

ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ, ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

DOI 10.31891/2307-5732-2019-277-5-264-269

УДК 621.314

О.О. РУБАНЕНКО, В.П. ЯНОВИЧ

Західночеський університет

А.А. ВИДМИШ

Вінницький національний аграрний університет

АНАЛІЗ РОБОТИ ВДЕ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ
ТА ШЛЯХИ КОМПЕНСАЦІЇ ЇХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ

В статті проаналізовано інформацію щодо встановленої потужності відновлюваних джерел енергії в Україні, що використовують енергію сонця, вітру, води і біоресурсів, за даними міжнародного агентства з відновлювальної енергетики. Досліджено результати генерації електроенергії СЕС і ГЕС у Вінницькій області станом, виявлено місяці з максимальною і мінімальною генерацією. Аналіз отриманих графіків дав можливість зробити висновок, що сучасні малі гідроелектростанції (МГЕС) мають великий потенціал розвитку через збільшення інтересу до відновлюваних ресурсів та розподіленого виробництва енергії; однак, змінні гідрологічні умови, які знаходяться в проектах ГЕС, базованих на річках, вимагають виконання операцій з розширення потоків води та відхилень потоків. Тому в статті запропоновано вдосконалити будову елементів гідро-комплексів та їх систем керування. Для приватних домогосподарств запропоновано удосконалену конструкцію мікрогідроелектростанцій.

Ключові слова: сонячні електричні станції, відновлювальні джерела енергії, гідравлічні електричні станції, мікрогідроелектростанції.

O.O. RUBANENKO, V.P. YANOVYCH

University of West Bohemia, Plzen, Czech Republic

A.A. VYDMUSH

Vinnytsia National Agrarian University

ANALYSIS OF WORKING RES IN THE DISTRIBUTION GRIDS
AND WAYS OF COMPENSATION OF THEIR INSTABILITY

The article analyses information on installed capacity of renewable energy sources in Ukraine, for example solar, wind, water and bioresources energy, data according to the International Renewable Energy Agency. The results of power generation of solar power plants (SPP) and hydroelectric power plants (HPP) in Vinnytsia region are determined, and the months with maximum and minimum generation are revealed. In Ukraine, there are «green» tariffs for power generated by economic entities, which using renewable energy sources and surcharges to green tariffs, while maintaining the level of use of Ukrainian production equipment. The tariff for power supply to the power market for RPS is on average at the level of 12-15 euro cents per 1 kWh for NPP (nuclear power plants) - 1.8 euro cents. This poses certain risks to the stability of not only the distribution grids but also the energy system as a whole. The analysis of the obtained graphs has made it possible to conclude that modern small HPPs have a great potential for development due to increasing interest in renewable resources and distributed power generation; however, the variable hydrological conditions found in river-based hydropower projects require operations to expand water flows and divert flows. Therefore, the article proposes to improve the structure of elements of hydro-complexes and their control systems. Improved design of micro-HPP is proposed for private households. It is offered to use foreign experience of using an innovative concept of hydropower integration, which operates at a variable speed and is operated by a specially adapted program that increases the overall efficiency and operational range of the HPP. The hydropower designs used in the proposed solution will improve the efficiency of the HPP by expanding the operating range.

Keywords: solar power plants, renewable energy sources, hydro power stations, micro hydro power plants.

Вступ

Стрімке нарощування потужностей відновлювальних джерел енергії, потребує наявності систем резервування, акумулювання та додаткових можливостей компенсації нестабільності негарантованих джерел енергії. ВЕС та СЕС прийнято вважати електростанціями негарантованої потужності за певних погодних умов (існує можливість припинення видавання їх активної потужності в мережу: для ВЕС при швидкості вітру < 3–5 м/с, а для СЕС при сонячній радіації < 200 Вт·м²) [1]. За даними Міжнародного агентства з відновлювальної енергетики (IRENA) (міжурядової організації, яка підтримує країни в їх переході до сталого енергетичного майбутнього і досліджує всі типи відновлюваних джерел енергії, включаючи біоенергетику, геотермальну, гідроенергетичну, океанську, сонячну та вітрову енергію, для досягнення сталого розвитку, доступу до енергетики, енергетичної безпеки та використання низьковуглецевих технологій генерації електроенергії зазначено швидкі темпи нарощування встановленої потужності ВДЕ (відновлюваних джерел енергії), що показано в табл. 1 та рис. 1 [2].

