

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Шимук Д. С.¹, Тарасова В. В.¹, Кляхін Б. В.¹, Альховський Г. С.¹

¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації

***Анотація.** У статті розглянуто деякі проблеми, які мають місце при використанні нетрадиційних джерел електричної енергії різних типів та стримують їх широке розповсюдження. Приведені методи часткових рішень деяких проблем систем електропостачання з нетрадиційними джерелами енергії, а також відмічена перспективність використання деяких конкретних елементів в цих системах.*

***Ключові слова:** нетрадиційні джерела електроенергії; сонячні установки; вітроенергетичні установки; коефіцієнт корисної дії; надійність; стабільність; вплив на навколишнє середовище; система електропостачання.*

Вступ

В теперішній час усі паливно-енергетичні запаси умовно підрозділяють на непоновлювані (НПДН) та поновлювані (ПДЕ). До невідновлювальних джерел енергії належать: хімічна енергія паливних копалин, термоядерна (ядерна) енергія та внутрішня теплота Землі. До основних відновлювальних джерел енергії належать: енергія сонячного випромінювання, енергія вітру, гідроенергія, енергія морських припливів та інші.

Потреби людства в електроенергії постійно збільшуються. Однак запаси традиційних природних палив, в тому числі і ядерного палива – кінцеві. Тому саме сьогодні так важливо знайти інші, нетрадиційні джерела електричної та теплової енергії. При цьому при розгляданні того чи іншого джерела необхідно звертати увагу на багато факторів: дешевизну самого палива, дешевизну спорудження системи електропостачання (СЕП) та її експлуатації, простоту їхньої конструкції та багато інших факторів. [1, 2].

Стратегія розвитку паливно-енергетичного комплексу України передбачає суттєве розширення використання нетрадиційних джерел електричної та теплової енергії. І тому є свої підстави: практична невичерпність цих джерел, екологічність, висока надійність роботи, простота обслуговування.

В основних положеннях Енергетичної Стратегії України на період до 2030 року записано: «Відповідно до базового сценарію, виробництво електроенергії з використанням інших відновлювальних джерел має збільшитись з 51 млн. кВт у 2005 р. до 2,1 млрд кВт-годин у 2030 році».

Але при використанні поновлюваних джерел існує і ряд проблем, технічне вирішення яких приводить до суттєвого зростання ціни енергії, отриманої від цих джерел.

Вітчизняні і зарубіжні дослідження, що проводяться у галузі енергетики нетрадиційних джерел, пов'язані з трьома основними напрямками: електроенергетикою, освітленням і теплопостачанням.

Досягнення в галузі фізики, хімії, енергетики, перетворювальної техніки та машинобудування дозволяють сподіватися на можливість створення принципово нових джерел та суттєвих змін в конструкції вже існуючих перетворювачів енергії, схем стабілізації напруги та частоти тощо.

Аналіз публікацій

Об'єднана електроенергетична система (ОЕС), є основою електроенергетики нашої країни. Завдяки цієї системі забезпечується як централізоване енергоживлення власних споживачів, тобто споживачів в межах України, так і взаємодія з сусідніми країнами, тобто забезпечується експорт та імпорт електроенергії.

Енергетична система (або енергосистема) – це сукупність устаткування, яке забезпечує безперервний процес генерування (виробництва), передачі, перетворення і розподілу електричної та теплової енергії, її споживання, а також забезпечує загальне керування цим процесом.

Електроенергетична система – це сукупність електрообладнання енергетичної системи, яке об'єднано загальним режимом спо-

живачів електричної енергії, які становлять єдине ціле.

Для надійної та безперебійної роботи споживачі повинні отримувати від енергосистеми електроенергію належної якості, в першу чергу – стабільної частоти та стабільної напруги. [3, 4].

Але використання найбільш поширених поновлюваних джерел, тобто вітрових та сонячних станцій, суттєво залежить від погодних умов і саме тому напряму веде до нерівномірності виробництва енергії, а також до неспівпадання максимуму енергії, виробленої ПДЕ, з годинами максимального (пікового) навантаження [5 - 7]. У вітроенергетичних установках це пов'язане зі зміною швидкості вітру, а у сонячних – з інсоляцією сонячних елементів.

Використання в складі ОЕС нетрадиційних джерел енергії з нерівномірним графіком виробництва електроенергії веде або до необхідності зміни характеру енергоспоживання, або до введення в частину яка генерує ОЕС відповідного обсягу маневрених потужностей [6, 8-10].

В останні роки постійно зростає тенденція сумісного використання для електростанцій невеликої потужності різних джерел генерації з поновлюваними джерелами енергії, в першу чергу, по сумісному використанню вітрової та сонячної електрогенерації. Таке сумісне використання також може сприяти рішенням питань нерівномірної генерації [11-16].

Мета та постановка задачі

Однак використання поновлюваних джерел електричної енергії має не тільки явні переваги, але і суттєві недоліки. І це не тільки загальновідомі, наприклад, низький коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячних батарей; залежність параметрів електроенергії, виробленої вітроенергетичною установкою (ВЕУ) від швидкості вітру; складні технічні рішення при використанні практично усіх видів поновлюваних джерел, а внаслідок цього – велика собівартість 1 кВт-години електроенергії.

Метою роботи є дослідження основних проблем, які існують при використанні нетрадиційних (поновлюваних) джерел енергії, в першу чергу – сонячних та вітроенергетичних установок.

