуються без використання акумуляторної частини накопичувача

Побудовано гібридну станцію для живлення насосної станції з системою акумулювання, як додаткового джерела живлення.

Розглянуто світові розробки з акумулювання енергії та інвестиційної привабливості проекту. Наведено основні напрямки, як досягти енергоефективності станцій з використанням сонячних панелей (та інших екологічно чистих джерел енергії).

### Бібліографія

|  |  |
| --- | --- |
| Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів | 9 |
| ВСТУП | 10 |
| 1 ГІБРИДНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ З, ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ  ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ. | 3 |
| 1.1 Види відновлювальної енергії | 3 |
| 1.2 Напрямки розвитку ВДЕ | 3 |
| 1.3 Витрати на генерацію ВДЕ | 5 |
| 1.4 Енергетичний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети | 5 |
| 1.5 Гібридизація ВДЕ | 6 |
| 1.6 Система накопичення | 7 |
| 1.7 ВИДИ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ. ……………………………………………. | 20 |
| Висновки | 50 |
| 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА | 51 |
| 2.1 Схема гібридной електростанції | 51 |
| 2.2 Обзор Суперконденсатора | 54 |
| 2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТОЧАННЯ | 59 |
| 2.1 Складові насосної станції | 59 |
| 3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ  НАКОПУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ В СКЛАДІ АВТОНОМНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ | 62 |
| 3.1 Система керування НЕ | 63 |
| 3.2 Моделювання НЕ | 67 |
| Висновки | 68 |
| 4 СТАРТАП-ПРОЕКТ | 69 |
| 4.1 Зміст ідеї для стартап проекту | 69 |
| 4.2 Системний інжиніринг та проектування | 70 |
| 4.3 Генеруючі потужності України | 77 |

|  |  |
| --- | --- |
| 5.4 Інвестиційна привабливість проекту | 80 |
| Висновки | 80 |
| ВИСНОВКИ  СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 1 |

12.СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.

1. Перспективи розвитку гібридних енергетичних систем Синєглазов Віктор Михайлович

Завідувач кафедри авіаційних комп’ютерно-інтегрованих комплексів Національного авіаційного університету

1. <http://energetika.in.ua/ua/books/book-2/part-2/section-1/1-3>
2. <https://alternative-energy.com.ua/uk/zberigannya-chisto>
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
4. <https://sites.google.com/site/kyaccum/vidi>
5. <http://nizagurskachemistry.blogspot.com/2019/11/blog-post_50.html>
6. <https://avenston.com/ru/articles/energy_storage_systems/> 8)[https://www.unian.ua/ecology/alternativeenergy/10051448-u-sonyachnomu-parku-dubaji-z-yavitsya-nayvis](https://www.unian.ua/ecology/alternativeenergy/10051448-u-sonyachnomu-parku-dubaji-z-yavitsya-nayvishcha-v-sviti-energetichna-vezha.html) [hcha-v-sviti-energetichna-vezha.html](https://www.unian.ua/ecology/alternativeenergy/10051448-u-sonyachnomu-parku-dubaji-z-yavitsya-nayvishcha-v-sviti-energetichna-vezha.html)
7. [https://in-power.ru/news/energosberezhenie/24024-hranenie-elektroenergii-v-kamne-sistema-vvedena-v-str](https://in-power.ru/news/energosberezhenie/24024-hranenie-elektroenergii-v-kamne-sistema-vvedena-v-stroi.html) [oi.html](https://in-power.ru/news/energosberezhenie/24024-hranenie-elektroenergii-v-kamne-sistema-vvedena-v-stroi.html)
8. <https://www.eprussia.ru/epr/374/9549355.htm>
9. [https://research-journal.org/technical/gibridnyj-nakopitel-elektricheskoj-energii-dlya-setej-s-raspredelenno](https://research-journal.org/technical/gibridnyj-nakopitel-elektricheskoj-energii-dlya-setej-s-raspredelennoj-generacie-na-osnove-vozobnovlyaemyx-istochnikov-elektricheskoj-energii/) [j-generacie-na-osnove-vozobnovlyaemyx-istochnikov-elektricheskoj-energii/](https://research-journal.org/technical/gibridnyj-nakopitel-elektricheskoj-energii-dlya-setej-s-raspredelennoj-generacie-na-osnove-vozobnovlyaemyx-istochnikov-elektricheskoj-energii/)
10. <http://fornk.ru/5219-superkondensator-opisanie-raschet-zaryada-sxema-istochnika-pitaniya/> 13)[https://research-journal.org/technical/gibridnyj-nakopitel-elektricheskoj-energii-dlya-setej-s-raspredelenno](https://research-journal.org/technical/gibridnyj-nakopitel-elektricheskoj-energii-dlya-setej-s-raspredelennoj-generacie-na-osnove-vozobnovlyaemyx-istochnikov-elektricheskoj-energii/) [j-generacie-na-osnove-vozobnovlyaemyx-istochnikov-elektricheskoj-energii/](https://research-journal.org/technical/gibridnyj-nakopitel-elektricheskoj-energii-dlya-setej-s-raspredelennoj-generacie-na-osnove-vozobnovlyaemyx-istochnikov-elektricheskoj-energii/) 14)<https://www.terraelectronica.ru/news/6295>
11. Магістерська робота. Калніцький «Керування електричними навантаженнями з використанням кінетичних накопичувачів енергії»
12. Т. Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук, М. В. Кубкін, асист., В. П. Солдатенко, асист., В. В. Мартиненко, студент Кіровоградський національний технічний університет/Узагальнена математична модель накопичувача енергії

