

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ENVIRONMENTAL SAFETY AND NATURAL RESOURCES

УДК 551.58.001.57

Olena Voloshkina, Dr, Professor of Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID: 0000-0002-3671-4449 *e-mail*: e.voloshki@gmail.com

Olena Zhukova, PhD, Associate Prof. of Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID: 0000-0003-0662-9996 *e-mail*: zhukova.og@knuba.edu.ua

Tetiana Tkachenko, Dr, head of Department of Labour and Environment Protection
ORCID ID: 0000-0003-2105-5951 *e-mail*: tkachenkoknuba@gmail.com

Illia Sviatohorov, postgraduate of Department of Labour and Environment Protection
e-mail: tall.arh@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR BACKUP ENERGY SUPPLY OF SMALL WASTEWATER PLANTS AND INDIVIDUAL HOUSEHOLDS

***Abstract.** These researches concern the use of renewable sources of electricity during emergency shutdowns for uninterrupted operation of water management systems. The ability to purify drinking water during a power outage requires a backup power source. A mobile power plant, which is usually used as a backup power source during blackouts and emergencies, is known to cause environmental pollution and greenhouse gas emissions. The use of wind energy for these purposes requires the location of wind stations next to small treatment plants and households in order to quickly switch to autonomous mode, which does not always meet the territorial requirements and wind resources of the region. Open areas for the location of solar panels make the use of this type of renewable sources as a reserve in the conditions of military operations in Ukraine not quite suitable. On the basis of foreign experience in the use of small hydroelectric power plants (MHPs) and with different layouts of their location when working at sewage treatment plants, four possible options for providing electricity to sewage treatment plants and households during a blackout are proposed for the conditions of Ukraine. The option of the location of the MHP, which uses the energy of water transported through pipelines and which has successfully proven itself at operating treatment plants, is considered. Variants of using the pressure of an artesian well are proposed: MHP located in a vertical well that supplies artesian water under pressure; when an active artesian well supplies water under natural pressure at a constant flow rate to an above-ground (or underground) tank that simultaneously supplies normal household needs and a connected turbine-powered alternator. In addition, an option for the location of the MHPs was considered for the treatment and further use of rainwater sewage, including for the use of rainwater collected*

from "green roofs" in a tank-reservoir. The peculiarities of using this scheme are that it is easy to combine it with the case of using energy obtained from artesian wells. The proposed technological solutions allow for significant energy savings, including in places where high-quality water supply from artesian wells is possible, depending on the hydrogeological conditions of the area.

Keywords: renewable energy sources; backup power supply; critical infrastructure; hydroelectric power plant; sewage treatment plant.

О.С. Волошкіна, О.Г. Жукова, Т.М. Ткаченко, І.О. Святогорів

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ МАЛИХ ОЧИСНИХ СПОРУД ТА ОКРЕМИХ ДОМОГОСПОДАРСТВ

***Анотація.** Дані дослідження стосуються питань застосування відновлюваних джерел електроенергії під час аварійних відключень для безперебійної роботи водогосподарських систем. Можливість очистки питної води під час відключення електроенергії вимагає наявності резервного джерела живлення. Відомо, що мобільна електростанція, яка зазвичай використовується як резервне джерело живлення під час блекауту та надзвичайних ситуацій спричиняє забруднення навколишнього середовища та викиди парникових газів. Застосування вітрової енергії для даних цілей вимагає розташування вітрових станцій поруч з малими очисними спорудами та домогосподарствами задля оперативного переходу в автономний режим, що не завжди відповідає територіальним вимогам та вітровим ресурсам регіону. Відкриті ділянки для розташування сонячних панелей роблять використання цього типу відновлюваних джерел в якості резервного в умовах воєнних дій в Україні не зовсім придатним. На основі закордонного досвіду застосування малих гідроелектростанцій (МГЕС) і при різних схемах їх розташування при роботі на очисних спорудах запропоновано для умов України чотири можливих варіанти забезпечення електроенергією очисних споруд та домогосподарств під час блекауту. Розглянуто варіант розташування МГЕС, яка використовує енергію води, що транспортується по трубопроводах, і який успішно зарекомендував себе на діючих станціях очистки. Запропоновано варіанти використання напору артезіанської свердловини: МГЕС, що розташована у вертикальній свердловині, яка подає артезіанську воду під тиском; коли на діючій артезіанській свердловині вода під природним тиском при постійній витраті подається в наземний (або підземний) резервуар, з якого одночасно забезпечуються звичайні побутові потреби та під'єднаний генератор змінного струму, який працює від турбіни. Крім цього, розглянуто варіант розташування МГЕС для очистки та подальшого використання стічних вод дощової каналізації, в тому числі і для використання дощової води, зібраної з «зелених покрівель» у бак-резервуар. Особливості використання даної схеми полягають в тому, що її легко поєднати до випадку застосування енергії, що отримується з артезіанських свердловин. Запропоновані технологічні рішення дозволяють забезпечити значне енергозбереження, в тому числі в місцях, де можливе якісне водопостачання з артезіанських свердловин в залежності від гідрогеологічних умов місцевості.*