Труднощі сонячної енергетики

Сонячна енергетика є одним із перспективних напрямів використання енергії поновлюваних джерел на території України. Переваги використання енергії сонячної радіації як енергоресурсу, полягають у безпосереднього перетворення енергії сонячної радіації в теплову та електричну енергію. Останні кілька років сонячна енергетика є сегментом альтернативної енергетики в Україні, що найбільш інтенсивно розвивається. У 2018 році загальна потужність всіх нових сонячних електростанцій склала 645,688 МВт, на їх частку припадає близько 87 % всіх об'єктів, які використовують ПДЕ.

На рис. 1 приведена класифікація технологій використання сонячного випромінювання.

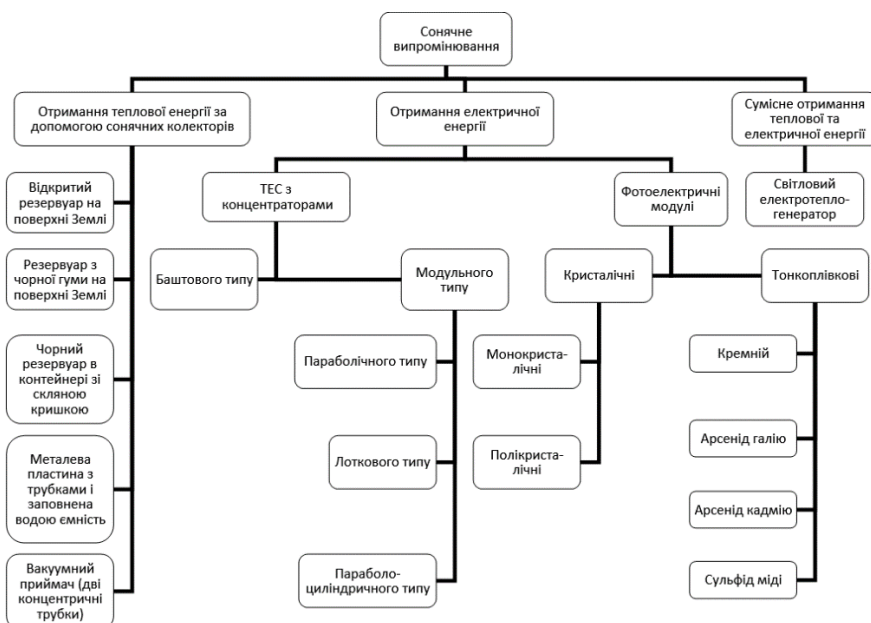


Рис. 1. Класифікація технологій використання сонячного випромінювання

Якщо аналізувати використання фотоелектричних тонкоплівкових модулів, то наочно видно, що широкого застосування набули сонячні елементи на основі кремнію. Основні його переваги – він дешевше, ніж арсенід галію; його багато в природі; він не оказує хімічного впливу на людину. Його основний недолік – ширина забороненої зони менша оптимальної 1,1 еВ. Це веде до того, що меншою є і теоретична межа максимального коефіцієнту корисної дії менша (до 29 %) [17].

Для практичного використання із окремих сонячних елементів збирають сонячні фотомодулі (сонячні батареї). З'єднання фотомодулів дає можливість створювати сонячні електричні станції різної потужності.

В складі сонячної електростанції є і інші прилади. Найбільш важливих серед них два. Це, в першу чергу, – хімічні акумулятори, які вдень заряджуються від сонячної батареї, а вночі (або при малої величині рівня освітлення) є джерелом живлення.

Другим найважливішим елементом сонячної електростанції є регулятори – перетворювачі, рис. 2. Вони керують процесом зарядки-розрядки акумуляторів. Крім того, ці регулятори-перетворювачі, перемикають навантаження сонячна батарея – акумулятор, а також слідкують за збіганням вихідної напруги батареї з номінальною напругою апаратури.

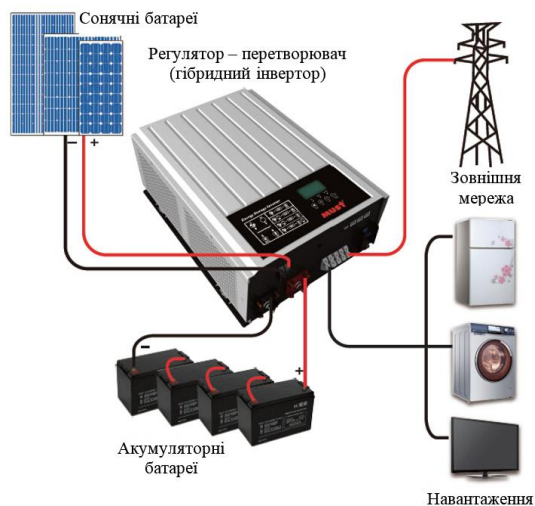


Рис. 2. Схема сонячної електростанції

Однією з невідкладних завдань підвищення ефективності експлуатації таких поновлюваних джерел енергії, як сонячні батареї, є розробка нових технологій захисту їх компонентів від перевантажень (як електричних, так і теплових). Це необхідно як для збільшення терміну служби, так і для зменшення кількості аварійних ситуацій.

Як відомо, сонячні батареї є одним із найбільш перспективних поновлюваних джерел електроенергії. Вони складаються з десятків і сотні тисяч окремих фотоелектричних (ФЕ) елементів, які можуть бути з'єднані за різними схемами на підставі паралельного та (або) послідовного з'єднань для забезпечення необхідних величин струмів та напруг. Вибір різних схем може забезпечити їх різні електричні характеристики, оптимальний режим функціонування, а також надійність та безвідмовність таких багатокомпонентних систем [18].