Таблиця 1

Встановлена потужність ВДЕ, МВт

Рік	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Встановлена потужність ВДЕ, МВт	4647	4691	4945	5241	5769	6048	6199	6494	7989

Insights on Renewables

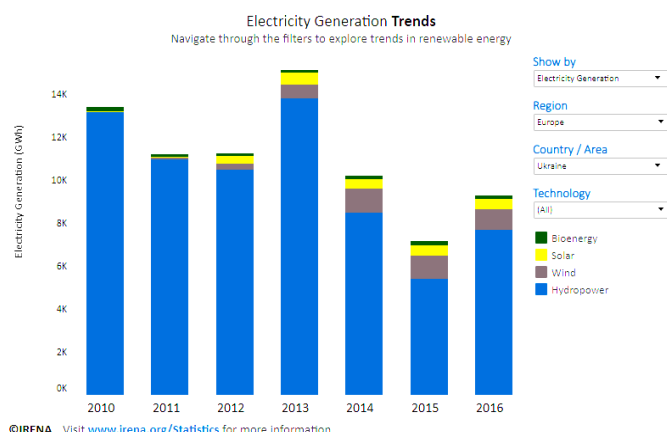


Рис. 1. Розподіл генерації в залежності від типу ВДЕ за даними міжнародного агентства з відновлювальної енергетики

В Україні діють «зелені» тарифи на електричну енергію, вироблену суб'єктами господарювання на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії, та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва. Тариф на відпуск електроенергії в енергоринок для ВДЕ в середньому знаходиться на рівні 12–15 євроцентів за 1 кВт-год для АЕС - 1,8 євроцентів.

Це викликає певні ризики забезпечення стабільності не тільки розподільних електричних мереж, а й енергетичної системи в цілому. Зокрема, в статті [3] зазначено, що з метою декарбонізації, тобто зменшення викидів усіх видів парникових газів від спалювання викопного палива, в першу чергу вугілля, при виробництві теплової та електричної енергії, що становлять близько 40% загального обсягу світових викидів просувалась ідея тотального домінування відновлювальних джерел електроенергії над традиційною енергетикою. Але на думку автора це призводить до руйнування надійних енергетичних систем.

Тому актуальною є задача дослідження генерації електроенергії РДЕ в конкретному регіоні і розробка шляхів покращення роботи РДЕ (розосереджених джерел енергії) за рахунок вдосконалення їх конструкції, підвищення ефективності їх використання, забезпечення взаєморезервування [4, 5].

Аналіз генерації електроенергії СЕС і ГЕС у Вінницькій області

Найбільш продуктивними місяцями року для малих ГЕС Вінницької області є березень та листопад. На рис. 2 показана діаграма з найбільш продуктивного березневого дня, та показана діаграма для дня з найменшою генерацією.

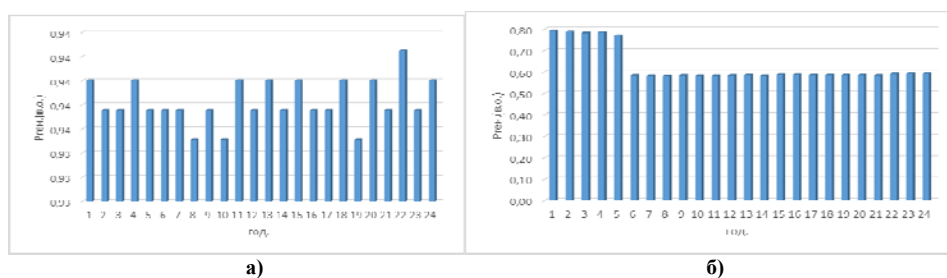


Рис. 2. Максимальна а) та мінімальна б) добова погодинна генерація відносно встановленої потужності ГЕС в березні

В посушливі місяці, наприклад серпень, ситуація ще гірша, як показано на рис. 3.