Ключові слова: відновлювані джерела енергії; резервне енергопостачання; критична інфраструктура; гідроелектростанція; очисна станція.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.5-16>

Вступ

Вплив воєнних дій на руйнування критичної інфраструктури України обумовлює необхідність застосування резервних джерел живлення. Для цих цілей розглянемо можливість застосування відновлюваних джерел енергії для цілей резервного водопостачання та очистки стічних вод. В разі надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури такі рішення допомагають уникнути повного блекауту та підтримати нормальну життєдіяльність окремих громад, малого та середнього бізнесу. В разі аварійного відключення електроенергії окреме резервне джерело живлення має можливість не припиняти подачу питної води населенню та поточну очистку стічної води підприємств та комунальних стоків.

Подібні дослідження за допомогою методу багатокритеріального аналізу було проведено на підставі аналізу відновлюваних джерел енергії для водоочисної станції в одному з регіонів Чехії [1, 2]. Було обрано малу гідроелектростанцію на вході водоочисної станції, як найбільш доцільний варіант у випадку блекауту. В даних роботах дано огляд технічних елементів водопостачання та ступінь їх залежності від електроенергії, а також обговорюється застосування методу багатокритеріального аналізу для енергозабезпечення водоочисних споруд за рахунок джерел резервного живлення.

Зазвичай в сучасних умовах очисна станція може бути обладнана резервним джерелом живлення, яке використовує дизельне паливо. Відомо, що це спричиняє такі серйозні проблеми, як забруднення навколишнього середовища викидами та цінове зростання в довгостроковій перспективі, оскільки за останні роки ресурси викопного палива в усьому світі значно скоротилися. В роботі [3] наведено обсяг емісій CO₂ від згоряння палива, що для дизельного палива, бензину та природного газу складає відповідно 0,27, 0,26 і 0,21 в кг/Квт*годину.

В деяких країнах світу в останні роки була запроваджена нова політика щодо використання для електропостачання гібридних енергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії [3, 4 та ін.]. Автори низки робіт [5–8] вважають правомірним використання відновлюваних джерел енергії для водоочисних споруд в якості резервного джерела живлення. В роботі [9] дане питання розглядається для різних країн світу з врахуванням попиту на електроенергію, і висновки роботи були позитивними.

Таким чином, відновлювані джерела енергії можуть легко слугувати резервним джерелом живлення для водоочисних установок. Гібридні системи можуть забезпечувати стабільне електропостачання в складних умовах шляхом об'єднання фотоелектричної, вітрової генерації та накопичення акумуляторів [10, 11]. Паливні елементи також можна розглядати, якщо вітрова генерація та фотоелектричні установки не можуть забезпечити потреби внаслідок метеорологічних умов місцевості. В якості прикладу можна навести очисну споруду в Нідерландах. Завдяки поновлюваним джерелам електроенергії водоочисна станція самодостатня на 70–96%. Середнє споживання електроенергії становить 69 кВт/год [12]. У випадку відключення світла протягом 24 годин та застосування протягом цього часу генераторів, які працюють на дизельному паливі, викиди CO₂ в навколишнє середовище склали б 447,12 кг (за тієї умови, що працюють лише прилади, необхідні для подачі питної води).