Однак існують прояви різних дефектів у ФЕ елементах і їх з'єднаннях у процесі експлуатації. Можна стверджувати, що робота в режимі неоднорідної освітленості веде до так званих послідовних і паралельних невідповідностей між окремими елементами та їх групами. Через це, в підсумку, в ФЕ елементах сонячних батарей виникають перегрівви, як правило, локальні («гарячі плями») й більш інтенсивно йдуть процеси деградації.

Запропонована достатня кількість методів запобігання появи «гарячих плям». На сьогодні основними напрямками і методами є такі:

- удосконалення відомих схемотехнічних технологій;
- використання фотоелементів, з характеристиками зворотного пробію з малою амплітудою напруги або з захистом від розімкненого контуру;
- застосування виявлення й активного захисту, які базуються на технологіях відстеження точки максимальної потужності компонентів сонячних батарей. [19].

На сьогодні можна виділити два напрямки в розробці захисту від «гарячих плям» на рівні окремого фотоелектричного модуля, які базуються на застосуванні методів відстеження точки максимальної потужності МРРТ (Maximum Power Point Tracking)

Для виявлення гарячих плям була запропонована концепція, на основі використання змін параметрів повного опору або параметрів вольт-амперної характеристики рядка фотоелектричних модулів (ФЕМ) при частковому затіненні окремих його модулів. Алгоритми виявлення «гарячої плями» можуть працювати в тандемі з контролем МРРТ, періодично перериваючи МРРТ для вимірювання повного опору або інших електричних параметрів рядка фотоелектричних модулів [20].

Існує декілька методів виявлення «гарячої плями». Усі вони мають свої переваги та недоліки.

Один з методів передбачає вимір електричних параметрів сонячних панелей сумісно з поєднанням з активним захистом, який виконується за способом розімкненого електричного контуру. Однак такі технології, по-перше, вимагають спеціального (складного) обладнання, а по-друге, повинні бути розроблені тільки на рівні фотоелектричних модулів.

Одним із перспективних напрямків є використання додаткових блокувальних елементів, що дає можливість ізоляції тимчасових температурних і струмових перевантажень, а також перенапруг на ФЕ елементах.

Метод передбачає використання менш дорогих елементів, наприклад, відносно нових самовідновлювальних запобіжників (СВЗ) типу «Polyswith», які вже широко використовуються. Одно з виконань таких СВЗ це полімерні композити з нано-розмірними вуглецевими наповнювачами.

Базова функціональна властивість СВЗ – стрибкоподібне збільшення електричного опору після досягнення деякої граничної температури і повернення в високопровідний стан після зниження температури.

Проведені останнім часом експериментальні дослідження різних авторів дозволили встановити, що такі елементи захисту функціонально придатні для електричної ізоляції «гарячих плям» та не впливають на роботу сонячних батарей в їхньому робочому діапазоні температури

Вітроелектричні станції та особливості їх використання

Економічна оцінка використання вітру стосовно до енергосистем складається в порівнянні загальної вартості вітроенергоустановки (ВЕУ) для енергосистем із сумарною грошовою економією, одержуваної в результаті заміщення енергії теплових електростанцій.

При оцінці ефективності вітрової енергетики потрібно, щоб крім визначення грошової економії, одержуваної внаслідок зменшення витрати палива, була також підрахована додаткова економія, що може бути досягнута в результаті зміни витрат на придбання генеруючого устаткування теплових електростанцій.

При аналізі економічних показників використання енергії вітру в енергосистемах на стадії проектування потрібен розгляд різних

питань, таких, як вибір будівельних майданчиків, вимоги до надійності енергопостачання, добові і сезонні зміни навантаження й ін.

Якщо ВЕУ спроектована для генерування струму стабільної частоти та напруги то у цьому випадку до неї можна підключать будь яке навантаження відповідно до потужності генератора ВЕУ.

Коли ВЕУ спроектована для умов стабільної частоти та напруги, вона може включатися до паралельної роботи з державною енергетичною мережею. А якщо навантаження достатньо невелике, тобто є додаткова потужність ВЕУ, це дозволяє отримати платню від держави за вироблену електроенергію.

Ця перевага ВЕУ втілюється тільки тоді, коли є простий, надійний та дешевий спосіб підтримання умов стабільності частоти. Якщо для цієї мети будуть використовуватися складні та дорогі засоби, то така ВЕУ буде мати високу початкову ціну та великі експлуатаційні витрати.

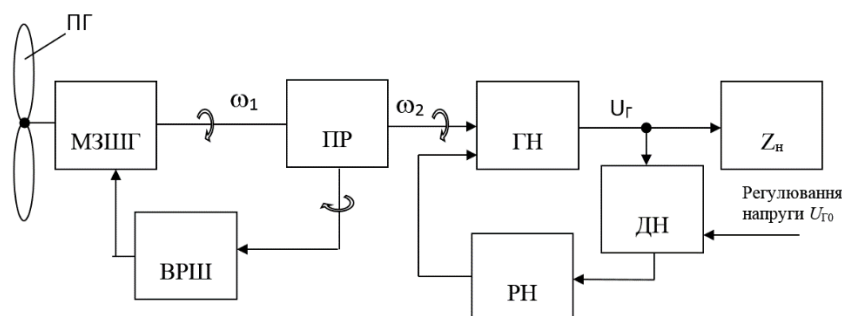
Як показала практика проектування та експлуатації ВЕУ, найбільш простим і надійним способом, який забезпечує достатню точність підтримання частоти струму, тобто частоти обертів валу генератора, є механічний спосіб.

В основі цього метода лежить зміна шагу лопаток повітряного гвинта, шляхом використання відцентрових регуляторів, тобто використання механічної замкнутої автоматичної системи управління (АСУ) шагом гвинта з метою забезпечення стабільності кутової швидкості $\omega_{\text{вх}}$ ведучого валу генератора.