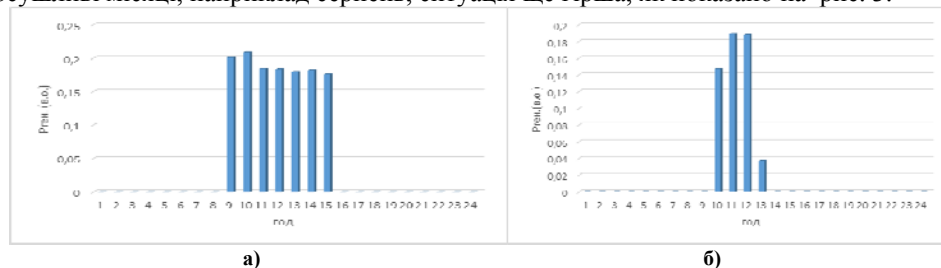


Рис. 3. Максимальна (а) та мінімальна (б) погодинна генерація відносно встановленої потужності ГЕС в серпні

Деталізовані добові графіки днів з мінімальною і максимальною генерацією відносно встановленої потужності СЕС Вінницької області в червні наведені на рис. 4.

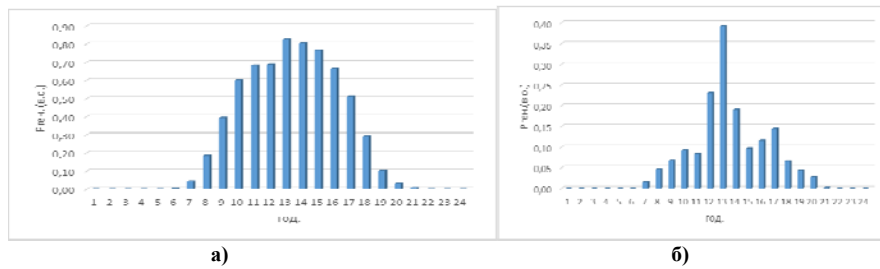


Рис. 4. Мінімальна погодинна генерація відносно встановленої потужності СЕС в червні

Деталізовані добові графіки днів з мінімальною і максимальною генерацією відносно встановленої потужності СЕС Вінницької області в грудні наведені на рис. 5.

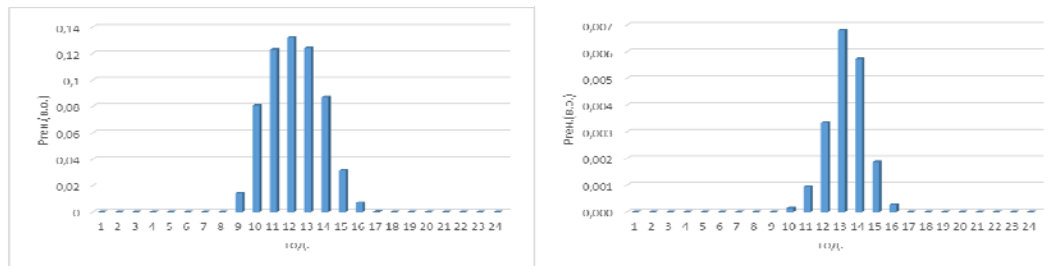


Рис. 5. Максимальна та мінімальна погодинна генерація відносно встановленої потужності СЕС в грудні

Використання МГЕС для компенсації нестабільності СЕС

Аналіз отриманих графіків дає можливість зробити висновок, що сучасні малі гідроелектростанції (МГЕС) мають великий потенціал розвитку через збільшення інтересу до відновлюваних ресурсів та розподіленого виробництва енергії; однак, змінні гідрологічні умови, які знаходяться в проектах ГЕС, базованих на річках, вимагають виконання операцій з розширення потоків води та відхилення потоків. Для підтримки високої ефективності перетворення енергії необхідні спеціальні методи контролю топології систем [6]. Крім того, у вигляді децентралізованих джерел енергії, розташованих поблизу своїх клієнтів, МГЕС покращують стабільність мережі за рахунок диверсифікації системи електропостачання та зменшення втрат на транспортування. Тому доцільно досліджувати МГЕС, що використовують інноваційні генераторні установці (гідро-комплекси): гвинтові турбіни інтегровані з синхронним генератором, який працює з змінною швидкістю в системі, підключеної до мережі. Цей спосіб вдосконалення будови МГЕС запропонували Dariusz Borkowski та Tomasz Wegiel в статті [7], де описали основні елементи цієї системи перетворення енергії. Запропонована та перевірена спеціальна стратегія контролю та керування. Всі представлені тут результати походять від фактичної МГЕС потужністю 150 кВт, що містить два інноваційних гідро-комплекси, що працюють паралельно на одній річці.

