

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Оханський Євген Валентинович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Аналіз інноваційних технологій розробки елементів та пристроїв
накопичення енергії в світі та їх використання в Україні для створення
новітніх зразків техніки для зберігання енергії
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Оханський Є.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Пясковський Д.В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації, автоматизації виробництва та
інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Оханський Є.В. Аналіз інноваційних технологій розробки елементів та пристроїв накопичення енергії в світі та їх використання в Україні для створення новітніх зразків техніки для зберігання енергії.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Мета роботи показати, що елементи та пристрої накопичення енергії можуть забезпечити величезну кількість енергії та оточують нас всюди.

Головна мета інновацій – знизити негативний вплив на довкілля, підвищити енергоефективність, зменшити ресурсомісткість виробництв, розвивати поновлювані джерела енергії, скоротити викиди парникових газів та зменшити кількість відходів.

Ключові слова: інноваційні технології, елементи та пристрої накопичення енергії, енергоефективність, відновлювана енергія.

ABSTRACT

Okhansky E.V. Analysis of innovative technologies for the development of elements and devices of accumulated energy in the light of their development in Ukraine for the creation of new technologies for saving energy.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The main meta-innovation is to reduce the negative influx on the energy sector, increase energy efficiency, change the resource intensity of production, develop new energy sources, reduce the emission of greenhouse gases and change the quantity of Coming.

Keywords: innovative technologies, elements and devices of accumulated energy, energy efficiency, recycled energy.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	6
1.1 Переваги систем зберігання електричної енергії	7
1.2 Складові частини системи зберігання електроенергії	8
1.3 Споживання енергії зі зсувом у часі	9
1.4 Контроль та регулювання навантаження	9
1.5 Використання ESS у передачі та розподілі енергії	10
2 ФІЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	11
2.1 Гідроакumuлюючі електростанції	11
2.2 Накопичувачі енергії стисненого повітря	12
2.3 Маховикові накопичувачі енергії	12
2.4 Електрохімічні системи зберігання енергії	13
2.5 Електричні технології зберігання електроенергії	16
3 ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ	17
3.1 Інноваційні системи накопичення енергії	19
3.2 Гнучкі суперконденсатори на основі бананової шкірки та органічних полімерів для енергетики	23
3.3 Графенові суперконденсатори на заміну хімічним акумуляторним батареям	37
4. ПРОПОЗИЦІЇ ЩО ДО СТВОРЕННЯ КАМУФЛЬОВАНОГО ОБМУНДИРУВАННЯ ВІЙСЬКОВОГО	40
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

ВСТУП

Актуальність теми кваліфікаційної роботи. З провадженням ринкової економіки актуальними постають питання розвитку інноваційних технологій в енергетиці, як одного з ключових напрямів конкурентоздатності.

Розвиток інноваційних технологій в енергетиці дає змогу нашій державі зміцнити свій суверенітет та зменшити закупівлю та споживання енергоресурсів у інших держав. Енергетична та екологічна безпека країни вимагає активізації роботи над впровадженням інноваційних технологій, зокрема у виробництві відновлювальної електроенергії, складовою якої є елементи та пристрої накопичення електроенергії енергії.

Відновлювані джерела енергії включають періодичні або стабільні потоки енергії, розподілені в природі. До таких джерел належать сонячна енергія, енергія вітру, гідроелектростанція та природна теплова енергія.

Розвиток відновлюваних джерел енергії має величезне значення, оскільки горючі корисні копалини, які є основою виробництва енергії на початку 21 століття, мають обмежені запаси, які рано чи пізно виснажуються.

Ідеальним для виживання людини було б сталий розвиток, або концепція збалансування виробництва і споживання в суспільстві таким чином, щоб не покладатися на ресурси, які доступні лише тимчасово [2-5, 6, 9].

Метою даної роботи є аналіз сучасних інноваційних технологій розробки елементів та пристроїв накопичувачів енергії в світі та можливість їх використання в Україні для подальшого покращення енергонезалежності та росту економіки, а також розробка нової моделі енергозабезпечення об'єкту енергоспоживання.

Об'єктом дослідження є сучасні інноваційні технології розробки елементів та пристроїв накопичувачів енергії в світі та можливість їх використання в Україні для подальшого покращення енергонезалежності та росту економіки.

Предметом дослідження є принцип та застосування інноваційних технологій розробки елементів та пристроїв накопичувачів енергії.

Методи дослідження. Рішення поставлених завдань ґрунтується на висновках прикладних і фундаментальних наук, таких як електромагнетизм, електротехніка, математичний аналіз, математичне моделювання.

Практична значущість результатів роботи. Виконані в кваліфікаційній роботі дослідження дозволили отримати такі результати:

- сформульовані вимоги до параметрів інноваційних технологій, що застосовуються при розробці та використанні елементів та пристроїв накопичення та зберігання відновлювальної енергії;
- виконано огляд і аналіз принципів, інноваційних технологій та наведено приклади застосування елементів та пристроїв накопичення та зберігання відновлювальної енергії.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

1 ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Розвиток сонячних і вітрових електростанцій тісно пов'язаний з технологіями зберігання електроенергії, які гарантують безперебійне електропостачання споживачів.

Системи зберігання електричної енергії - це клас високотехнологічного обладнання, що стрімко розвивається, відкриває принципово нові можливості розвитку енергетичного інжинірингу.

Вони роблять електроенергію запасною і «переносною», що усуває необхідність суворої одночасності процесів виробництва та споживання.

Ці технології забезпечують безперебійне постачання електроенергії в разі екстремального падіння, зниження або повної втрати напруги в мережі.

Світова електроенергетика працює за технічним принципом балансування виробництва та споживання. Інноваційною технологією, яка дозволяє

відокремити виробництво від споживання, є система зберігання електроенергії.

Ця технологія повністю змінює всю систему розподілу і співвідношення традиційної та альтернативної генерації.

Збільшення кількості електроенергії, що виробляється з відновлюваних джерел енергії (ВЕЕ), поставило нові завдання перед електричними мережами, які вже працюють в умовах підвищеного навантаження.

Сучасні системи електропостачання повинні завжди врівноважувати попит та пропозицію, демонструючи гнучке керування та оптимальну енергоефективність.

Зростання використання ВЕЕ створює нове джерело нестабільності.

Впровадження вітрових та сонячних вітрових електростанцій по всьому світу супроводжується значними піками та спадами виробництва електроенергії. Системи зберігання згладжують нерівномірне виробництво електроенергії та знижують швидкість зміни потужності середніх та великих установок, що використовують сонячну та вітрову енергію.

Таким чином, ці системи забезпечують стабільний рівень вихідної потужності та роблять ВІЕ передбачуваним компонентом електромережі.

Використання тієї чи іншої системи накопичення електроенергії (ESS) залежить від багатьох технічних та економічних факторів.

З технічної точки зору будь-яка ESS є складною багатоконпонентною системою з декількома потенційними способами перетворення енергії. Кожен етап цього процесу здійснюється за допомогою добре стандартизованих компонентів, таких як трансформатори, системи перетворення енергії та нові типи електрохімічних акумуляторів.

Нині є кілька видів технологій зберігання електроенергії.

Серед прикладів даних систем можна назвати акумулюючі електростанції, хімічні джерела електроенергії, системи зберігання на основі маховиків, водню, а також синтетичного природного газу.[10]

1.1 Переваги систем зберігання електричної енергії

Кількість вітрових та сонячних електростанцій у світі зростає, як і частка відновлюваної енергії в енергобалансі.

Коливання генерації, характерні для відновлюваної енергетики, можуть призвести до перевантажень мережі та нестабільності частоти. Інтеграція накопичувачів електроенергії та відновлюваних джерел енергії має на меті вирівняти вплив коливань генерації на мережу.

Балансування розподільчої мережі зазвичай досягається шляхом збільшення генерації для задоволення попиту на енергію. Однак такий підхід має негативний вплив як на ефективність, так і на термін служби обладнання.

Цього заходу не завжди достатньо, особливо зі зростанням виробництва відновлюваної енергії.

Підключені до електромережі ESS долають ці обмеження, забезпечуючи важливий буфер, який відокремлює споживання від генерації електроенергії. Це збільшує ефективність системи та скорочує викиди CO₂.

1.2 Складові частини системи зберігання електроенергії

Сьогоднішні рішення для зберігання енергії містять кілька ключових компонентів, які забезпечують функціонування системи.

В основі системи лежить пристрій, який виконує фізичний процес накопичення енергії. У більшості випадків цей процес базується на електричному (конденсатор), електрохімічному (батарея) або механічному (маховик) принципах роботи.

Мережеві ESS вимагають встановлення перетворювача електроенергії, який може бути одиничним або розподіленим. Крім того, для прямого підключення мотор-генератора до мережі може використовуватися регулятор частоти або мотор-генератор.

У разі прямого підключення перетворювачі потужності або не потрібні, або використовуються для генерації напруги збудження. У більшості випадків

між мережею та системою накопичення енергії встановлюється трансформатор.

Стан фізичної системи зберігання енергії контролюється системою управління батареями (BMS) або системою управління конденсаторами (CMS). Зчитуються всі необхідні дані, такі як напруга батареї або літій-іонного конденсатора, значення струму і температури, швидкість і температура маховика та інші параметри.

Електроніка визначає час і ступінь заряджання або розряджання ESS. Залежно від функції, це може бути зроблено локально, на основі локально вимірних даних (струм, напруга, потужність, частота тощо) з мінімальним часом відгуку (менше мілісекунди) або як частина зовнішньої системи управління енергією, підключеної до цифрових протоколів.

Для функціонування таких систем потрібно кілька периферійних компонентів. Залежно від фізичного принципу роботи системи зберігання енергії, до складу можуть входити спеціальні системи охолодження та насоси.