В залежності від потреб замовника, АСУ кутової швидкості може бути виконана по механічній схемі або з використанням гідравлічної системи. В останньому випадку АСУ буде більш складною і дорожчою, але забезпечуватиме більш точну стабільність частоти обертів валу.

Точність роботи механічної АСУ стабілізації частоти обертів складає $\Delta f = \pm 5\%$, тобто для стандартної мережі маємо $f = 50 \pm 2,5$ Гц. Точність роботи гідравлічної АСУ може сягати значення $\Delta f = \pm 1\%$, а значення частоти складатиме $f = 50 \pm 0,5$ Гц.

Функціональна схема ВСУ з відцентровим регулятором швидкості обертів вала генератора показана на рис. 3.



ПГ – повітряний гвинт; МЗШГ – механізм зміни шагу гвинта; ВРШ – відцентровий регулятор швидкості, ПР – підвищуючий редуктор; ГН – генератор напруги (асинхронний або синхронний); Z_n – опір навантаження (користувачі змінного струму); ДН – датчик напруги; РН – регулятор напруги

Рис. 3. Функціональна схема ВЕУ

До цього треба додати, що конкретні електричні схеми стабілізації напруги для синхронного чи асинхронного генераторів будуть відрізнятися, так як синхронний генератор має обмотку збудження, змінюючи струм в котрій стабілізують вихідну напругу генератора.

У асинхронного генератора принцип стабілізації напруги інший відносно синхронного. Він полягає в регулюванні ємнісної складової реактивного струму ємностей збудження за рахунок індуктивного струму, який створює регулятор (його індуктивність). Схема стабілізації напруги асинхронного генератора має більшу масу за рахунок використання ємностей збудження C_z та індуктивностей L в кожній фазі для отримання реактивного струму. Асинхронний генератор легший за вагою порівняно з синхронним, але система стабілізації напруги у синхронного генератора набагато легша від системи стабілізації асинхронного генератора.

У більшості випадків застосування ВЕУ при її проектуванні ставиться мета мінімізувати вартість системи з урахуванням терміну її служби і, отже, вартість виробленої енергії. Це вимагає, щоб питомі капітальні витрати на спорудження ВЕУ, включаючи пристрої, що акумулюють, були мінімальними. Необхідно також, щоб ВЕУ була спроектована з урахуванням вимоги мінімізувати експлуатаційні витрати протягом терміну її служби при відповідному проектуванні її елементів, зокрема лопатей, генератора, опорних пристроїв, передач, вежі, акумулюючих пристроїв і інших елементів. До інших критеріїв, що повинні бути враховані для визначення ефективності ВЕУ, відносяться:

– строк окупності витрат енергії ВЕУ, іншими словами, час, необхідний для того, щоб

ВЕУ виробила ту кількість енергії, що була витрачена на її виготовлення, а також на роботу й обслуговування за певний період;

– частка корисно спожитої енергії ВЕУ, тобто співвідношення кількостей енергії, виробленої ВЕУ за термін її служби і спожитої при її виробництві, для роботи та обслуговування за цей же період;

– різні фактори, пов'язані з навколишнім середовищем, естетикою, юридичними, фінансовими, соціальними й іншими питаннями, що можуть мати вплив на суспільне визнання ВЕУ.

Характеристики ВЕУ визначаються, насамперед, мінливістю природи вітру як джерела енергії і тим фактом, що потужність, що розвивається ними, змінюється в залежності від площі ореолу вітроколеса, і швидкості вітру. Унаслідок кубічної залежності потужності від швидкості вітру і його мінливості дійсна продуктивність вітродвигуна за тривалий період може бути значно вище продуктивності, підрахованої по середній швидкості вітру за цей час. Як критерій розглядається і розташування вітроколеса над поверхнею землі, оскільки швидкість вітру з висотою збільшується. Місцеві особливості зміни швидкості вітру виникають унаслідок, з одного боку, її збільшення над положистими височинами й іншими об'єктами навколо них, а з іншого, - зменшення швидкості потоку поблизу дерев, будинків і інших перешкод. На рис. 4 приведена карта, на якій вказані швидкості вітру по регіонах [21].

Згідно з офіційною інформацією у другому кварталі 2018 року сумарна потужність сонячних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій досягла 1552 МВт. За даними НЕК «Укренерго» до кінця 2019 року встановлена потужність СЕС та ВЕС може досягнути 3000 МВт.



Рис. 4. Карта швидкостей вітру [21]

Зростання частки ВЕС в балансі енергосистеми вимагає збільшення резерву потужності на інших електростанціях для швидкого реагування на зміни генерованої потужності. В умовах України на даному етапі для балансування можуть бути задіяні теплові електростанції (ТЕС) або гідроелектростанції (ГЕС). Останнім часом розглядається можливість використання для балансування енергосистеми електрохімічних накопичувачів енергії на основі літій-іонних акумуляторних установок, однак їхнє будівництво може зайняти тривалий час.

Якщо звернути увагу на структуру генеруючих джерел об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, то можна відзначити, що єдиний наявний в достатньому обсязі тип електростанцій для балансування ОЕС України – це ТЕС (встановлена потужність більше 27 ГВт). Залучення гідроелектростанцій малоймовірне через їхню недостатню потужність в балансі ОЕС України – 11,2% проти 15% необхідних.