Рентабельність МГЕС багато в чому залежить від їх розташування та гідрологічних характеристик місцевості [6]. МГЕС – це, насамперед, «річкові» електричні станції, які можуть зберігати невелику кількість або взагалі не зберігають воду. Економічна експлуатація вимагає широкого потоку і високої ефективності через значні коливання річкових потоків протягом року [6]. Подвійна регульована турбіна Каплана зазвичай відповідає цій вимозі; однак, це рішення не є економічним для МГЕС через складність механічної системи і високу пошкоджуваність окремих елементів, відсутність якісних та недорогих систем онлайн діагностування. Альтернативним підходом є система змінної швидкості (СЗШ), яка змінює швидкість турбіни по відношенню до фактичних гідравлічних умов для максимізації ефективності турбіни [7]. Пропелерна турбіна з СЗШ з фіксованими лопатями є найбільш перспективним підходом для низьконапірних вузлів. Ця конструкція значно спрощує механічну систему, але вимагає в системі перетворення енергії наявність силового електронного блоку (СЕБ), щоб відповідати навантаженню і контролювати потік потужності від генератора до мережі. Синхронний генератор з постійним магнітом (СППМ) є найбільш зручним з числа типів генераторів, які використовуються у МГЕС, тому що має велику кількість полюсів і високу ефективність при широкому діапазоні навантажень.

Адаптація зарубіжного досвіду вдосконалення будови гідро-комплексів

Використання гідро-комплексу: СППМ, інтегрований з пропелерною турбіною, що працює зі змінною швидкістю, дасть змогу працювати МГЕС ефективніше. На додаток до вище зазначених переваг, запропонована інтеграція виключає зовнішній вал і зменшує розміри гідрокомплексу, створюючи тим самим модульну і компактну структуру. Таке інноваційне рішення було представлено в [8] як експериментальна електростанція, що містить два гідрокомплекси загальною потужністю 150 кВт. У цій роботі запропоновано аналіз ефективності СППМ та СЕБ. Крім того, вона представляє модифіковані стратегії управління процедурою зберігання об'єму води, їх роботою та реальними характеристиками потужності та крутного моменту. Блок-схема системи перетворення енергії представлена на рис. 6.

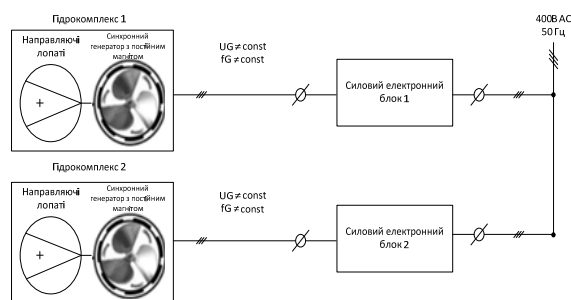


Рис. 6. Блок-схема перетворення енергії у МГЕС, що включає два гідро-комплекси та силові електричні блоки

Будова гідро-комплексу та його властивості

Запропонований гідрокомплекс виконаний у трубоподібній формі. Його елементи зображені на рис. 7. Основними елементами є інтегровані турбіна та генератор.