1.3 Споживання енергії зі зсувом у часі

Системи зберігання електроенергії, що використовуються для цього завдання, заряджаються за низькими тарифами на електроенергію та розряджаються, коли ціни на електроенергію високі.

За більш короткий період часу вони можуть виконувати аналогічне завдання, накопичуючи енергію, що генерується з відновлюваних джерел та характеризується нестабільною продуктивністю. Якщо різниця в тарифах на електроенергію є провідним фактором, застосування таких систем є привабливим.

Накопичення енергії в режимі заряджання в моменти пікової потужності для запобігання перевантаженню називається «піковим скиданням» (peak shaving).

Цей підхід може застосовуватися як при генерації пікової електроенергії, так і при піковому споживанні (у випадках неминучого перевантаження).

Системи накопичення електроенергії, що використовуються таким шляхом, можуть бути розташовані на електростанціях, поряд з нею або в інших частинах мережі, у тому числі на джерелі навантаження.

Інший варіант застосування цієї технології - накопичення енергії для відстрочення та зменшення потреби у будівництві нових генеруючих потужностей. Системи зберігання енергії забезпечують підтримку пікової потужності за високого споживання, полегшуючи роботу генераторів.

Потім система перезаряджається під час низького споживання.

1.4 Контроль та регулювання навантаження

Відстеження навантаження – одне із допоміжних завдань для забезпечення стабільності електромережі.

Системи накопичення енергії у разі використовуються для подачі (розряду) чи накопичення (зарядки) електричної енергії за зміни навантаження.

При цьому швидкість зміни навантаження в електромережі повинна знаходитись у певних межах. Те саме стосується коливань виробництва електроенергії, які особливо характерні для відновлюваних джерел.

Переваги використання систем накопичення енергії для контролю навантаження полягають у тому, що вони можуть працювати при частковому навантаженні з відносно невеликим зниженням продуктивності та швидко реагують на зміни навантаження.[10]

Ці технології застосовуються для усунення миттєвих відмінностей між споживанням та виробленням енергії у певній зоні або для компенсації миттєвих відхилень в обміні потоками енергії між двома зонами.

Традиційні електростанції також підходять для цього, оскільки швидкі зміни у виробництві енергії призводять до значного зношування обладнання.

1.5 Використання ESS у передачі та розподілі енергії

Правильно розташовані системи зберігання електроенергії в межах інфраструктури передачі можуть бути енергетичним буфером, зменшуючи навантаження та допомагаючи бізнесу відстрочити дорогі заходи щодо модернізації електромережі.

При піковому споживанні наявні лінії електропередачі можуть не обслуговувати всіх підключених споживачів. Перевантаження мережі може збільшити витрати на електроенергію. Системи накопичення енергії дозволяють компенсувати це.

Установка ESS після перевантаженого вузла може відстрочити необхідність модернізації ліній електропередачі на певний період, наприклад, кілька років. Такі системи можуть використовуватися аналогічним чином у розподільчих мережах, забезпечуючи відмінну альтернативу заміні основних компонентів.[11]

2. ФІЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1 Гідроакumuлюючі електростанції

Гідроакumuлюючі електростанції є комплексом генераторів і насосів або реверсивних гідрогенераторів.

Це гравітаційні системи зберігання електроенергії.

У години нічного мінімуму споживання насоси використовують дешеву електроенергію для перекачування води у верхній резервуар для води. У періоди максимального споживання електроенергії вранці та ввечері вода під дією сили тяжіння опускається до турбіни, і електростанція виробляє дорогу електрику.

Таке маневрене джерело живлення необхідне для оперативного регулювання частоти в енергосистемі. ККД цих електростанцій становить

близько 70-85%, а термін служби – до 40 років. Вони відрізняються високою встановленою потужністю та інерційністю.

Однак широкому впровадженню гідроакумуючих технологій перешкоджають дві основні проблеми.



Перша — необхідність вибору природного рельєфу з великим перепадом висоти.

Друга проблема – необхідність затоплення величезної території, що призводить до зниження ефективності через випаровування води та обертається катастрофічними наслідками для місцевого довкілля. [12]

2.2 Накопичувачі енергії стисненого повітря

Накопичувач енергії стиснутого повітря (CAES) діє за допомогою електричного компресора, який нагнітає повітря під високим тиском у підземні порожнини природного походження або спеціальні резервуари.

Закачування повітря проводиться вночі, у годинник з мінімальним рівнем споживання електроенергії.

У години максимального споживання електроенергії накопичене стиснене повітря використовується для роботи турбогенератора. Технології CAES можуть використовуватися для зберігання великої кількості електроенергії, подібно до гідроакумуючих електростанцій, шляхом нагнітання повітря в природні сховища. Для місцевого використання повітря закачується у штучні резервуари.

Основними перешкодами для використання технології CAES є пошук відповідного географічного розташування сховища та нижча ефективність порівняно з гідроакумуючими електростанціями.

Найновішим варіантом технології CAES є AA-CAES, що включає теплове зберігання електроенергії.[13]

2.3 Маховикові накопичувачі енергії

Зберігання електричної енергії як кінетичної енергії здійснюється з допомогою маховика.

Сучасна конструкція маховикового накопичувача енергії (FES) може включати компоненти маховика, підшипники, електродвигун/генератор і вакуумну ємність. Накопичення та виділення електрики відбувається внаслідок прискорення чи уповільнення маховика.

Кількість накопиченої електроенергії у супермаховику залежить від швидкості обертання останнього.

Сучасні маховики витримують понад 100 циклів розгону та гальмування. Значна увага при будівництві цього обладнання приділяється використанню композиційних матеріалів для підвищення міцності та оптимізації масогабаритних характеристик, а також з питань безпеки.

Маховики широко використовуються для відновлення енергії гальмування поїздів метро, оскільки пристрій знаходиться на підстанції, а не в поїзді. Їх успішно застосовують у аварійних енергосистемах великих відповідальних споживачів, зокрема для подачі енергії під час запуску дизельного двигуна.

Головна перевага FES — майже миттєве поглинання навантаження, причому енергоємність досить низька.

Усі супермаховики можна поділити на низькошвидкісні (до 6000 оборотів на хвилину) і високошвидкісні (до 100000 оборотів на хвилину). Супермаховики мають високий ККД. Останні системи зберігання енергії на

базі FES призначені для оперативного регулювання частоти струму електромережі.[14]

2.4 Електрохімічні системи зберігання енергії

Енергетичний інжиніринг знайшов інші рішення для зберігання електроенергії, простіші з технічної точки зору і менш потужні, ніж звичайні електроакумулюючі електростанції.

Найбільші зусилля сьогодні зосереджені на електрохімічних технологіях, які перетворюють електроенергію на хімічну енергію речовин.

Ці технології засновані на взаємодії двох електродів та спеціальної рідини – електроліту. Останнім часом почастишали розробки не лише з рідким, а й із твердим електролітом. За таким принципом працюють відомі електрохімічні батареї.

Це одна з найбільш широко використовуваних технологій зберігання електроенергії як у промисловості, так і в повсякденному житті. Принцип роботи будь-яких акумуляторних батарей заснований на оборотності хімічних реакцій, що протікають, тому їх теоретично можливо використовувати багаторазово.[15]

Цікавим рішенням є проточні акумуляторні батареї з рідиною (flow battery), які мають збільшену ємність за рахунок використання одразу двох ємностей з електролітами, розділених мембраною.

Енергія виробляється при взаємодії рідких компонентів, які можуть прокачуватись через елемент.

Найбільш поширеними типами акумуляторних батарей у комерційній мережі є свинцево-кислотні, літій-іонні та нікель-кадмієві.

2.4.1 Літій-іонні батареї

Літій-іонні акумулятори містять вуглецевий матеріал як негативний електрод, в який оборотно включаються іони літію.

Оксид кобальту, який також оборотно включаються іони літію, використовується як позитивний електрод.

Принцип дії цієї електрохімічної системи ґрунтується на інтеркаляції — оборотному включенні молекул чи груп між іншими молекулами чи групами. Іони літію входять до складу різних сполук при різних електрохімічних потенціалах.

Транспорт іонів літію між електродами здійснюється за допомогою органічного електроліту, який включає суміш органічних розчинників та солі літію.

Використання органічних електролітів збільшує напругу порівняно із звичайними кислотними та лужними системами.

Якщо акумулятор заряджається, іони літію вставляють у матеріал анода. При розрядці іони літію вивільняються та переносяться на катод, а вивільнені електрони генерують електричний струм у зовнішньому ланцюзі.

Цей тип акумуляторів відрізняється високою ємністю та глибоким циклом зарядки, що досягає 70-80%. В той же час економічна доцільність їх використання залежить від типу електрохімічних систем у катоді та аноді, а також від температури та умов експлуатації. До недоліків можна віднести високу вартість, криву похилу розрядки і відносно високий саморозряд.

Через високу питому енергію виробництво цих систем за останні роки різко збільшилося.[16]

2.4.2 Нікель-іонні батареї

Остання технологія зберігання електричної енергії та третє покоління нікель-іонних акумуляторів – це системи, які використовують ферофосфат літію як катодний матеріал.

Це чудовий матеріал для акумуляторів, який здатний віддавати майже весь накопичений літій, залишаючись стабільним. При цьому зберігається головна властивість літій-іонних акумуляторів – висока питома енергоємність.

Таким чином, літій-іонні батареї третього покоління стали безпечними та високоефективними.

Нікель-кадмієві акумулятори відомі давно. Принцип дії їх ґрунтується на утворенні гідроксиду кадмію на аноді та гідроксиду нікелю на катоді. Як електроліт використовується розчин гідроксиду калію, тому їх ще називають лужними батареями. Вони здатні працювати при низьких температурах, а допустимі струми зарядки та розрядки значно вищі порівняно зі свинцевокислотними батареями.