Переважну більшість ТЕС було збудовано в 60–80-тих роках минулого століття, тому бі-

льшість з них вже практично повністю вичерпали свій ресурс та потребують реконструкції. Збільшення в балансі ОЕС частки негарантованої потужності (ВЕС та СЕС) може призвести до зростання нерівномірності добового графіка навантажень, і як наслідок, до збільшення пусків-зупинок енергоблоків ТЕС. Такі режими роботи енергоблоків можуть позначитися на надійності роботи генеруючого обладнання ТЕС. В той же час, навантаження ТЕС під час проходження добового максимуму може бути зменшене на величину потужності ВЕС, що є особливо важливим з огляду на проблеми з постачанням палива для ТЕС. Таким чином, робота ВЕС та СЕС у енергосистемі вимагає додаткового дослідження для оцінки можливого впливу ВЕС на режими роботи енергоблоків ТЕС. Для цього необхідно виконати аналіз балансів потужності ОЕС України в умовах, максимально наближених до реальних режимів роботи ВЕС, в єдиному режимі з іншими електростанціями ОЕС України. Для цього необхідно промоделювати роботу енергоблоків електростанцій, що залучаються до покриття навантажень енергосистеми в продовж певного періоду, наприклад одного року. Чим більший період моделювання, тим більше можливих режимів роботи буде враховано.

Оцінка може бути виконана за такими показниками:

- зміна кількості пусків/зупинок енергоблоків ТЕС;
- величина потужності ТЕС, що може бути заміщена ВЕС в максимумі навантажень;
- величина обмеження потужності ВЕС.

Результати розрахунку наведені в таблицях 1-3 та проілюстровано на рис. 5 та рис. 6.

Таблиця 1 – Вплив різних рівнів встановленої потужності ВЕС на число пусків /зупинок енергоблоків ТЕС

Пусків енергоблоків ТЕС	Потужність ВЕС, МВт								
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Зима									
Максимально за сезон	23	23	23	23	24	24	24	27	28
Сума за сезон	1158	1163	1155	1180	1168	1148	1137	1141	1132
Весна									
Максимально за сезон	16	14	14	14	14	14	15	16	16
Сума за сезон	433	415	407	391	406	398	395	382	366
Літо									
Максимально за сезон	17	17	18	18	18	20	19	20	18
Сума за сезон	619	594	564	528	506	492	476	461	423
Осінь									
Максимально за сезон	22	20	21	19	18	19	19	19	19
Сума за сезон	837	831	808	815	796	787	763	747	739
За рік									
Сума	3047	3003	2934	2914	2876	2825	2771	2731	2660

Таблиця 2 – Величина потужності ТЕС, що може бути заміщена ВЕС в максимумі

Навантаження ТЕС, МВт		Встановлена потужність ВЕС, МВт								
		0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Максимальне		15060	14825	14640	14545	14455	14365	14275	14185	14095
Зниження	сумарне	0	235	420	515	605	695	785	875	965
	на 1 ГВт ВЕС	–	469	420	343	302	278	262	250	241

В таблиці 1 наведено зміну кількості пусків/ зупинок енергоблоків на добу по сезонах в залежності від встановленої потужності ВЕС. Згідно з отриманими результатами, впродовж року спостерігається зменшення кількості пусків блоків.

Величину потужності ТЕС, що може бути заміщена в максимумі ВЕС для різних рівнів встановленої потужності ВЕС, наведено в таблиці 2 та на рис. 5.

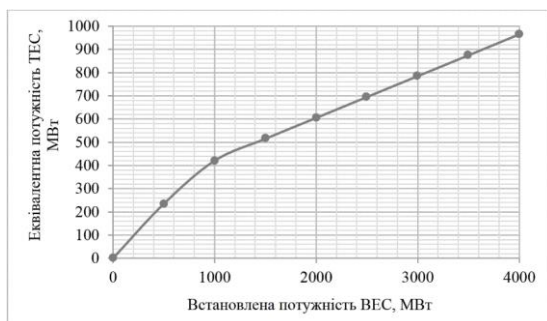


Рис. 5. Величина потужності ТЕС заміщена потужністю ВЕС

Таблиця 3 – Річний виробіток електричної енергії та величина режимних обмежень потужності за різних рівнів установленої потужності ВЕС

Встановлена потужність ВЕС, МВт		0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Виробіток ел.ен., тис. МВт·год/рік		0	1147,6	2332,9	3524,8	4715,7	5899,3	7091,1	8281,7	9468,4
Річне обмеження	МВт·год/рік	0	400	5415	15275	32900	64665	121095	198910	305810
	%	0	0,03	0,23	0,43	0,70	1,10	1,71	2,40	3,23

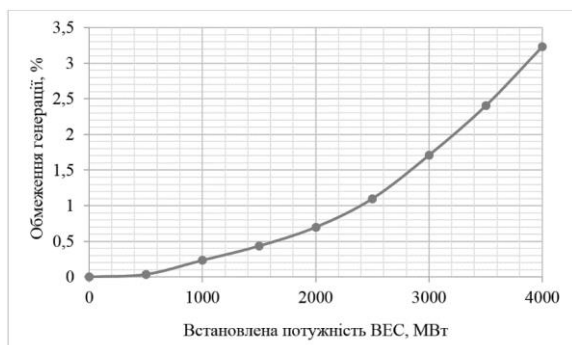


Рис. 6. Відсоток недоотриманої енергії ВЕС внаслідок режимних обмежень

Граничну потужність ВЕС визначається режими роботи ТЕС з мінімально допустимою потужністю. Існує висока ймовірність виникнення таких режимів під час весняного паводку, коли ГЕС працюють переважно в базовій частині добового графіку навантажень.

В таблиці 3 та на рис. 6. наведено величину виробленої ВЕС енергії та недовиробіток енергії внаслідок режимних обмежень з боку енергосистеми.