Використання відновлюваних джерел енергії як резервної потужності повинно бути належним чином обґрунтовано на основі всіх еколого-економічних факторів місцевості та специфіки водоочистки. На прикладі однієї з найбільших водопровідних компаній Чеської Республіки показано, як відбувається підготовка для забезпечення аварійного водопостачання у разі відключення електроенергії, а саме:

- оцінка діючих потужностей;
- інвентаризація мобільних і стаціонарних електростанцій;
- забезпечення паливом, включаючи конструкцію сховища та будь-які додаткові запаси [1].

Такі кроки потрібно зробити для розподілу об'єктів за пріоритетністю забезпечення електропостачання та встановлення установок зі стаціонарними або мобільними генераторами. Наступний крок – метод вибору правильного джерела відновлюваної енергії.

Метою даної роботи є аналіз та обґрунтування можливості застосування відновлюваних джерел електроенергії під час аварійних відключень для безперебійної роботи водогосподарських систем на основі закордонного досвіду в умовах України.

Матеріали і методи

Серед відновлюваних джерел виділяють сонячну енергію, енергію вітру, біомаси, геотерму і гідроенергетику. Усі ці джерела електроенергії потрібно було б розмістити поруч із станцією очищення води для оперативного переходу в автономний режим.

Оцінка можливостей залучення потенційних енергоджерел в окремому взятому регіоні проводиться на основі аналізу кожного виду енергоносіїв та їх потенціалу (природний, або теоретичний; технічний, або першочерговий, або реальний).

Будівництво вітрової турбіни на території водоочисної станції може виконувати дві функції: коли вона має достатню потужність для самопідтримки роботи станції або іншого об'єкта у разі відключення електроенергії і коли вітрова турбіна заряджатиме батареї, які її живлять. Потрібну кількість батарей в останньому випадку можна визначити розрахунком за аналогією з малими гідроелектростанціями МГЕС.

Аналіз потенціалу вітрової енергії по регіонах України було проведено в багатьох дослідженнях українських вчених. Так, авторами роботи [13] було оцінено кліматичні ресурси території України та за показниками вітрової енергії (Вт/м^2), швидкості вітру (м/с), сумарними вітроенергоресурсами (МДж/м^2), тривалістю різної швидкості вітру (год) проведено районування території України за потенціалом вітрової енергії. Згідно з дослідженнями даних авторів з п'яти виділених районів країни тільки два регіони мають невисокий та низький потенціал використання вітрових станцій. Це Поліська й Придніпровська низовини, Волинська височина з обмежено сприятливими умовами та Передкарпаття, Закарпатська низовина, долини Українських Карпат, Кримських гір з несприятливими умовами вітровикористання. Решта три райони мають дуже високий потенціал вітрової енергії і найбільш сприятливі умови вітровикористання (узбережжя Чорного та Азовського морів, Південний берег Криму, вершини Українських Карпат, Кримських гір),

високий потенціал і сприятливі умови вітровикористання (Донецька височина, Приазовська та Причорноморська низовини), достатній потенціал і досить сприятливі умови вітровикористання (Подільська і Придніпровська височини). Наведені показники районування вітрового потенціалу енергії свідчать про доцільність його використання на більшій частині території України.

Дослідження вітроенергетичних ресурсів на фоні сучасних кліматичних змін та застосування цих показників для облаштування вітрових та сонячних електростанцій розглянуто в роботах [14–17 та інш.]. Однак, слід зазначити про необхідність врахування як економічної оцінки вибраного варіанта, так і ризику від надзвичайних ситуацій на фоні воєнних дій в Україні.

Використання МГЕС для резервного джерела енергії на малих очисних спорудах та в домогосподарствах можна розглядати як перспективний підхід в умовах України. Оскільки потужність станції залежить, перш за все, від технологічної схеми, розглянемо деякі види можливого застосування МГЕС в умовах надзвичайних ситуацій в центральній енергомережі.