Ці переваги дозволяють широко використовувати нікель-кадмієві акумулятори у транспортних, авіаційних та стаціонарних системах. У той же час нікель-кадмієві акумулятори мають такий недолік, як ефект «пам'яті». Їхнє енергопоглинання суттєво знижується, коли розрядка або зарядка не завершені. Для заряджання застосовуються спеціальні алгоритми.

Незважаючи на перераховані вище недоліки, нікель-кадмієві батареї вважалися альтернативою свинцево-кислотним батареям в електротранспорті аж до появи більш сучасних і менш вимогливих систем.

Однак вони не змогли повністю замінити свинцево-кислотні батареї, в основному через високу вартість, трудомістку технологію виробництва та дефіцит кадмію та нікелю.[17]

2.5 Електричні технології зберігання електроенергії

Суперконденсатори – це імпульсні пристрої, призначені для компенсації швидких перехідних процесів у різних електричних ланцюгах.

Він відрізняється від різних типів акумуляторних батарей значно меншим енергоспоживанням та підвищеною питомою потужністю (2-10 кВтг/кг).

Процес накопичення енергії в супер конденсаторах здійснюється за рахунок поділу заряду на два електроди з достатньою різницею потенціалів. Оскільки хімічні перетворення речовин не відбуваються під час роботи суперконденсатора (якщо не допускається збільшення напруги заряду), термін служби системи великий і може перевищувати 100 000 циклів заряджання/розряджання.

За своїми основними параметрами суперконденсатори займають проміжне положення між хімічними джерелами живлення та звичайними конденсаторами. З огляду на ці характеристики суперконденсаторів, фахівці у сфері енергетичного інжинірингу рекомендують використовувати їх у гібридних схемах з акумуляторними батареями.

У цьому випадку суперконденсатори реагують на короточасні піки вироблення або споживання електрики, збільшує термін служби акумулятора, скорочує час реакції всієї системи на зовнішні дії.

3. ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Зростання застосування відновлюваних джерел енергії в енергетичному секторі призводить до активізації зусиль з модернізації електромереж, а також до збільшення використання акумуляторних батарей.

Внаслідок розвитку технологій в останні роки встановлені потужності ВДЕ зростають рекордними темпами.

Це особливо актуально для сонячних та вітряних електростанцій.

У наведеній нижче таблиці представлено зміну генерації вітряних та сонячних електростанцій у різних регіонах світу з 2008 по 2018 рік.

Таблиця 1. Сукупна генерація вітряних та сонячних електростанцій у різних регіонах світу з 2008 по 2018 рік.

	Вітряні електростанції, ТВтч на рік		Сонячні електростанції, ТВтч на рік	
	2008	2018	2008	2018
<i>Африка</i>	1,31	14,69	0,08	9,03

<i>близький Схід</i>	0,21	1,06	0,01	6,12
<i>Центральна та Південна Америка</i>	1,67	65,86	0,01	12,43
<i>Північна Америка</i>	59,93	322,53	1,69	102,91
<i>Європа</i>	121,35	404,37	7,50	139,05
<i>Азіатсько-Тихоокеанський регіон</i>	36,09	460,47	3,33	314,21
<i>Разом</i>	220,57	1269,95	12,62	584,63

На відміну від традиційних електростанцій, що працюють на викопному паливі, а також від деяких форм виробництва електроенергії із відновлюваних джерел (наприклад, енергія біомаси, гідроенергія та геотермальна енергія), енергія вітру та сонця може постачатися лише за наявності відновлюваних ресурсів.

Це робить ВЕЕ менш передбачуваними.

Ці зміни необхідно враховувати, щоб максимально ефективно використовувати поновлювані джерела енергії у системі та гарантувати постійну відповідність між генерацією та споживанням.

Модульність - ще одна характеристика деяких видів відновлюваної енергії, особливо фотоелектричної та вітрової.

Це означає, що додаткові енергетичні потужності можуть бути легко додані та введені в експлуатацію на місці. Системи на місці, тобто в будинку, офісній будівлі або іншому комерційному об'єкті, варіюють від малопотужних до великих промислових об'єктів потужністю в мегават.

Їх встановлюють на даху (найчастіше при використанні з побутовою метою) або в безпосередній близькості від торгового або промислового майданчика. Ця так звана розподілена генерація замінює традиційну модель підключення великих об'єктів електропостачання до кінцевого користувача великих відстанях.

Змінний децентралізований характер відновлюваних джерел енергії ускладнює забезпечення надійного електропостачання.

Системні оператори зобов'язані суворо стежити за балансом між електроенергією, що виробляється і споживається, відстежуючи частоту. У Європі цільова частота струму електромережі становить 50 Гц.

Є багато об'єктів, які відіграють важливу роль у забезпеченні гнучкості електроенергетичної системи, включаючи сховища енергії. Їх використання слід оцінювати індивідуально кожної системи, враховуючи особливості різних частин світу. Акумулятори, що перезаряджаються, є поширеним варіантом, але їх використання не підходить для деяких систем ВЕЕ.

Акумулятори, що перезаряджаються, можуть регулювати відхилення частоти в електромережі і сприяти використанню змінних відновлюваних джерел, зберігаючи надмірну енергію для постачання в періоди пікових навантажень.

Існує широкий вибір технологій зберігання енергії для відновлюваних джерел. Найстаріша і найбільш розвинена технологія — так звані гідроелектростанції, що гідроакумулюють, які переважні для більш тривалих коливань навантаження (протягом декількох годин). Ці установки давно довели свої економічні та технічні переваги у всьому світі.

З іншого боку, акумуляторна батарея – це нова технологія на ринку. До інших нових технологій відносяться зберігання енергії за рахунок адіабатичного стиснення повітря, генераторів водню та суперконденсаторів.

Енергія може зберігатись у вигляді тепла з використанням котлів, теплових насосів, льоду або охолодженої води. Такі технології можна застосовувати для комбінованого виробництва тепла та електроенергії для досягнення максимального використання енергії вітру.

Зберігання електроенергії у формі тепла часто є дешевшим варіантом, ніж інші, хоча перетворення тепла в електрику менш ефективне. Тому зазвичай електрика, перетворена на тепло, пізніше використовується як таке для опалення, охолодження або в промислових процесах.

3.1 Інноваційні системи накопичення енергії

Сучасний світ потребує дедалі більше енергії, й у з цим виникає потреба у розвитку нових технологій зберігання енергії. В даний час існує безліч способів зберігання енергії від класичних батарей до інноваційних рішень, таких як рідкі металеві акумулятори або технологія підземного зберігання тепла.

Однією з найбільш перспективних областей є захоплення та використання енергії з відновлюваних джерел, таких як сонячна або вітрова енергія .

Проте основна проблема у тому, що виробництво цих видів електроенергії який завжди відповідає потребам споживачів. Наприклад, сонячні панелі можуть генерувати велику кількість електрики вдень, коли вона не потрібна, а вночі її може не вистачати. Таким чином, для збереження цієї енергії потрібні методи її зберігання.

Серед найперспективніших технологій можна виділити такі:

Літій-іонні батареї. Це найпоширеніший тип батарей, що використовується в багатьох пристроях, від смартфонів до електричних автомобілів. Вони легко перезаряджаються і мають високу енергетичну

густину, що означає, що вони можуть зберігати велику кількість енергії на невеликому просторі.

Водневі паливні елементи. У цій технології водень використовується як основне джерело енергії. Паливні елементи конвертують водень та кисень в електрику та воду. Вони можуть бути використані для зберігання великих обсягів енергії та не виробляють викидів вуглекислого газу.

Рідкі металеві акумулятори. Ця технологія базується на використанні рідких металевих елементів, таких як натрій або калій, розчинені в рідиніелектроліті. Рідина протікає через спеціальний осередок, де відбувається конвертація хімічної енергії в електрику. Ця технологія має високу енергетичну густину і може бути використана для зберігання великих обсягів енергії.

Розподілені системи зберігання енергії. У цій технології сонячна або вітрова енергія використовується для заряджання батарей, які розташовані безпосередньо поряд із джерелом електроенергії. Це дозволяє зберігати частину виробленої енергії дома, що зменшує потреба у додаткових лініях передачі.

Технологія підземного зберігання тепла Підземне зберігання тепла є однією з найстаріших форм акумуляування енергії, оскільки вона була використана ще в давнину для підтримки комфортної температури приміщень. Сьогодні ж це використовується як спосіб збільшення доступності та економічності відновлюваної електроенергії.

Кожна з перерахованих вище технологій має свої переваги та недоліки, а також різний рівень зрілості та застосовності у різних галузях. Подальший розвиток технологій зберігання енергії буде спрямовано на покращення існуючих та створення нових, більш економічних та зручних для використання рішень.

Перспективи використання технологій зберігання енергії у майбутньому

Сучасний світ неможливо уявити без енергії, що використовується для освітлення, обігріву приміщень та промисловості. Однак, у зв'язку зі

зростанням населення та збільшенням споживання енергії, стає все більш актуальним питання її збереження та зберігання. Технології зберігання енергії відіграють важливу роль у цьому процесі.

Природні ресурси обмежені і до того ж не завжди доступні для використання. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні нових методів зберігання енергії. На даний момент вже існує кілька технологій зберігання енергії: батареї, гідроакумулятори, гравітаційні системи та інші.

Однією з найперспективніших технологій є створення батарей нового покоління. Ці батареї відрізняються від класичних літій-іонних батарей великою ємністю завдяки використанню нових матеріалів. Наприклад, один із проектів – Flow Battery – використовує два розчини на основі заліза та ванадію для зберігання електричної енергії. Ця технологія дозволяє генерувати електроенергію за допомогою відновлюваних джерел, таких як сонячні та вітрові установки.

Ще однією перспективною технологією є створення гідроакумуляторів. Вони використовуються для зберігання електричної енергії, яка може бути використана під час пікових навантажень на системи споживання. Гідроакумулятори працюють за принципом підйому води на висоту та подальшого опускання через турбіну, що призводить до генерації електричної енергії.