Обмеження потужності можуть спостерігатися навіть при незначній потужності ВЕС (500 МВт). Наприклад, такий випадок припав на паводок 2012 р. Тоді спостерігалось не характерне низьке навантаження в енергосистемі під час нічного мінімуму, тому під час балансування енергосистеми, щоб уникнути зменшення кількості енергоблоків ТЕС нижче мінімально допустимого складу, було прийнято рішення обмежити потужності ВЕС.

Станом на 2018 рік встановлена потужність ВЕС складає більше 500 МВт, однак через брак палива на ТЕС ці електростанції працюють зі складом генеруючого обладнання нижче нормативного, тому потреба у обмеженні потужності станцій не виникає. Після стабілізації ситуації така потреба може виникнути. Альтернативою обмеженням потужності може слугувати будівництво нових балансуєчих потужностей на базі акумуляторних установок.

При цьому інтеграція ВЕС дозволяє замінити певну частку потужностей ТЕС під час проходження максимуму навантажень енергосистеми. Питомий показник потужності

ТЕС, що може бути заміщена ВЕС, зменшується у разі зростання встановленої потужності ВЕС – від 469 МВт (при 0,5 МВт ВЕС) до 241 МВт (4 ГВт ВЕС). Для забезпечення збалансованої роботи ОЕС за умов збереження наявної структури генерації, у разі досягнення мінімально допустимого складу генеруючого обладнання на ТЕС, виникне необхідність у обмеженні потужності ВЕС. Для запобігання цьому необхідне будівництво установок акумуляування електричної енергії.

Висновки

Представлено аналіз основних результатів досліджень, що були проведені останнім часом в напрямках використання сонячних енергетичних установок та вітроенергетичних установок.

Вказані перспективні технології та напрямки для ізоляції тимчасових перевантажень за струмом та температурою на ФЕ елементах сонячних батарей. Розглянути також елементи електричного та теплового захисту, які вже використовуються в нетрадиційних джерелах живлення та функціонально придатні для електричної ізоляції локальних областей і компонентів сонячних батарей з підвищеною температурою.

Аналіз балансів потужності для рівнів навантаження енергосистеми та різних рівнів інтеграції ВЕС (до 4 ГВт) підтвердив можливість використання ТЕС для балансування ВЕС. Збільшення встановленої потужності ВЕС не дає збільшення кількості пусків/зупинок енергоблоків ТЕС. Балансування енергосистеми без зменшення складу енергоблоків ТЕС нижче технічного мінімуму вимагає обмеження потужності ВЕС. Для уникнення цього, необхідне впровадження систем акумуляування електричної енергії.

Інтеграція ВЕС дозволяє замінити певну частку потужності ТЕС під час проходження максимуму навантажень енергосистеми. Визначено, що питомий показник потужності ТЕС зменшується у разі зростання встановленої потужності ВЕС.

Література

- Кулик М. М., Др'омін І. В., Згуровець О. В. Можливості використання акумуляторних батарей для стабілізації частоти в об'єднаних енергосистемах з потужними сонячними електростанціями. *Відновлювана енергетика*. Київ, 2018. Вип. 3. С. 6-14.
- Gnatov A., Argun S., Ulyanets, O. Joint innovative double degree master program "energy-saving technologies in transport": 2017 IEEE First

Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, Ukraine, 29 June 2017. С. 1203–1207.

- Мірошник О. О. Аналіз методів оцінки якості електричної енергії в розподільних мережах в умовах невизначеності. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2016. №. 175. С. 14-16.
- Lezhnyuk P. et al. Mathematical modeling of operation quality of electric grid with renewable sources of electric energy. 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – IEEE, 2017. С. 324-327.
- Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Гунько І. О. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2015. №. 2. С. 134-145.
- Бацала Я. В., Гладь І. В., Николин У. М. Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*. 2013. №. 4 (49). С. 81-90.
- Lezhnyuk P. et al. Providing fixed level of electric energy supply quality in conditions of renovation of power distribution electrical networks with renewable energy sources. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). IEEE, 2017. С. 379-383.
- Yadav T., Yadav D. Integration of Electric Vehicle and Renewable Generation to Improve the Power Quality Problems in Distribution System. 2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON). IEEE, 2018. С. 1-5.
- Irimia F. D. et al. About some quality aspects regarding the renewable energy installations voltage. 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation. IEEE, 2011. С. 1-6.
- Chen Z. et al. Integrated mode and key issues of renewable energy sources and electric vehicles' charging and discharging facilities in microgrid. 2nd IET Renewable Power Generation Conference (RPG 2013), 9-11 Sept. 2013. Beijing, China, 2013.
- Gnatov A., Argun S., Rudenko N. Smart road as a complex system of electric power generation: 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering: IEEE 2017, 29 трав.–2 черв. 2017 р. Kiev, 2017. Р. 457–461.
- Аргун Щ. В., Гнатов А. В. Сонячні зарядні станції як невід'ємна частина транспортної інфраструктури. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції. «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців», Харків, Україна, 20-21 жовтня 2017 р., Харків: ХНАДУ, 2017. С. 53–54.