Варіант 1. Можна застосовувати як один з варіантів для забезпечення водоочисної станції електроенергією під час блекауту. При водоочисній станції, працюючій в нормальному стані, розташування МГЕС дозволяє виробляти електроенергію для самозабезпечення та, можливо, дозволяє продавати надлишок енергії в державну електромережу. В якості прикладу МГЕС, яка використовує енергію води, що транспортується по трубопроводах, можна навести станцію, яка є діючою в Чехії [2]. У разі відключення світла, запобіжний контактор автоматично відключає водоочисну установку від електричної мережі та починає заряджати батареї, що забезпечує живлення лише для відповідальних пристроїв транспортування питної води. Таке технічне рішення дозволяє здійснювати регулювання тиску в місці споживання за допомогою сервоклапана, що керує зміною параметрів потоку. Надійність підшипників та регулювання турбіни повинні забезпечити санітарний стан води на належному рівні. Кількість елементів живлення необхідно розрахувати відповідно до середнього споживання електроенергії за добу та вихідної потужності установок (рис. 1).

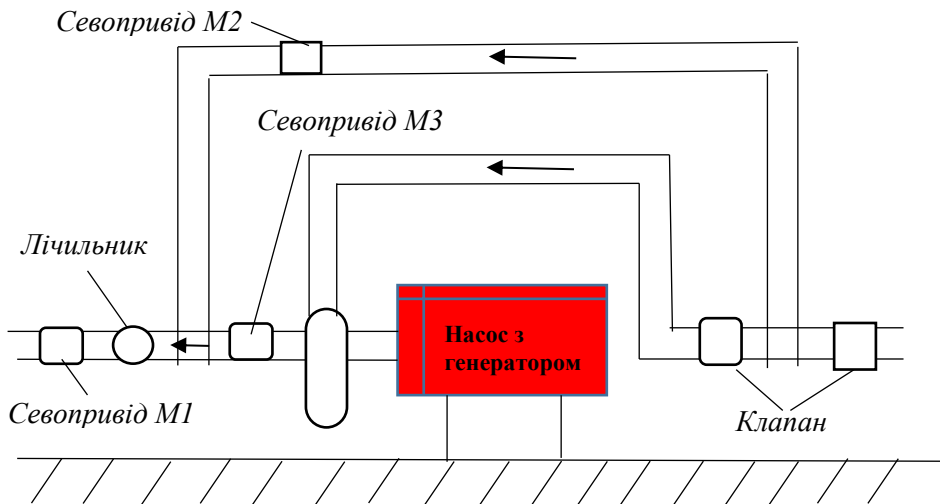


Рис. 1. Схема переключення напорного трубопроводу з необробленими стічними водами (за джерелом [2])

Як зазначено чеськими дослідниками, варіанти розміщення МГЕС впливають безпосередньо на її потужність. При розміщенні у припливній трубі розподільної камери, станція складається з однієї турбіни і трьох насосних установок. Потужності цієї МГЕС складають 90, 110 та 130 кВт. Другий варіант – МГЕС розташована у вхідній трубі живильника неочищеної води. В комплект машини входить двокамерна турбіна. Вихідна потужність 348 кВт. При розташуванні станції у припливній трубі розподільної камери маємо дві турбіни з вихідною потужністю 200 кВт на кожен при включенні паралельної операції. І у випадку розміщення МГЕС у вхідній трубі водосховища при наявності однієї турбіни, вихідна потужність становить 37 кВт.

Варіант 2. Для подачі питної води на очисні споруди також можна запропонувати МГЕС, що розташована у вертикальній свердловині, яка подає артезіанську воду під тиском. Застосування такої конструкції залежить від гідрогеологічних умов та глибини залягання напорних вод. При цьому між пластом високого тиску та безнапірним водоносним горизонтом встановлюється турбіна, що з'єднана з генератором електричної енергії. Схема застосування такої конструкції показана на рис. 2. Аналогічне рішення було запропоновано в роботі [18].