Крім того, є гравітаційні системи зберігання енергії. Вони ґрунтуються на використанні високих будівельних споруд, таких як вежі або житлові будинки. У разі потенційна енергія спостерігається з допомогою відмінностей у висоті між двома об'єктами. Це дозволяє зберігати велику кількість енергії.

Технології зберігання енергії мають величезний потенціал для застосування у майбутньому. Вони можуть бути використані для забезпечення незалежності від класичних джерел енергії, таких як газ та нафта. Також вони можуть використовуватися для збереження енергії в періоди пікових навантажень на системи споживання.

Однак, як і будь-яка інша технологія, вона має недоліки. Наприклад, батареї нового покоління є дорогими та не завжди доступними широкому колу користувачів. Гідроакумулятори вимагають великих витрат на будівництво відповідних споруд, а гравітаційні системи зберігання енергії значного простору.

Проте розвиток технологій зберігання енергії продовжується. Використання відновлюваних джерел енергії стає все більш поширеним, а це робить технології зберігання ще більш актуальними. У майбутньому ми можемо очікувати появи нових, доступніших і зручніших форм зберігання енергії.

Технології зберігання енергії – це не просто інноваційний спосіб збереження енергії, а й можливість створення нових сфер економіки та розвитку міської інфраструктури. У майбутньому ми можемо очікувати більшого впровадження даних технологій та відповідних сервісів, що дозволить скорочувати витрати на електричну енергію та забезпечити стійкіше зростання економіки.

3.2 Гнучкі суперконденсатори на основі бананової кірки та органічних полімерів для енергетики

Суперконденсатори – це спеціально розроблені конденсатори, які мають величезну ємність та щільність енергії порівняно із звичайними конденсаторами. Вони мають здатність швидкого накопичення і високу щільність енергії, ніж конденсатори. Гнучкі суперконденсатори широко популярні через їх перспективний потенціал в електроніці, вони переносні.

На підставі принципу роботи та накопичення енергії суперконденсатори діляться на три основні групи :

- Електричні двошарові конденсатори (EDLC) ;
- Псевдоконденсатори ;
- Гібридні суперконденсатори.

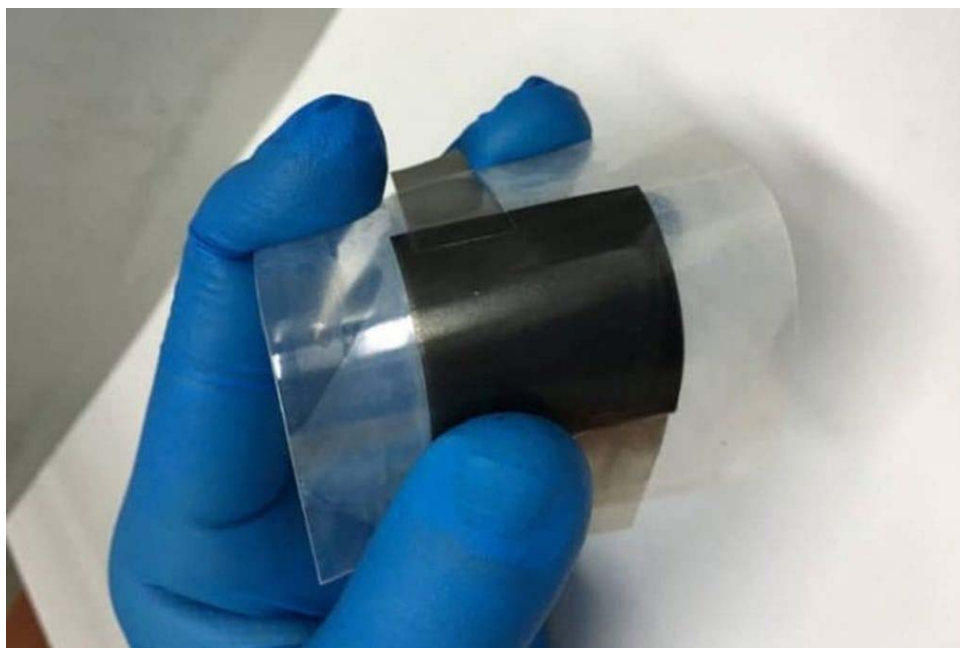


Рисунок 2. Гнучкий суперконденсатор.

Електричні двошарові конденсатори (EDLC) є типами конденсаторів, виготовлених з трьох матеріалів: так званих електродів, електролітів і сепаратора.

Це портативні, дуже ефективні та потужні накопичувачі енергії. EDLC зберігають енергію за допомогою нефарадеевського принципу або електростатично, що має на увазі відсутність передачі заряду між електролітом та електродом.

Псевдоконденсатори, на відміну EDLC, зберігають заряд шляхом фарадичного перенесення заряду між електродом і електролітом.

У псевдоконденсаторах використовуються різні провідні полімери, такі як поліпіррол (PPy) і поліанілін (PANI), полі - 3,4-етилendioксттіофн полістиролсульфонат (PEDOT:PSS).

Через особливості заряду та розряду, а також реакції відновлення/окислення, що відбувається під час обробки, псевдоконденсаторам не вистачає стабільності. Стійкість до довкілля дуже важлива таких типів матеріалів.

Принцип гібридних суперконденсаторів для зберігання енергії ґрунтується на комбінації EDLC та псевдоконденсаторів. Обмеження обох

типів суперконденсаторів усуваються у гібридній системі та демонструють кращі електрохімічні характеристики.

На відміну від звичайних конденсаторів, вони можуть заряджатися практично миттєво і при необхідності розряджати величезну кількість енергії, що робить суперконденсатор ідеальною заміною вже застарілої акумуляторної технології. Крім того, суперконденсатори мають набагато більший термін служби, ніж існуючі літій-іонні акумулятори.

Суперконденсатори можуть витримувати набагато більше циклів зарядки і розрядки, ніж звичайні батареї, що перезаряджаються. Інші переваги суперконденсаторів включають більшу питому потужність, більш високу пікову потужність, менший розмір і нижчий послідовний еквівалентний опір (ESR).

Гнучкі суперконденсатори демонструють великий потенціал для застосування в носійній, мініатюрній, портативній, великомасштабній прозорій та гнучкій побутовій електроніці завдяки їх суттєвим невід'ємним перевагам, таким як гнучкість, мала вага, низька вартість та екологічність у порівнянні з наявними накопичувачами енергії.[18]

3.2.1 Суперконденсатори на основі карбонізованої бананової шкірки

Бананова шкірка зазвичай є відходами, які зазвичай викидаються після вживання їстівних елементів. Це викликає тимчасове забруднення довкілля.

З іншого боку, виснаження запасів викопного палива поряд із динамічною зміною клімату потребує додаткової експлуатації альтернативних джерел енергії. Крім того, нещодавній сплеск інтересу до гнучкої та легкої електроніки з високою міцністю підштовхує більшість галузей до впровадження найкращих альтернатив відновлюваним джерелам енергії.

Серед гнучких та легких накопичувачів енергії широко досліджуються суперконденсатори. Вони мають високу питому потужність та високу швидкість заряду-розряду, крім того, вони мають тривалий життєвий цикл по відношенню до навколишнього середовища.

Було доведено, що матеріали з пористою структурою на основі вуглецю перспективні як гнучкі, легкі та міцні суперконденсатори.

Пористі суперконденсатори на основі обвугленої бананової шкірки є в останні роки одним із перспективних напрямів досліджень. Бананову шкірку можна приготувати для можливого суперконденсатора різними способами.



Рисунок 3. Виготовлення суперконденсатора.

Рисунок 3, що демонструє процес виготовлення гнучких суперконденсаторів, починаючи з підготовки сировини, карбонізації та збирання суперконденсатора.

Бананова шкірка - чудовий потенціал для виробництва суперконденсаторів. Різні методи карбонізації використовувалися для поліпшення характеристик суперконденсаторів незалежно від призначення та досягнення високих значень ємності.

Карбонізація біомаси призвела до отримання вуглецевих матеріалів з пористою структурою, і, отже, вуглецеві матеріали використовувалися для зберігання енергії як суперконденсатори.

Нещодавні розробки в галузі виробництва гнучких суперконденсаторів показали, що бананова шкірка є можливим методом виробництва міцних, гнучких і легких пристроїв зберігання енергії.

Суперконденсатори на основі бананової шкірки досягли високого значення ємності завдяки здатності втілювати велику площу поверхні, яка, своєю чергою, може охоплювати високопористі структури.

Це, швидше за все, доводить, що вуглецеві матеріали на основі бананової шкірки продовжуватимуть прагнути до того, щоб бути одним із перспективних

застосувань для виробництва суперконденсаторів, оскільки досягається оптимізація з точки зору типу активації, високої пористості та гнучкості.

Бананова шкірка використовувалася як електрод суперконденсатора після карбонізації. Її можна карбонізувати за допомогою різних механізмів, таких як хімічна активація, гідротермічні методи, біологічна ферментація та піроліз.

Хімічна активація може збільшити площу поверхні карбонізованої бананової шкірки, впливаючи на структуру активованого вугілля. Активація допомагає збільшити співвідношення площі поверхні до об'єму та посилити абсорбцію.

Більш того, суперконденсатор для хімічно активованої бананової шкірки досяг виняткової стійкості при збереженні ємності приблизно 97% протягом 5000 циклів.

Вугілля із бананової шкірки забезпечує максимальну ефективність при активації хімічними речовинами. Крім того, хімічне осадження допомогло покращити суперемнісні характеристики карбонізованих суперконденсаторів, а отже, хімічна активація пропонується для виробництва довговічних суперконденсаторів у майбутньому.