13. Patlins A., Hnatov A., Kunicina N., Arhun S. та ін. Sustainable pavement enable to produce electricity for road lighting using green energy: *International Conference on Energy and Sustainability in Small Developing Economies, 2018 International Conference, IEEE 2018*, 12 лип. 2018 Funchal, 2018. P. 21–26.
 14. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. Using of Green Energy from Sustainable Pavement Plates for Lighting Bikeways: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, Lithuania, Trakai, Kaunas University of Technology, 03.October.18. С. 574–579.
 15. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. Safety of Pedestrian Crossings and Additional Lighting Using Green Energy: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, 5 oktob. 2018. Kaunas: Kaunas University of Technology : 2018. P. 527–531.
 16. Arhun S., Hnatov A., Dziubenko O., та ін. A Device for Converting Kinetic Energy of Press Into Electric Power as a Means of Energy Saving. *Journal of the korean society for precision engineering*. 2019. Vol. 36, № 1. P. 105–110.
 17. Що таке сонячна енергетика і чи потрібна вона Україні. 2019. URL: <https://solarsystem.com.ua/blog/shho-take-sonyachna-energetyka-chy-potribna-vona-ukrayini/> (дата звернення 20.10.2019).
 18. Типы солнечных батарей и их КПД. 2015. URL: http://utem.org.ua/materials/show/typy_solnechny_h_batarey (дата звернення 20.10.2019).
 19. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. Study of load characteristics of various types of silicon PV panels for sustainable energy efficient road pavement. *Electrical, control and communication engineering*. 2019. Vol. 15 № 1. P. 30-38.
 20. Patlins A., Arhun S., Hnatov A., та ін. Determination of the Best Load Parameters for Productive Operation of PV Panels of Series FS-100M and FS-110P for Sustainable Energy Efficient Road Pavement: *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2018): Conference Proceedings*, 12 Nov. 2018. Riga : RTU, 2018, P. 1–6.
 21. Іноземних інвесторів зацікавила природна особливість Закарпаття і вони готові вкладати в неї великі кошти. 2017. URL: <https://pmg.ua/life/60866-inozemnykh-investoriv-zacikavyla-pryrodna-osoblyvist-zakarpattya-i-vony-gotovi-vkladaty-v-nei> (дата звернення 20.10.2019).
- References**
1. Kulyk M. M., Dromin I. V., Zghurovets O. V. (2018) Mozhyvosti vykorystannia akumuliatornykh batarei dlia stabilizatsii chastoty v obiednanykh enerhosystemakh z potuzhnymy soniachnymy elektrostantsiiamy. [Opportunities for the use of rechargeable batteries for frequency stabilization in combined power systems with powerful solar power plants.] *Vidnovliuvana enerhetyka*. Kyiv. 3. 6-14. [in Ukrainian].
 2. Gnatov A., Argun S., Ulyanets, O. (2017) Joint innovative double degree master program “energy-saving technologies in transport”: *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Kiev, Ukraine, 29 June 2017. 1203–1207.
 3. Miroshnyk O. O. (2016) Analiz metodiv otsinky yakosti elektrychnoi enerhii v rozpodilnykh merezhakh v umovakh nevyznachenosti. [Analysis of methods for estimating the quality of electricity in distribution networks under uncertainty.] *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni P. Vasylenka*. Kharkiv. 175. 14-16. [in Ukrainian].
 4. Lezhnyuk P. et al. (2017) Mathematical modeling of operation quality of electric grid with renewable sources of electric energy. 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). IEEE. 324-327.
 5. Lezhniuk P. D., Rubanenko O. Ye., Hunko I. O. (2015) Vplyv invertoriv SES na pokaznyky yakosti elektrychnoi enerhii v LES. [Influence of SES inverters on electricity quality indicators in forestry.] *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. 2. 134-145. [in Ukrainian].
 6. Batsala Ya. V., Hlad I. V., Nykolyn U. M. (2013) Analiz pokaznykiv yakosti elektroenerhii soniachnoi elektrostantsii. [Analysis of electricity quality indicators of a solar power plant.] *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*. 4 (49). 81-90. [in Ukrainian].
 7. Lezhnyuk P. et al. (2017) Providing fixed level of electric energy supply quality in conditions of renovation of power distribution electrical networks with renewable energy sources. *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. IEEE. 379-383.
 8. Yadav T., Yadav D. (2018) Integration of Electric Vehicle and Renewable Generation to Improve the Power Quality Problems in Distribution System. *2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*. IEEE. 1-5.
 9. Irimia F. D. et al. (2011) About some quality aspects regarding the renewable energy installations voltage. *11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*. IEEE. 1-6.
 10. Chen Z. et al. (2013) Integrated mode and key issues of renewable energy sources and electric vehicles' charging and discharging facilities in microgrid. *2nd IET Renewable Power Generation Conference (RPG 2013)*, 9-11 Sept. 2013. Beijing, China.