Гідрравлічна потужність турбіни розраховується за відомою формулою:

$$N = Q \times \Delta P \times \eta / 7,5 \times 36, \quad (1)$$

де Q – добовий дебет артезіанської води, м³/доб, ΔP – міжшаровий перепад тиску з урахуванням фільтраційних опорів, η – коефіцієнт корисної дії турбіни.

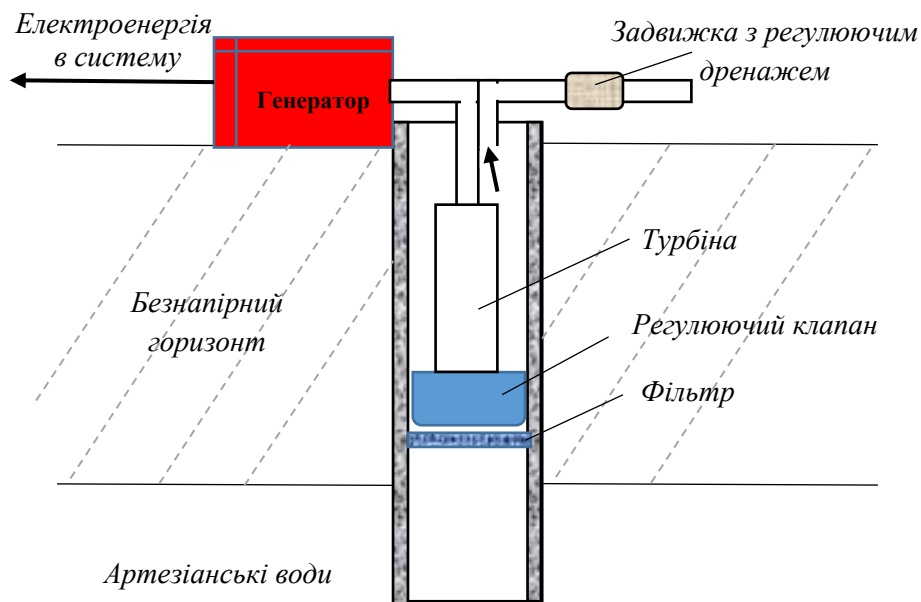


Рис. 2. Схема розташування МГЕС з використанням напору артезіанської скважини

Варіант 3. Коли на діючій артезіанській свердловині вода під природним тиском при постійній витраті подається в наземний (або підземний) резервуар, з якого одночасно забезпечуються звичайні побутові потреби підприємства

або приватної будівлі (бойлер, електричні батареї, конвектори тощо), а також під'єднаний генератор змінного струму, який працює від турбіни. Але при цьому в ємності (баку) напір повинен бути достатнім для руху цієї системи. Дане рішення ґрунтується на основі даних винаходу для приватної будівлі [19]. Тут надлишок електроенергії, який не потрібен у періоди низької потреби в електроенергії, подається на джерело електроенергії, яке використовується в періоди пікового споживання електроенергії, а вода з артезіанської свердловини додатково забезпечує охолодження приміщень у певний час року.

При застосуванні даного рішення для роботи малих очисних споруд, енергія, що перетворюється на постійний струм, підтримує заряд акумулятора, який діє лише як резервне джерело електроенергії під час надзвичайної ситуації. На рис. 3 наведено схему можливості застосування даного рішення. Для більшої безпеки бак-резервуар можна перенести у підвальне приміщення нижче поверхні землі. Стічні води з турбоагрегату можна скидати на землю через спеціально облаштовану трубу. Така система дозволяє ефективно використовувати артезіанські свердловини для зменшення потреб у споживанні енергії та може застосовуватися у період повного її відключення в якості резервного джерела електропостачання.