3.2.2 Найменший у світі літій-іонний акумулятор

Останнім часом з'являється все більше і більше мініатюрних електронних пристроїв, прикладом чого можуть бути різні медичні імпланти, біологічні датчики і пристрої стеження [3]. Але, якщо власне електронні частини таких пристроїв піддаються мініатюризації без особливих труднощів, то елементи живлення, що забезпечують електроніку енергією, залишаються ще досить великими і важкими, на їх частку припадає основна частина ваги і розмірів мініатюрних електронних пристроїв. Сформована ситуація може змінитися в найближчому майбутньому завдяки зусиллям вчених із Гарвардського університету і університету Іллінойсу, які створили найменші в світі функціонування літійно-іонні акумуляторні батареї, виготовлені за допомогою технології тривимірного нанодруку, розміри яких не перевищують розмірів

крупинки піску (рисунок 4). Елементи мініатюрних акумуляторних батарей виготовлені з хімічно активних матеріалів, що вичавлюються через «носик» тривимірного нанопринтера, діаметр якого менше діаметра людського волосся. Матеріал, з якого виготовлені аноди, містить наночастинки з літійно-металевого оксиду, а матеріал, з якого виготовлені катоди акумуляторної батареї, містить наночастинки іншого складу.

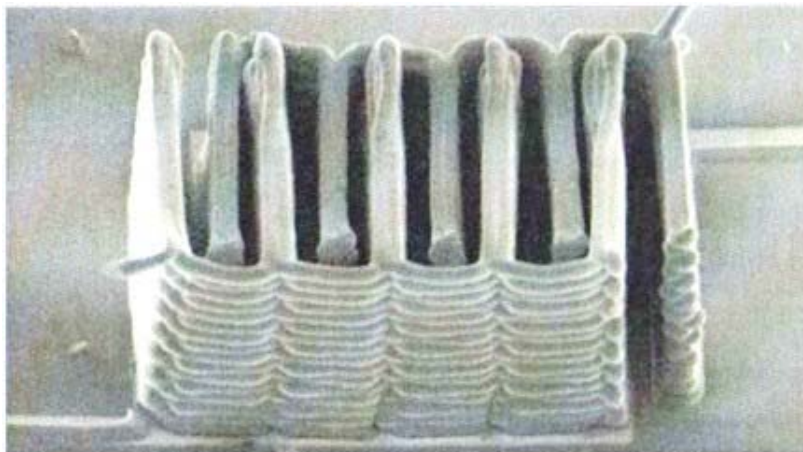


Рисунок 4 - Структура мікробатареї

Компоненти акумуляторної батареї створюються за допомогою нанесення шарів швидкого затвердження матеріалів, які формують щось на зразок двох гребінок (рисунок 5), що входять один в один своїми зубцями, але не контактують один із одним. Готова конструкція розміщується в захисну капсулу з полімерного матеріалу, і внутрішня порожнина заповнюється розчином рідкого електроліту. В результаті виходить повністю працездатна мікроскопічна акумуляторна батарея, що володіє досить високими електричними показниками.

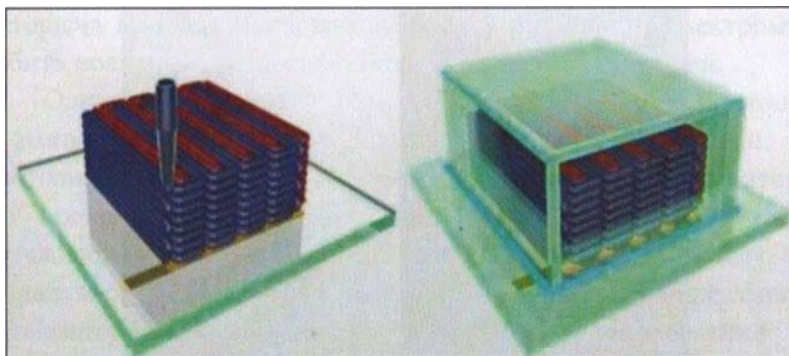


Рисунок 5 - Створення мікробатареї

Провівши випробування створених мікробатарей, вчені визначили їх ємність, час повного заряду, розряду і інші характеристики, що мають відношення до здатності зберігання енергії. В результаті цих досліджень вчені прийшли до висновку про те, що електрохімічна робота, виконувана мікробатареею, порівнянна з роботою, що виконується кращими зразками комерційних літійно-іонних акумуляторних батарей з погляду максимальної потужності, що віддається, щільності зберігання енергії, надійності і кількості циклів заряду-розряду.

3.2.3 Високоєфективна цинк-повітряна акумуляторна батарея

Вчені зі Стенфордського університету розробили новий тип високоєфективної цинк-повітряної акумуляторної батареї (рисунок 6). Інтенсивні каталітичні процеси, що відбуваються всередині цієї акумуляторної батареї, дають їй такі електричні характеристики і показники надійності, які в багато разів перевищують аналогічні показники акумуляторних батарей, створених на базі більш дорогих платинових і іридієвих каталізаторів. Розроблені дослідниками технології, опис яких було наведено в онлайн-варіанті журналу Nature Communications, можуть лягти в основу створення нових недорогих пристроїв акумуляування енергії, які стануть альтернативою широко використовуваних наразі літійно-іонних акумуляторних батарей.

Метало повітряні акумуляторні батареї є одним із основних недорогих альтернативних варіантів, який в майбутньому може знайти досить широке застосування.

Основою більшості сучасних технологій акумуляування енергії є літійноіонні акумулятори, незважаючи на обмежене значення показника щільності зберігання енергії, досить високу вартість [4].

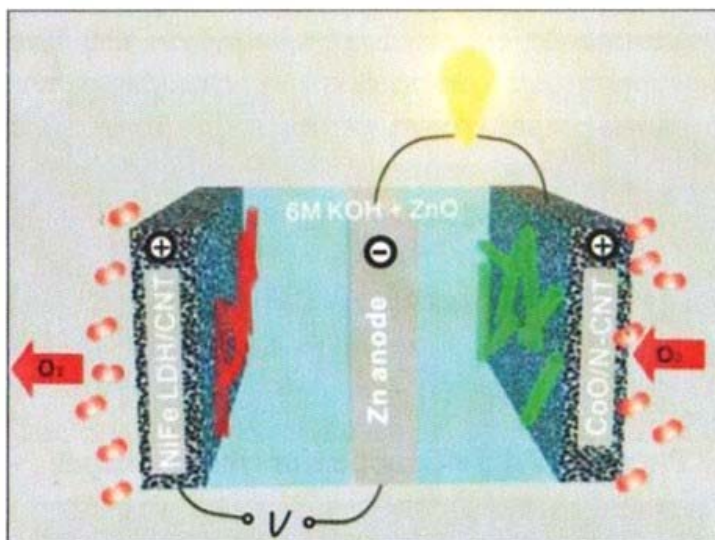


Рисунок 6 - Структура цинко-повітряного акумулятора. Метало повітряні акумуляторні батареї є одним із основних недорогих альтернативних варіантів, який в майбутньому може знайти досить широке застосування.

Основою більшості сучасних технологій акумулявання енергії є літійонні акумулятори, незважаючи на обмежене значення показника щільності зберігання енергії, досить високу вартість і проблеми з безпекою їх експлуатації. Метало повітряні акумуляторні батареї пропонують більш високі показники енергетичної щільності, ніж традиційні кислотні і літій-іонні акумулятори за рахунок того, що велика частина енергії зберігається за межами акумулятора у вигляді кисню, що знаходиться в атмосфері. Самим життєздатним варіантом метало повітряних батареї з економічної і технологічної точки зору є цинк-повітряні батареї, в яких використовуються досить поширені на планеті хімічні речовини.

Цинк-повітряні акумуляторні батареї працюють за рахунок реакції металевого цинку і атмосферного кисню, що проходить у середовищі електроліту батареї. У результаті цієї реакції утворюється оксид цинку і проводиться електрична енергія. Під час заряду таких акумуляторних батарей під впливом електричного струму відбувається зворотний процес, цинк знову відновлюється до металевого стану, а вільний кисень виділяється в атмосферу. Цинк-повітряні акумуляторні батареї привабливі не тільки через велику кількість і низьку ціну металевого цинку. Негорюча природа

використовуваних у них водних електролітів, робить практично безпечною експлуатацію такої батареї.

Однак у розробленій технології є і свої мінуси, які полягають у млявому перебігу окислювальних і відновних реакцій, що протікають на повітряному електроді нової акумуляторної батареї, що проявляється у вигляді тривалого часу зарядки і малої потужності, яку може віддати акумулятор за одиницю часу. Але нещодавно група професора Дея розробила високоефективний каталізатор електрохімічних процесів, виготовлений з наночастинок оксиду металу, що не входить у розряд дорогих і дорогоцінних металів, і вуглецевих нанотрубок. Використання такого каталізатора дозволило у багато разів збільшити швидкість хімічних реакцій, яка навіть перевищила швидкість подібних реакцій, що відбуваються в присутності платинового каталізатора.

3.2.5 «Заморожене повітря» - екологічно чисте сховище для енергії

Ні для кого не є секретом, що в навколишньому світі є достатньо енергії вітру, океанських хвиль і сонячного світла для того, щоб повністю забезпечити всі енергетичні потреби людства. Але в цій справі є одна «заковика», вітер дме, океан хвилюється і Сонце висвітлює земну поверхню не завжди з необхідною інтенсивністю, коли людям потрібна велика кількість енергії. І однією з найважливіших частин екологічно чистої енергетики є аж ніяк не саме отримання енергії, а її збереження для подальшого використання в ті моменти, коли вона буде потрібна.

Дослідники з різних наукових установ у всьому світі активно працюють над проблемою зберігання енергії в більших кількостях. Але, як правило, всі розроблені технології є тим чи іншим, нехай самим екзотичним видом акумуляторних батарей. А акумуляторні батареї самі по собі ніяк не можна віднести до екологічно чистого виду виробів. Їх виробництво завдає відчутної шкоди навколишньому середовищу, а після виходу їх з ладу потрібна їх переробка або поховання, що теж не є «подарунком» для природи та екології.