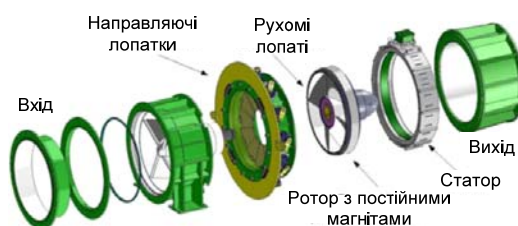


Рис. 7. Основні елементи гідрокомплексу

Статор СГПМ має класичну трифазну будову; однак, він повинен бути спеціально розроблений з відповідними розмірами, щоб відповідати гідрологічним умовам (ширина та напір потоку води, рис. 8 (в)), а його обмотки повинні бути захищені від вологи спеціальною герметизуючою сполукою. Це ущільнення є критично важливим для підтримання електричної ізоляції генератора і його слід періодично контролювати, щоб гарантувати безпечну роботу. Ротор інтегрований з пропелерною турбіною; постійні магніти прикріплюються безпосередньо до зовнішнього кільця турбіни (рис. 8 (б)), тим самим передаючи крутний момент від турбіни до ротора і кільця без необхідності зовнішнього валу. Такий підхід виключає складність створення і підтримки системи вала і зменшує механічні втрати (рис. 8 (г)).

Додатковою перевагою такого підходу є ефективність охолодження, викликана водою, яка протікає через зазор між ротором і статором і збільшує перевантажувальну здатність генератора. Іншим важливим елементом гідрокомплексу є набір направляючих апаратів, які керують потоком води (рис. 8 (а)). Регульовані направляючі лопаті усувають зміни потоку, що виникають внаслідок зміни гідрологічних умов і забезпечують безперервне виробництво енергії в широкому діапазоні потоку води.



Рис. 8. Елементи експериментального гідрокомплексу на 75 кВт: а) направляючі лопаті; б) ротор з інтегрованою пропелерною турбіною; в) статор СГПМ та г) експериментальний гідрокомплекс на 75 кВт

Але адаптувати зарубіжний досвід до українських гідроресурсів можливо тільки при розробці сучасних адаптованих систем керування за допомогою програмного забезпечення LabView і MATLAB Simulink, що й планується реалізувати у майбутньому.

Удосконалення конструкцій мікрогідроелектростанцій

Також, актуальним є удосконалення конструкцій мікрогідроелектростанцій, які використовуються для приватних домогосподарств, що можливе шляхом використання електрогенератора серійного виробництва, підвищення потужності на одиницю маси, зменшення розмірів маси і вартості установки при підвищенні ефективності її функціонування. Дана тенденція прослідковується в гідроелектроенергетичній установці, яка містить гідродвигун з вертикальним валом і траверсами, до яких приєднано вертикальні лопаті під кутом атаки, що може змінюватись для підвищення ефективності сприймання енергії рухомої води в залежності від швидкості течії, електрогенератор постійного струму з автоматичним регулюванням напруги, який з'єднується з вертикальним валом через двоступінчатий редуктор і генерує електроенергію для постійної підзарядки акумуляторів, що розміщені у споживача, концентратор енергії течії рухомої води, який змонтовано у вигляді пластини, що на шарнірах приєднано до ребер шестигранного трубчатого корпусу установки, сітку захисну, яка монтована на двох передніх сторонах шестигранного корпусу і захищає ротор гідродвигуна від сміття і сторонніх предметів, які несе течія.

Схематично гідроелектроенергетична установка представлена на рис. 9 [9].

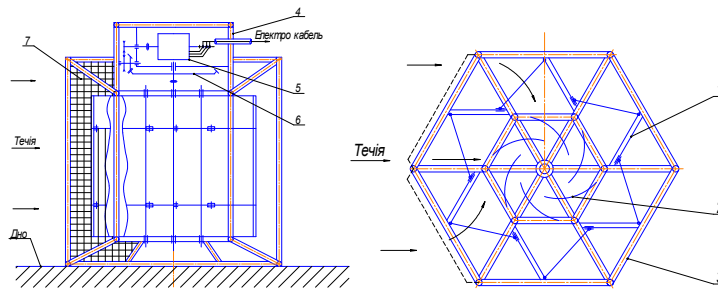


Рис. 9. Загальний вигляд гідроелектроенергетичної установки: 1 – пластина концентратора, 2 – вертикальний гідродвигун, 3 – трубчастий шестигранний корпус установки, 4 – герметизований ящик електроживлення, 5 – електрогенератор, 6 – двохступеневий редуктор, 7 – захисна сітка