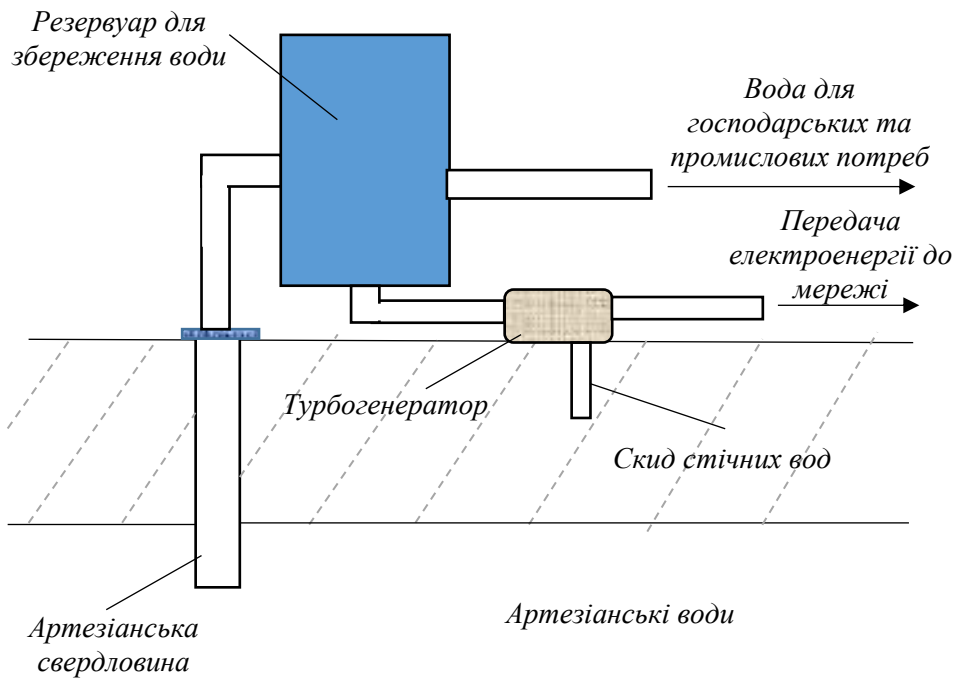


Рис. 3. Розташування МГЕС для розрядки акумуляторної батареї на артезіанській свердловині

Варіант 4. Дане технічне рішення можна застосувати для очистки та подальшого використання стічних вод дощової каналізації, в тому числі і для використання дощової води, зібраної з «зелених покрівель» у бак-резервуар. При розташуванні останнього на даху будівлі, а у підвальному приміщенні будівлі турбогенератора (що складається з турбіни, наприклад пельтонного

При даній схемі будівля зазвичай забезпечується електроенергією, що виробляється водою в резервуарі та дозволяє зменшити потребу у зовнішньому джерелі електроенергії. Коли потреби будівлі не можуть бути задоволені енергією з генератору, додатково необхідна електроенергія з іншого джерела.

Висновки

Мобільні електростанції мають багато переваг: можуть працювати відразу, вартість покупок відносно невисока, а експлуатація їх проста. Однак негативні моменти, що пов'язані з викидами в процесі згоряння, особливо при неповному окислюванні в процесі спалювання, потребують більш детального економічного аналізу при їх застосуванні порівняно з більш екологічно «чистими» резервними джерелами енергопостачання. Проблема заміни поточних резервних джерел живлення відновлюваними джерелами зараз широко обговорюється у світі.

Вітрові турбіни потребують їх розташування поблизу населених пунктів (що може викликати скарги місцевих жителів) та очисних споруд та залежать від наявності вітрових ресурсів регіону. Фотоелектричні установки мають вихідну потужність, що коливається, і цей факт потребує акумуляторів достатньої ємності. Тривалі терміни окупності та відкриті ділянки для розташування сонячних панелей роблять використання цього типу відновлюваних джерел в якості резервного в умовах воєнних дій в Україні не зовсім придатним.