Але деякі з дослідників займаються технологіями зберігання енергії, які сміливо можна віднести до розряду екологічно чистих технологій. Наприклад, британська компанія Highview Power Storage створила енергетичну установку (рис. 7), яка запасає енергію у вигляді «замороженого повітря». Відомо, що повітря на 78% складається з азоту, газу, який стає рідким за температури - 196 °С.



Рисунок 7 - Установка зберігання енергії компанії Highview Power Storage

Технологія компанії Highview Power Storage полягає в охолодженні повітря, очищення його від водяної пари, вуглекислого газу та подальшого охолодження до отримання рідкого азоту. Природно, всі ці операції проводяться за рахунок енергії з поновлюваних джерел, а отриманий рідкий азот зберігається в величезному термосі, більш високотехнологічному варіанті судини Дьюара.

У той момент, коли з'являється потреба в збереженні енергії, рідкий азот починає підігріватися до температури навколишнього середовища.

Переходячи в газоподібну фазу, азот збільшується в об'ємі в 700 разів, виробляючи тиск, за рахунок якого обертається турбіна з електрогенератором, що виробляють електроенергію.

Наразі в передмісті Лондона створена і успішно функціонує експериментальна дослідна установка зберігання енергії на рідкому азоті. А компанія High Power Storage вже підписала контракт із однією з німецьких компаній, в рамках якого такі установки, тільки більшого масштабу, будуть зведені в деяких африканських містах.

3.2.6 Акумуляторна батарея у вигляді дроту

LG Chem, одна з провідних хімічних компаній і частина міжнародної корпорації LG, розробила абсолютно новий тип літій-іонного акумулятора. Батарея має форму кабелю діаметром кілька міліметрів і є настільки гнучкою, що її можна зав'язати вузлом, носити як браслет або навіть вплести в тканину [331].

За хімічним складом ця нова батарея не відрізняється від звичайних літій-іонних акумуляторів. Батарея має анод, катод, виготовлений з літійкобальтового оксиду, і електроліт. Проте всі компоненти кабелю батареї розташовані не плоскими шарами, а у вигляді гнучких спіралей (Рис. 8).

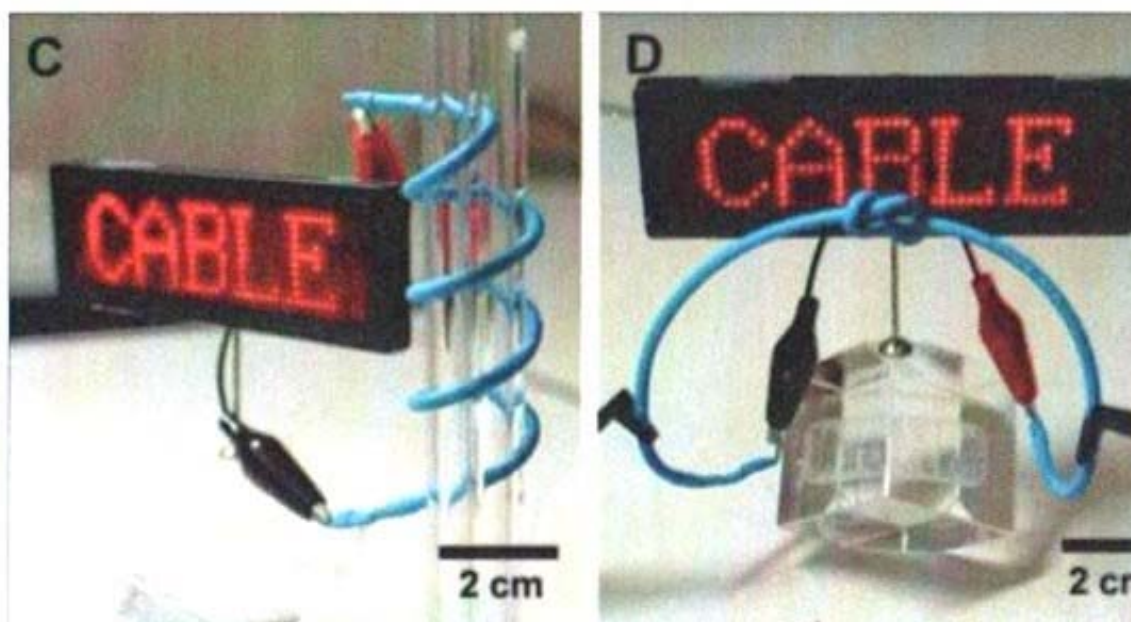


Рисунок 8 - Акумуляторна батарея у вигляді дроту

Основою батареї LG Chemical є тонкий мідний дріт, покритий тонким шаром олов'яно-нікелевого сплаву (Рисунок 9), який використовується як позитивний електрод. Ці дроти сплетені в товсті волокна, які обертаються

навколо стрижня діаметром 1,5 мм. Коли стрижень знімають, залишається досить міцна і гнучка спіраль, яка слугуватиме майбутнім анодом. На спіраль намотують алюмінієву стрічку і всю конструкцію занурюють у рідкий розчин літій-кобальтового оксиду.

Потім конструкцію загортають у захисний чохол і заливають рідким електролітом з центральної порожнини, щоб завершити формування батареї.

Гнучкі батареї виготовлялися і раніше, але всі вони були звичайними плоскими батареями, виготовленими з гнучких полімерних матеріалів. Крім того, що такі батареї мають низьку щільність зберігання енергії, їх неможливо зігнути так само, як можна зігнути лист пластику, не порушивши його цілісності; батарея кабельного типу LG Chemical має таку ж робочу напругу і щільність зберігання енергії, як і звичайна літій-іонна батарея, але є тоншою і більш гнучкою.

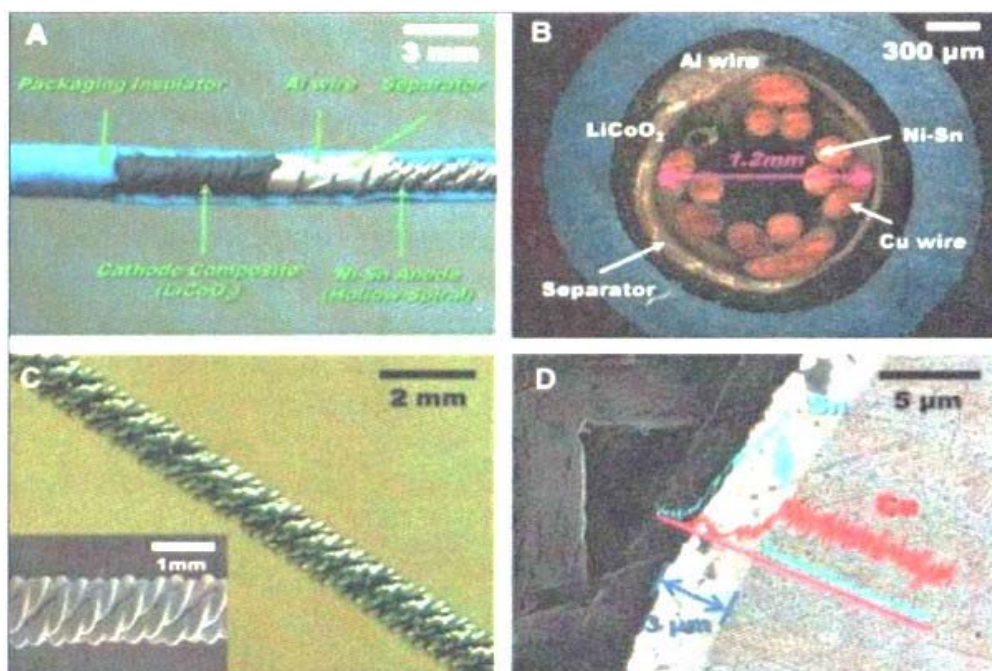


Рисунок 9 - Кабельна акумуляторна батарея

Випробувавши кабельну батарею, експерти LG Chemical підтвердили, що кабельна батарея довжиною 25 см здатна безперервно жити працюючий плеєр протягом 10 годин.

3.2.6 Фарба», яка перетворює будь-яку поверхню в акумуляторну

батарею

Американські вчені розробили нову високотехнологічну фарбу, під час нанесення на будь-яку поверхню можна отримати акумуляторну батарею, що володіє характеристиками, схожими з характеристиками сучасних акумуляторів. Сучасні акумулятори, виготовлені за літій-іонними або літійполімерними технологіями вже мають досить компактні розміри, але їх упаковка завжди має прямокутну і циліндричну форму, що істотно обмежує можливості розробників електронної апаратури і пристроїв [3].

Дослідники з Університету Райса в Х'юстоні, штат Техас, розробили технологію, за якою кожна комірка звичайної батареї "подрібнюється", а отриманий порошок змішується з рідиною, яку можна наносити шарами на будь-яку поверхню, як аерозольну фарбу.

Нові акумуляторні батареї (рис. 10) виготовляються шляхом послідовного нанесення шарів на поверхню. Кожен шар складається з двох електродів - позитивного і негативного, які є будівельними блоками звичайних батарей, і полімерного діелектрика, що розділяє електроди. Дослідники виявили, що батареї, нанесені на поверхню вручну, мали майже ідентичні властивості і відрізнялися одна від одної менш ніж на 10 відсотків.

Випробування показали, що акумулятори можуть витримати 60 циклів зарядки і розряду практично без втрат електричної ємності та інших характеристик.

Як згадувалося вище, нова батарея складається з декількох шарів, які виконують різні функції (рис. 10). Перший шар складається з вуглецевих нанотрубок і частинок сажі, змішаних з органічним розчинником пметилпіроліденом. Цей шар діє як провідна підкладка і спочатку наноситься на провідну або діелектричну поверхню.