17). УДК 621.311.25 **ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОКРЕМОГО ОБ’ЄКТА**

**І. З. Щур, В. І. Климко**

Національний університет “Львівська політехніка”

вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна. Е-mail: [i\_shchur@meta.ua,](mailto:i_shchur@meta.ua) [vklymko@gmail.com](mailto:vklymko@gmail.com)

1. [https://www.elec.ru/articles/kondensator-vmesto-akkumulyatora/](http://www.elec.ru/articles/kondensator-vmesto-akkumulyatora/)
2. [https://mind.ua/publications/20220415-energiya-majbutnogo-yak-dtek-nablizhae-zelenij-perehid-v-ukrayi](https://mind.ua/publications/20220415-energiya-majbutnogo-yak-dtek-nablizhae-zelenij-perehid-v-ukrayinskij-energetici) [nskij-energetici](https://mind.ua/publications/20220415-energiya-majbutnogo-yak-dtek-nablizhae-zelenij-perehid-v-ukrayinskij-energetici)
3. [https://kosatka.media/uk/category/elektroenergiya/analytics/proizvodstvo-elektroenergii-v-ukraine-u-vie-z](https://kosatka.media/uk/category/elektroenergiya/analytics/proizvodstvo-elektroenergii-v-ukraine-u-vie-znachitelnyy-prirost) [nachitelnyy-prirost](https://kosatka.media/uk/category/elektroenergiya/analytics/proizvodstvo-elektroenergii-v-ukraine-u-vie-znachitelnyy-prirost)
4. <https://ua.energy/>
5. ОСНОВИ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ /підучник /Міністерство освіти і науки України Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет"/ ГЕННАДІЙ ПІВНЯК, ФЕДІР ШКРАБЕЦЬ, НІКОЛАУС НОЙБЕРГЕР, ДМИТРО ЦИПЛЕНКОВ
6. <https://solarsystem.com.ua/>
7. <https://kworum.com.ua/osnovni-parametri-sonjachnih-panalej>

25)<http://ussolar.com.ua/>

26) [https://www.researchg](https://www.researchgnet)et

27) Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКАВ НЕТРАДИЦІЙНІЙТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНІЙЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

29) [https://vinur.com.ua/aboutus/usefull-info/articles/398-printsipy-raboty-kontrollera- zaryada-dlya-solnechnoj-b](https://vinur.com.ua/aboutus/usefull-info/articles/398-printsipy-raboty-kontrollera-%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20zaryada-dlya-solnechnoj-b)[atarei](https://vinur.com.ua/aboutus/usefull-info/articles/398-printsipy-raboty-kontrollera-zaryada-dlya-solnechnoj-batarei)

30) Инвертор для солнечных батарей. [Электронный ресурс] /SolarSoul.net// – 2017. – Режим доступа: <http://solarsoul.net/invertor-dlyasolnechnyx-batarej>

31).УДК 621.315 ГІБРИДНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ – НЕОБХІДНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ. Попадченко С. А.