Дані дослідження показали, що МГЕС можуть бути широко використані для умов України в якості резервного джерела під час відключень очисних споруд від центральної електромережі, але потужність їх сильно залежить від потоку води та напору. Місце розташування в даному випадку має вирішальне значення, оскільки є потреба розміщення їх у водоводах, де на потік води не впливає відключення світла. Також описані системи забезпечують значне енергозбереження в місцях, де є якісне водопостачання з артезіанських свердловин. Існує багато місць по всій країні, де такі артезіанські свердловини можуть бути облаштовані, зважаючи на гідрогеологічні умови місцевості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kotulla M., Vrzala M., Leonowicz Z., Kłosok-Bazan I., Boguniewicz-Zabłocka J. Renewable Energy Sources as Backup for a Water Treatment Plant. *Energies* 2022, №15. P. 62–88.
2. Howe A. Renewable energy potential for the water industry. *Environ. Agency* 2009, №1, pp. 1–48. <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2012.09.018>.
3. Gono M., Kyncl M., Gono R. Hydropower stations in Czech Water supply System. *AASRI Procedia* 2012, № 2. pp. 81–86.
4. Mališ J. Methods of Carbon Dioxide Emission Reduction. Master's Thesis, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic, 2007.
5. Blechinger P., Cader C., Bertheau P., Huyskens H., Seguin R., Breyer C. Global Analysis of the Techno-economic Potential of Renewable Energy Hybrid Systems on Small Islands. *Energy Policy* 2016, № 98. pp. 674–687.
6. Fedak W., Anweiler S., Ulbrich R., Jarosz B. The Concept of Autonomous Power Supply System Fed with Renewable Energy Sources. *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.* 2017, №5. pp. 579–589.

7. Dungeboev S., Karimov A., Karshiyeva N. Questions of development and use of renewable energy sources for low power enterprises. E3S Web Conf. 2020.
8. Bakhadyrkhanov M.K., Valiev S.A., Zikrillaev N.F., Koveshnikov S.V., Saitov E.B., Tachilin S.A. Silicon photovoltaic cells with clusters of nickel atoms. Appl. Sol. Energy 2016, № 52. pp. 278–281.
9. Toshov J., Saitov E. Portable autonomous solar power plant for individual use. E3S Web Conf. 2019.
10. Fayziev S., Sobirov Y., Makhmudov S. Measurement of the direct flux of solar radiation during operation of a big solar furnace. Int. J. Sustain. Green Energy 2018, № 7. pp. 21–28.
11. Sapaev I., Saitov E., Zoxidov N., Kamanov B. Matlab-model of a solar photovoltaic station integrated with local electrical network. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. 883 p.
12. Bogdanov D., Farfan J., Sadowskaia K., Aghahosseini A., Child M., Gulagi A., Oyewo A.S., de Souza Noel Simas Barbosa L., Breyer C. Radical transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps. Nat. Commun. 2019, № 1.
13. Straškrabová A., Aktéri R., Blackoutu V., Jihomoravském K. Východiska a Soucasný Stav. Master's Thesis, Masaryk University, Brno, Czech Republic, 2016.
14. Borowy B.S., Salameh Z.M. Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system. Energy Convers. IEEE Trans. 1996, № 11. pp. 367–375.
15. Zhou W., Lou C., Li Z., Lu L., Yang H. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. Appl. Energy 2010, №87. p. 380–389.
16. Ayop R., Isa N.M., Tan C.W. Components sizing of photovoltaic stand-alone system based on loss of power supply probability. Renew. Sustain. Energy Rev. 2018, №81. pp. 2731–2743.
17. Sediqi M.M., Yona A., Senjyu T., Lotfy M.E., Furukakoi M. Optimal Economical Sizing of Grid-Connected Hybrid Renewable Energy System. J. Energy Power Eng. 2017, №11. pp. 244–253.
18. Diaf S., Belhamel M., Haddadi M., Louche A. Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica Island. Energy Policy 2008, № 36. pp. 743–754.
19. Soshinskaya M., Crijs-Graus W.H.J., van der Meer J., Guerrero J.M. Application of a microgrid with renewables for a water treatment plant. Appl. Energy 2014, №134. pp. 20–34.
20. Дмитренко Л.В., Барандіч С.Л. Вітроенергетичні ресурси в Україні. Наук. праці УкрНДГМІ, 2007, № 256. С. 166–173.
21. Безручко К.В., Губін С.В. Автономні наземні енергетичні установки на поновлюваних джерелах енергії. Харків: Нац. Аерокосм. Ун-т «ХАІ», 2007. 310 с.
22. Osadchyi V., Skrynyk O., Palamarchuk L., Skrynyk O., Osypov V., Oshurok D., Sidenko V. Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946-2020. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553>.
23. Skrynyk O.A., Osadchyi V.I., Szentimrey T., Bihari Z., Sidenko V.P., Oshurok D.O., Boichuk D.O., Skrynyk O.Y. Spatial interpolation of climatological data with relief and physico-geographical peculiarities of the territory of Ukraine taken into account, Ukr. Geogr. J., 2020, №110. pp. 13–19. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.013>.
24. Streicher W., Wiese A. Renewable energy: Technology, and environment economics. 2007. <https://doi.org/10.1007/3-540-70949-5>.
25. Dotson Bryan D. Downhole gas flow powered delique faction pump, 2008. Available from: <https://patents.google.com/patent/US20090218091A1/en>.
26. Donnelly Jr. Artesan well generated power system, 1986. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/43/08/f1/a63a63fe4ece1a/US4607169.pdf>.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2022 і прийнята до друку після рецензування 30.01.2023