Рисунок 10 - Акумуляторна батарея

Другий шар - це позитивний електрод батареї. "Фарба" для цього шару складається з літій-кобальтового оксиду і надтонкого графітового порошкоподібного вуглецю. Третій шар - полімерний діелектрик, який являє собою суміш гуми Kynarflex, полімеру PMMA і частинок кремнезему в етанолі. Четвертий шар - анод, що складається з суміші оксиду літію і титану, і останній шар - ще один провідний шар провідної мідної фарби, розчиненої в етанолі.

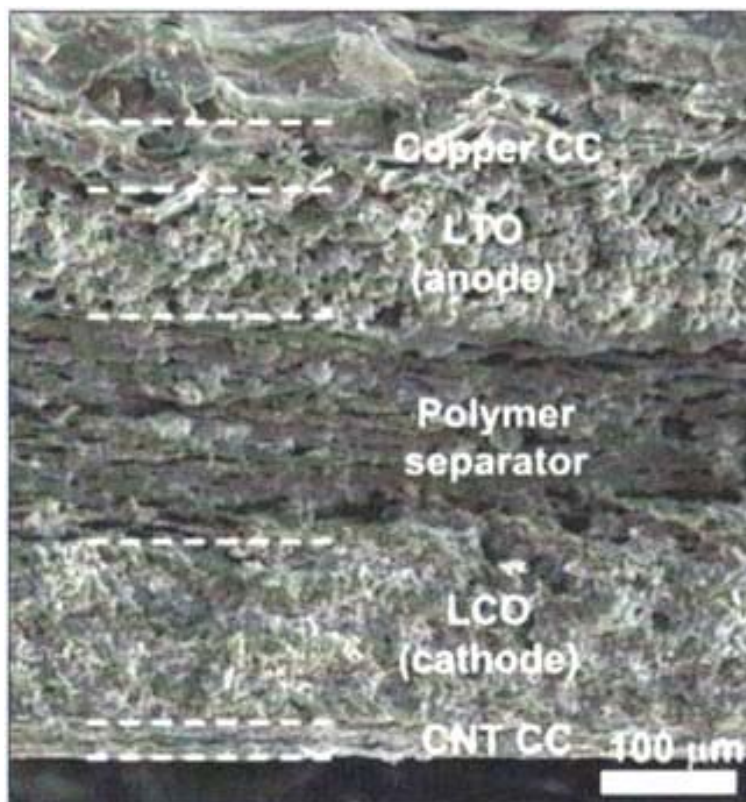


Рисунок 11 - Структура шарів акумулятора

Шар акумулятора наноситься на кераміку, скло або метал, поверхня якого може мати будь-яку складну форму. Єдиною проблемою, з якою стикаються при виробництві таких батарей, є нанесення шару рідкого електроліту, який необхідно наносити сухим способом у безкисневому середовищі. Однак зараз дослідники активно шукають нові компоненти, які можна використовувати для нанесення шарів батареї в польових умовах, що зробить процес виробництва більш універсальним і комерційно вигідним.

Вважається, що така технологія може бути об'єднана з технологією сонячних батарей, завдяки чого вони можуть самостійно виробляти електроенергію в будь-якому місці і зберігати її протягом тривалого періоду часу.

3.3 Графенові суперконденсатори на заміну хімічним акумуляторним батареям

Електроніка, чиста енергетика та електромобілі розвиваються настільки стрімко, що технології зберігання енергії, засновані на електрохімічних реакціях, безнадійно відстають. Тому на зміну звичайним хімічним батареям мають прийти більш досконалі методи накопичення та зберігання електричної енергії. [Однією з найбільш перспективних технологій є технологія суперконденсаторів. Суперконденсатори - це накопичувачі електричної енергії великої ємності, які можуть дуже швидко заряджати і віддавати накопичену енергію, а використання графену в суперконденсаторах обіцяє простий, дешевий і екологічно чистий спосіб виробництва в порівнянні з виробництвом звичайних літій-іонних батарей.

Група вчених, серед яких Вероніка Стронг, Сергій Дубін і Річард Б. Кейн, опублікували в журналі Science опис своєї методики виробництва тонких, гнучких суперконденсаторів на основі графену (рисунок 14). Для виготовлення цього конденсатора дослідники використали звичайнісінький DVD-диск. Поверхня диска була покрита плівкою оксиду графіту, яку можна отримати дуже простим способом. Потім диск з плівкою вставили в DVDпривід, який підтримує функцію LightScribe.



Рисунок 12 - Зростання ринку суперконденсаторів [3]

Світло від керуючого лазера перетворювало оксид графіту (GO) на графенову плівку високої чистоти та заданої форми і розміру. Потім отриману графенову плівку накладали з обох боків гнучкої підкладки в якості діелектричного шару. Покривши отриманий "сендвіч" невеликою кількістю електроліту і покривши обидві сторони захисним шаром пластику, дослідники отримали суперконденсатор, який за ємністю, реактивною потужністю і струмом витоку в кілька разів перевершував аналогічні властивості літійонних батарей аналогічних розмірів.

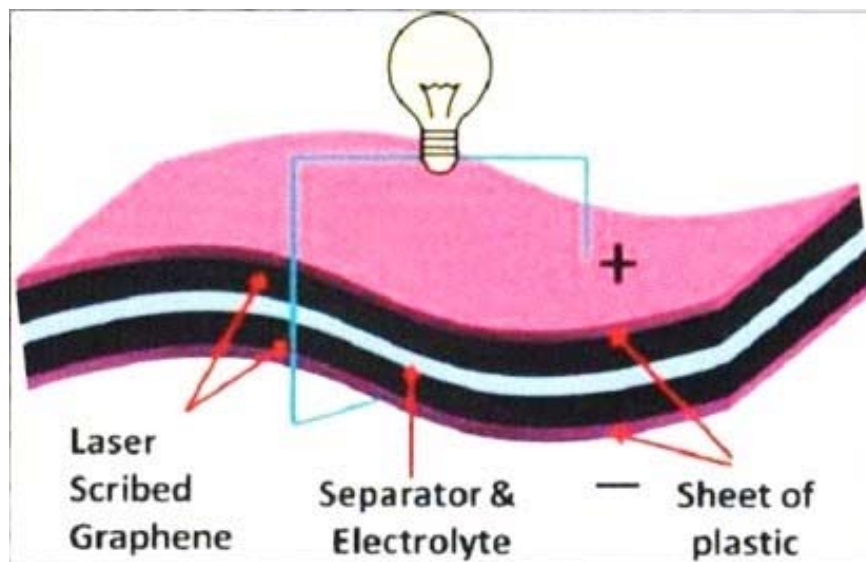


Рисунок 13 - Графеновий суперконденсатор

Отримані конденсатори є надзвичайно гнучкими та довговічними завдяки міцності та гнучкості графенової плівки. Ця властивість використана для виробництва багатшарових суперконденсаторів високої ємності будьякої

форми, які можна використовувати як джерело енергії для електромобілів, мобільних телефонів, ноутбуків і планшетних комп'ютерів.

У 2012 році професор Річард Канер та аспірант Махер Ель-Каді повідомили про розроблені ними суперконденсатори на основі графенової плівки. Наразі дослідникам вдалося розробити процес для збільшення виробництва таких суперконденсаторів, що, як вони стверджують, може призвести до створення значно дешевших і практичніших суперконденсаторів.

Дослідники додали, що, незважаючи на свою "хімічну природу", нові мікро-суперконденсатори демонструють чудову стабільність протягом великої кількості циклів заряду і розряду, чого не можна сказати про звичайні хімічні батареї. Ці чудові властивості суперконденсаторів дозволяють серйозно розглядати їх як джерело живлення для таких важливих електронних пристроїв, як медичні імпланти, пристрої активної радіочастотної ідентифікації та різноманітні мікросенсори, тобто пристроїв, де заміна батареї просто неможлива або пов'язана з певними труднощами.

Дослідники вважають, що одне з основних застосувань нових графенових суперконденсаторів - це сонячні батареї. Розмістивши такий суперконденсатор за сонячним елементом, можна було б отримати пристрій, який одночасно генерує і зберігає електроенергію, а вночі вивільняє накопичену в суперконденсаторі енергію. Вчені з Університету Райса в Х'юстоні розробили новий тип твердотілого конденсатора великої ємності (рис. 16) і, використовуючи нанотехнології, зуміли обійти всі вищезгадані обмеження [7].

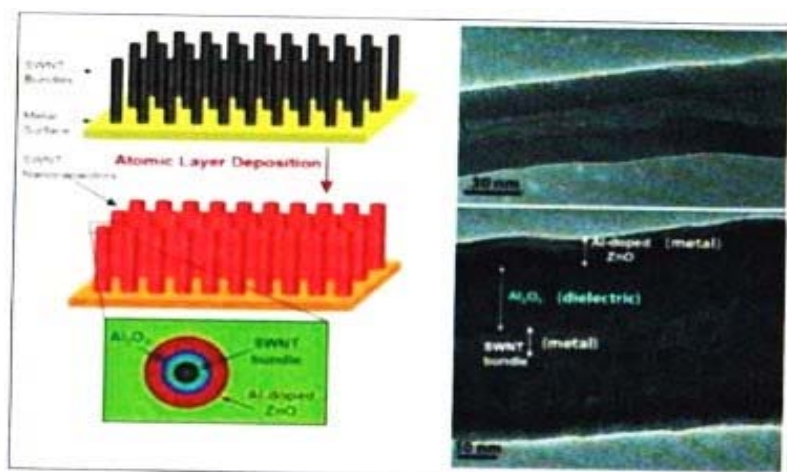


Рисунок 14 - Структура твердотільного суперконденсатора

В основі нового твердотільного конденсатора лежить "пучок" вуглецевих нанотрубок діаметром 15-20 нанометрів і довжиною 50 мікрон. Цей "ліс" нанотрубок (рис. 17) сконструйований таким чином, щоб максимізувати ефективну площу поверхні, яка визначає ємність конденсатора.