Установка працює наступним чином: при відкриванні каналів подачі води пластинами 1 концентратора потік направляється на ввігнуті поверхні лопаті вертикального гідродвигуна 2, заставляючи їх обертати вертикальний вал під дією сили потоку, відцентрової сили і кінетичної енергії маси течії та її швидкості. Обертальний момент валу передається на двоступінчатий редуктор 6, який збільшує частоту обертання вала та передає її на вал електрогенератора 5 постійного струму з автоматичним регулюванням напруги, що генерує електроенергію і постійно підзаряджає акумулятори, які забезпечують безперервне електроживлення споживачів. При цьому ефективність сприймання енергії течії лопатями гідро двигуна регулюється кутом атаки відхилення лопаті від напрямку дії течії, а потужність течії регулюється пластинами концентратора, які відкривають канали подачі води на гідро двигун. Захист вертикального гідродвигуна від плаваючих на воді сторонніх предметів, деревини та бруду здійснюється захисною сіткою 7, що закріплена на передніх гранях шестигранного корпусу назустріч течії. Розміщення мінігидравлічної установки в руслі струмка, гірської річки чи потічка, а також демонтаж і транспортування здійснюється вручну завдяки мінімальним розмірам, масі та зручному корпусу. Таким чином застосування гідроелектроенергетичної установки «Струмок» дозволяє отримати високоефективне електроенергетичне забезпечення віддалених польових, лісових та гірських споживачів малої потужності.

Висновки

Збільшення частки ВЕС та СЕС, які прийнято вважати електростанціями негарантованої потужності, в генерації електроенергії потребує вирішення низки задач, пов'язаних з забезпеченням надійної та стабільної роботи електричних мереж. Перспективним в цьому напрямку є використання малих ГЕС, за умови вдосконалення їх будови та оптимізації алгоритмів керування ними. Це можна зробити за допомогою використання сучасного програмного забезпечення, такого як LabView і MATLAB Simulink, що дасть змогу здійснювати моделювання і, як наслідок прогнозування стабільної роботи електричних мереж з врахуванням технічного стану обладнання, погодних умов та графіків споживання і генерації, що й планується реалізувати у майбутньому.

Запропоновано використовувати зарубіжний досвід використання інноваційної концепції інтеграції гідроустановки, що працює зі зміною швидкістю і управляється спеціально адаптованою програмою, яка підвищує загальну ефективність та робочий діапазон МГЕС. Конструкція гідроустановки, що використовується в запропонованому рішенні, дозволить покращити ефективність роботи МГЕС, шляхом розширення робочого діапазону. Розрахунковий ККД гвинтової турбіни становить 85% номінальних параметрів; однак ця величина залежить від швидкості турбіни і може знизитися до 75%. Таким чином, загальна ефективність системи перетворення енергії коливається від 65% до 80%. Цей результат можна порівняти зі стандартними рішеннями, але запропоноване в [8] рішення забезпечує ширший робочий діапазон (від 30% до 120% номінального потоку) та високу ефективність. Тому є доцільним подальше вивчення цього питання та впровадження на МГЕС України. Крім того, з двома гідроагрегатами, що працюють паралельно на одній річці, нижня межа і робочий діапазон зменшиться до 15% від номінального потоку, і загальна ефективність буде значно покращена. На додаток до цих експлуатаційних переваг запропонована інтеграція гвинтової турбіни з ПМСГ, що виключає складність проектування та обслуговування механічних систем для управління лопатями, валом та ротором; це спрощення має значний позитивний вплив на інвестиційні витрати та надійність ГЕС в цілому.

В статті запропоновано рішення щодо вдосконалення конструкції мінігидравлічних установок для приватних домогосподарств, що дасть можливість частково розвантажити розподільні електричні мережі і заощадити кошти власникам.

Література

1. Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України (Проект) [Електронний ресурс] : СОУ НЕК XX.XXX : 2017. – Офіц. вид. – Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго», 2017. – 43 с. – Режим доступу : https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/02/Vymogy-do-VES-ta-SES_2-red_08112017.pdf

2. IRENA (2019), Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>

3. Лосєв А. Безвуглецева енергетика – вітер у кишенях споживача або ядерне заощадження (2019) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.unian.ua/economics/energetics/10477752-bezvugleceva-energetika-viter-u-kishenyah-spozhyvacha-abo-yaderne-zaoshchadzhennya.html>

4. Рубаненко О.О. Використання біоресурсів для компенсації нестабільності вітрових і сонячних електричних станцій з метою забезпечення незалежного електропостачання підприємств АПК / О.О. Рубаненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – 2018. – № 196. – С. 8-9.