11. Gnatov A., Argun S., Rudenko N. (2017) Smart road as a complex system of electric power generation: *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering: IEEE 2017*, 29 трав. – 2 черв. 2017. Kiev. 457–461.
12. Arhun Shch. V., Hnatov A. V. (2017) Soniachni zariadni stantsii yak nevidiemna chastyna transportnoi infrastruktury. [Solar charging stations are an integral part of transport infrastructure]. *Naukovi pratsi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. «Avtomobilnyi transport i avtomobilebuduvannia. Novitni tekhnologii i metody pidhotovky fakhivtsiv»*, Kharkiv, Ukraina, 20-21 zhovtnia, KhNADU. 53–54. [in Ukrainian].
13. Patlins A., Hnatov A., Kunicina N., Arhun S. (2018) Sustainable pavement enable to produce electricity for road lighting using green energy: *International Conference on Energy and Sustainability in Small Developing Economies, 2018 International Conference, IEEE 2018*, 12 лип. 2018 Funchal. 21–26.
14. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. (2018) Using of Green Energy from Sustainable Pavement Plates for Lighting Bikeways: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, Lithuania, Trakai, Kaunas University of Technology, 03.October.18. 574–579.
15. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. (2018) Safety of Pedestrian Crossings and Additional Lighting Using Green Energy: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, 5 oktob. 2018. Kaunas: Kaunas University of Technology. 527–531.
16. Arhun S., Hnatov A., Dziubenko O. (2019) A Device for Converting Kinetic Energy of Press Into Electric Power as a Means of Energy Saving. *Journal of the korean society for precision engineering*. 36(1). 105–110.
17. Shcho take soniachna enerhetyka i chy potribna vona Ukraini. [What is solar energy and whether it is needed for Ukraine] Retrived from: <https://solarsystem.com.ua/blog/shho-take-soniachna-enerhetyka-chy-potribna-vona-ukrayini/> (accessed: 20.10.2019). [in Ukrainian].
18. Tipy` solnechny`kh batarej i ikh KPD. [Types of solar panels and their efficiency] Retrived from: http://utem.org.ua/materials/show/typy_solnechny_h_batarey (accessed: 20.10.2019). [in Russian].
19. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. (2019) Study of load characteristics of various types of silicon PV panels for sustainable energy efficient road pavement. *Electrical, control and communication engineering*. 15(1). 30-38.
20. Patlins A., Arhun S., Hnatov A. (2018) Determination of the Best Load Parameters for Productive Operation of PV Panels of Series FS-100M and FS-110P for Sustainable Energy Efficient Road Pavement: *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2018): Conference Proceedings*, 12 Nov. 2018. Riga: RTU. 1–6.
21. Inozemnykh investoriv zatsikavyla pryrodna osoblyvist Zakarpattia i vony hotovi vkladaty v nei velyki koshty. [Foreign investors are interested in the natural feature of Transcarpathia, and they are ready to invest a lot of money in it.] Retrived from: <https://pmg.ua/life/60866-inozemnykh-investoriv-zacikavyla-pryrodna-osoblyvist-zakarpattia-i-vony-gotovi-vkladaty-v-nei> (accessed: 20.10.2019). [in Ukrainian].

Шимук Дмитро Степанович¹, к.т.н., доц. тел. +38 066-458-81-29, shimukds@gmail.com,
Тарасова Валентина Всеволоодівна¹, к.т.н., доц., тел. +38066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com
Кляхін Борис В'ячеславович¹, студент, +38066-99-812-86, 17insta@gmail.com
Альховський Гліб Сергійович¹, студент, +38- 066-166-44-74, alhovskijjgleb@gmail.com
¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79.

Анализ проблем использования нетрадиционных источников электрической энергии

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые проблемы, которые имеют место при использовании нетрадиционных источников электроэнергии различных типов и сдерживают их широкое распространение. Приведены также методы частичных решений некоторых проблем. Отмечена перспективность применения элементов функциональной электроники, в частности полимерных самовосстанавливающихся предохранителей типа «Polyswith».

Ключевые слова: нетрадиционные источники электроэнергии; солнечная установка; ветро-энергетическая установка; КПД; надежность; стабильность; влияние на окружающую среду; система электроснабжения.

Шимук Дмитрий Степанович¹, к.т.н., доц., тел. +38 066-458-81-29, shimukds@gmail.com,
Тарасова Валентина Всеволоодівна¹, к.т.н., доц., тел. +38066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,
Кляхін Борис В'ячеславович¹, студент, +38066-99-812-86, 17insta@gmail.com
Альховський Гліб Сергійович¹, студент +38- 066-166-44-74, alhovskijjgleb@gmail.com/
¹Харьковский национальный университет Воздушных сил имени Ивана Кожедуба, Институт гражданской авиации, 61023, г. Харьков, ул. Сумская 77/79.

Analyzing the problems of using non-traditional electricity sources

Abstract. Problem. The strategy of development of the fuel and energy complex of Ukraine envisages the expansion of using non-traditional sources of electric

and thermal energy. There are a number of problems with the use of renewable energy sources (RES), whose technical solution leads to a significant increase in the price of energy obtained from these sources. But the use of the most common RES, i.e. wind and solar stations, is significantly dependent on weather conditions, which is why it directly leads to uneven energy production, as well as the maximum energy produced by the RES does not coincide with the maximum load hours. In wind power plants, it is connected to the change in wind speed, and in solar - to the insolation of the solar cells. **Goal.** The goal is research of the main problems that exist when using non-traditional (renewable) energy sources, first of all - solar and wind power plants. **Methodology.** The analytical methods of research on the development and application of methods and devices for converting sun energy into electricity have been used. Experimental methods of research and mathematical methods of processing experimental research were used. **Results.** The perspective of the use of functional electronics elements, including polymeric self-healing fuses of the "Polyswith" type for solving the problem of improving reliability of the devices of conversion of solar radiation energy is noted. **Originality.** Experimental studies have shown that such protection elements do not affect the operation of solar panels in

their operating temperature range, and are functionally suitable for electrical isolation of local areas and components of high temperature solar panels. **Practical value.** Separation of the electrical circuit is proposed, which allows to reduce the information capacity of the algorithm and simplify the analysis of states. Separation of the object of diagnosis allows to reduce the solution of complex multifactor problem to the solution of several simpler ones. In addition, splitting the circle into separate links reduces the number of built-in sensors.

Keywords: unconventional electricity sources; solar installations; wind energy installations; efficiency; reliability; stability; environmental impact; power supply.

Shymuk Dmytro¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. + 38 066-458-81-29 shimukds@gmail.com.,

Tarasova Valentina¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Кляхін Борис Вячеславович¹, student, +38066-99-812-86, 17insta@gmail.com

Альховський Гліб Сергійович¹, student, +38-066-166-44-74, alhovskijjgleb@gmail.com

¹Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.