Кожна "пачка" нанотрубок прикріплена до металевої поверхні, що складається з тонких шарів золота і титану. Використання цих двох металів забезпечує високу електропровідність електрода і міцний механічний зв'язок між нанотрубками та електродом. Поверх пучків нанотрубок був нанесений шар оксиду алюмінію, який став діелектричним шаром конденсатора, а поверх нього - шар оксиду цинку, який став другим електродом конденсатора. Нарешті, поверх оксиду цинку був нанесений шар срібла, щоб збільшити електропровідність другого електрода.

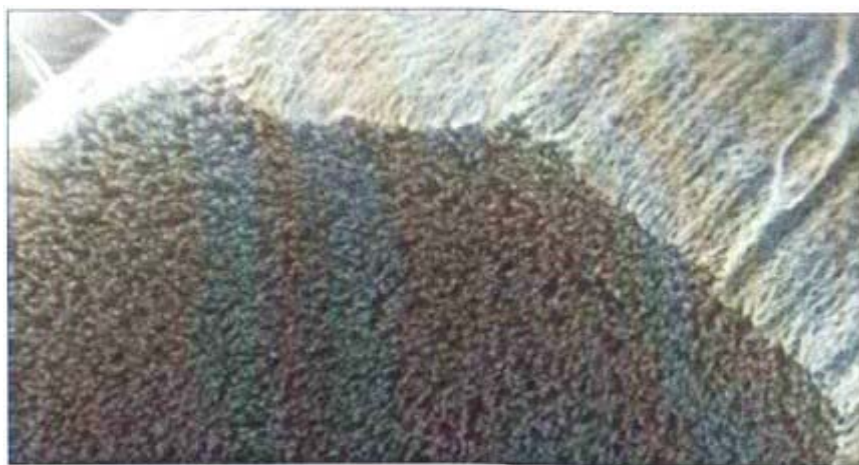


Рисунок 15 - Вуглецеві нанотрубки

Твердотільні суперконденсатори Університету Райса виявилися абсолютно нечутливими до впливу високих або низьких температур і можуть витримувати відносно високочастотні процеси заряду і розряду. Процес виробництва надзвичайно простий і масштабований, що дозволяє виготовляти конденсатори практично будь-якого розміру і форми. Ці фактори роблять такі конденсатори ідеальним рішенням для використання в електромобілях, де вони можуть бути розміщені на внутрішній поверхні кузова транспортного

засобу. Досить міцний матеріал таких конденсаторів також може бути використаний для конструктивних елементів мікророботів, які самі є джерелами живлення.[19]

4. ПРОПОЗИЦІЇ ЩО ДО СТВОРЕННЯ КАМУФЛЬОВАНОГО ОБМУНДИРУВАННЯ ВІЙСЬКОВОГО.

На даний час Україна веде визвольну війну проти країни-загарбника росії. Дуже багато використовується технічних новацій направлених на знищення озброєння та живої сили противника. Високоточні снаряди, далекобійні ракети і крилаті ракети, розвідувальні та ударні БПЛА, сучасні засоби радіоелектронної і протиповітряної боротьби, броньована техніка, авіація – це не весь перелік сучасного озброєння. І все це направлено на основу збройних сил - людину.

Камуфльовані обмундирування солдатів, вже сьогодні, можна збирати і акумулювати сонячну енергію протягом світлого часу доби і енергію тепла тіла самих солдатів у темний час, а також використовувати п'єзогенератори перетворюючи механічну енергію в електричну.

Енергетична система зможе забезпечити безперервний потік енергії, необхідний для роботи систем радіозв'язку, GPS і систем озброєння, при цьому її вага буде в два рази менше, ніж вага набору акумуляторної батареї, які використовуються нині.

Вчені з Центру фізичних досліджень і розробки в Великобританії розробили новий тип тканини, з якої можна шити солдатську уніформу (рис. 16). У структуру тканини інтегрована напівпровідникова структура, що містить в собі вискоефективні фотоелементи і термоелектричні елементи. Оскільки така тканина поглинає тепло, вона буде призначатися як «плащневидимка», який приховає солдатів від систем теплового інфрачервоного виявлення.



Рисунок 16 - Уніформа «Сонячний солдат»

Завдяки сонячній батареї, термоелектричним та п'єзо генераторам, (рис.17) інноваційним технологіям накопиченням електрики (показано вище у роботі) системи становитимуть всього близько 10-15% від 45-65 кг вантажу, який несе на собі сучасний піхотинець. Таке скорочення навантаження дозволить солдату відчувати себе набагато вільніше, стати більш мобільним або взяти на плечі додатковий корисний вантаж у разі потреби.



Рисунок 17 – Розташування елементів генерування та накопичення енергії

На рисунку 17 схематично показано розташування елементів генерування та накопичення енергії, які будуть вмонтовані до одягу військового. Завдяки сучасній технології амуніція військовослужбовця отримає ряд переваг:

- Зменшення носимого вантажу на 10-115%.
- Автономність від зовнішньої електрики, необхідної для роботи систем радіозв'язку, GPS і систем озброєння та інше.
- Отримання додаткового захисту від теплопеленгаторів (плащневидимка).
- При потребі обігрів тіла.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході написання кваліфікаційної роботи та проведення дослідження було досягнуто наступних висновків:

- Досліджено інноваційні технології елементів та пристроїв накопичувальної енергетики, проаналізовано основні особливості та параметри, принципи роботи, що характеризують такі системи в Україні та країнах світу.
- Розглянуто технологію застосування процесів інноваційних технологій елементів та пристроїв для накопичення та зберігання електроенергії в енергетиці.
- Наведені приклади впровадження сучасних інноваційних технологій елементів та пристроїв для накопичення та зберігання електроенергії в енергетиці, що знайшли застосування в Україні.
- Подана пропозиція щодо створення інноваційного камуфляжного обмундирування військового.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Статистичний щорічник України за 2021 рік. / за ред. І.Є.Вернера.
“Державна служба статистики України.” Київ, 2022. 447 с.
2. <https://ua.dsisolar.com/info/electricity-and-energy-storage-80681872.html> 03.11.2023
3. <https://avenston.com/articles/energy-storage/03.11.2023>
4. <https://pipl.ua/article/sistema-nakopichennya-energiyi-scho-ce-ichomu-potribna-vam-ta-vashomu-budinku> 03.11.2023
5. <https://getmarket.com.ua/ua/news/sistemi-nakopichennya-energiyienergy-storages-perspektivi-dlya-ukrayini> 03.11.2023
6. “Розвиток відновлювальних джерел енергії в Україні.” ПРООН в Україні, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Березень, 2017. 36

- c. URL: <https://www.minregion.gov.ua/wpcontent/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukraini.pdf>.
7. Білявський М. «Орієнтири розвитку альтернативної енергетики України до 2030р». Разумков центр. 22 грудня 2020. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/oriientyry-rozvytku-alternatyvnoienergetyky-ukrainydo-2030r>. (дата звернення: 12.09.2023).
8. Complete energy balances. Eurostat, 2022. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_C__custom_5370431/default/table?lang=en (25.02.2023)
9. Перехід України на відновлювальну енергетику до 2050 року / О.Дячук, М.Чепелев, Р.Подолець, Г.Трипольська та ін.; за заг. ред. Ю. Огаренко та О.Алієвої// Пред-во Фонду ім. Г.Бьолля в Україні. Київ. 2017. 88с.
10. «МИКОЛА КОЛІСНИК Як технології накопичення енергії трансформують глобальний енергоринок».
<https://www.epravda.com.ua/columns/2023/10/16/705525/>
11. Г. С. Белоха «ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНІКОЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ТРАНЗАКТИВНИМ КЕРУВАННЯМ» Монографія Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2023
12. « Гідроаккумуляційна електростанція»
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B0%D0%BA%D1%83%D0%BC%D1%83%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F
13. «Зберігання стисненого повітря для виробництва електроенергії.»

<https://www.renovablesverdes.com/uk/almacenamiento-airecomprimido-generar-electricidad/>

14. «Маховиковий накопичувач енергії для її тривалого зберігання»
Номер патенту: 112759 Опубліковано: 25.10.2016
15. «Системи акумулювання енергії: промислові та побутові»
<https://avenston.com/articles/energy-storage-systems/>
16. «Літій-іонний акумулятор»
https://www.google.com/search?q=%D0%BB%D1%96%D1%82%D1%96%D0%B9-%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%96+%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%97&client=avast-a1&sca_esv=587470601&sxsrf=AM9HkKl39yr7MA2jg7O1lMVk2s5CXOC03w%3A1701612702441&ei=noxsZaukGoGTxc8P2Lu6Ao&oq=%D0%9B%D1%96%D1%82%D1%96%D0%B9%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%96+%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%97&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiJNCb0ZbRgtGW0Lkt0ZbQvtC90L3RliDQsdCw0YLQsNGA0LXRlyoCCAAYBRAAGIAEMgYQABgWGB5IgyNQA FgAcAB4AZABAJgBbKABbKoBAzAuMbgBAcgBAPgBAvgBAeIDBBgAIEGIBgE&client=gws-wiz-serp
17. «Нікель-метал-гідридний акумулятор»
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%96%D0%BA%D0%B5%D0%BB%D1%8C-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B3%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%BA%D1%83%D0%BC%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80
18. Суперконденсатори: що це таке, навіщо і де використовуються
<https://habr.com/ru/articles/547310/>

19. «Учені створили суперматеріал для батарей майбутнього»

<https://focus.ua/uk/digital/599977-ucheni-stvorili-supermaterial-dlyabatarej-majbutnogo-gadzheti-stanut-potuzhnishimi-ta-vitrivalishimi>

20. «Національна фізична лабораторія»

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F