5. Рубаненко О.О. Створення мікроелектромереж для забезпечення надійного електропостачання підприємств АПК на прикладі Уладово-Люлинецької дослідно-селекційної станції / О.О. Рубаненко, А.А. Видмиш, В.В. Явдик // Вібрації в техніці та технологіях. – 2019. – № 1(92). – С. 23–29.

6. Кульматицький С.О. Використання малих ГЕС для покращення електропостачання підприємств / С.О. Кульматицький, А.С. Кульматицька // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 4. – С. 155–158.

7. Borkowski D. Small hydropower plant with integrated turbine-generators working at variable speed / Dariusz Borkowski, Tomasz We' giel // IEEE Transactions on energy conversion. – 2013. – № 28(2). – P. 452–459.

8. We' giel T. Variable speed small hydropower plant / Tomasz We' giel, Dariusz Borkowski // Proc. 3rd Int. Symp. PEDG, Aalborg, Denmark. – 2012. – P. 167–174.

9. Пат. 69829 Україна, МПК⁵¹ H02K 17/00. Гідроелектроенергетична установка (СТРУМОК) / Янович В.П., Жданович Л.О., Верля Н.Й., Дунська Т.Л. ; заявник і власник Вінницький національний аграрний університет. – Заявл. 28.11.11 ; опубл. 10.05.12, Бюл. № 9.

References

1. Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України (Проект) [Електронний ресурс] : СОУ НЕК KhKh.KhKhKh : 2017. – Ofits. vyd. – Derzhavne pidpriemstvo «Natsionalna enerhetychna kompaniia «Ukrenerho», 2017. – 43 s. – Rezhym dostupu : https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/02/Vymogy-do-VES-ta-SES_2-red_08112017.pdf

2. IRENA (2019), Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>

3. Losiev A. Bezvuhletseva enerhetyka – viter u kysheniakh spozhyvacha abo yaderne zaoshchadzhennia (2019) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.unian.ua/economics/energetics/10477752-bezvugleceva-energetika-viter-u-kishenyah-spozhyvacha-abo-yaderne-zaoshchadzhennya.html>

4. Rubanenko O.O. Vykorystannia bioresursiv dlia kompensatsii nestabilnosti vitrovikh i soniachnykh elektrychnykh stantsii z metoiu zabezpechennia nezalezhnogo elektropostachannia pidpriemstv APK / O.O. Rubanenko // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky. Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy. – 2018. – № 196. – S. 8-9.

5. Rubanenko O.O. Stvorennia mikroelektromerezh dlia zabezpechennia nadiinoho elektropostachannia pidpriemstv APK na prykladi Uladovo-Liulynetskoj doslidno-selektsiinoi stantsii / O.O. Rubanenko, A.A. Vydmysh, V.V. Yavdyk // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2019. – № 1(92). – S. 23–29.

6. Kulmatytskyi S.O. Vykorystannia malykh HES dlia pokrashchennia elektropostachannia pidpriemstv / S.O. Kulmatytskyi, A.S. Kulmatytska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 4. – S. 155–158.

7. Borkowski D. Small hydropower plant with integrated turbine-generators working at variable speed / Dariusz Borkowski, Tomasz We' giel // IEEE Transactions on energy conversion. – 2013. – № 28(2). – P. 452–459.

8. We' giel T. Variable speed small hydropower plant / Tomasz We' giel, Dariusz Borkowski // Proc. 3rd Int. Symp. PEDG, Aalborg, Denmark. – 2012. – P. 167–174.

9. Pat. 69829 Ukraina, MPK51 H02K 17/00. Hidroelektroenerhetychna ustanovka (STRUMOK) / Yanovych V.P., Zhdanovych L.O., Verlia N.I., Dunska T.L. ; zaiavnyk i vlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi ahraryni universytet. – Zaiavl. 28.11.11 ; opubl. 10.05.12, Biul. № 9.

Рецензія/Peer review : 14.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М.І. Стаднік