REFERENCES

1. Kotulla, M., Vrzala, M., Leonowicz, Z., Kłosok-Bazan, I., & Boguniewicz-Zabłocka, J. (2022). Renewable Energy Sources as Backup for a Water Treatment Plant. *Energies*, 15, 62–88.
2. Howe, A. (2009). Renewable energy potential for the water industry. *Environ. Agency*, 1, 1–48. <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2012.09.018>.
3. Gono, M., Kyncl, M., & Gono, R. (2012). Hydropower stations in Czech Water supply System. *AASRI Procedia*, 2, 81–86.
4. Mališ, J. (2007). *Methods of Carbon Dioxide Emission Reduction* (Master's thesis). Brno, Czech Republic: Brno University of Technology.
5. Blechinger, P., Cader, C., Bertheau, P., Huyskens, H., Seguin, R., & Breyer, C. (2016). Global Analysis of the Techno-economic Potential of Renewable Energy Hybrid Systems on Small Islands. *Energy Policy*, 98, 674–687.
6. Fedak, W., Anweiler, S., Ulbrich, R., & Jarosz, B. (2017). The Concept of Autonomous Power Supply System Fed with Renewable Energy Sources. *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.*, 5, 579–589.
7. Dungbojev, S., Karimov, A., & Karshiyeva, N. (2020). Questions of development and use of renewable energy sources for low power enterprises. *E3S Web Conf.*, 216, 01132. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601132>.
8. Bakhadyrkhanov, M. K., Valiev, S. A., Zikrillaev, N. F., Koveshnikov, S. V., Saitov, E. B., & Tachilin, S. A. (2016). Silicon photovoltaic cells with clusters of nickel atoms. *Appl. Sol. Energy*, 52, 278–281.
9. Toshov, J., & Saitov, E. (2019). Portable autonomous solar power plant for individual use. *E3S Web Conf.*, 139, 01087. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901087>.
10. Fayziev, S., Sobirov, Y., & Makhmudov, S. (2018). Measurement of the direct flux of solar radiation during operation of a big solar furnace. *Int. J. Sustain. Green Energy*, 7, 21–28.
11. Sapaev, I., Saitov, E., Zoxidov, N., & Kamanov, B. (2020). Matlab-model of a solar photovoltaic station integrated with local electrical network. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 883.
12. Bogdanov, D., Farfan, J., Sadovskaia, K., Aghahosseini, A., Child, M., Gulagi, A., Oyewo, A.S., de Souza Noel Simas Barbosa L., & Breyer, C. (2019). Radical transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps. *Nat. Commun*, 1.
13. Straškrabová, A., Aktéri, R., Blackout, V., & Jihomoravském, K. (2016). *Východiska a Soucasný Stav* (Master's Thesis). Czech Republic: Masaryk University.
14. Borowy, B. S., & Salameh, Z. M. (1996). Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system. *Energy Convers. IEEE Trans.*, 11, 367–375.
15. Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lü, L., & Yang, H. (2010). Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. *Appl. Energy*, 87, 380–389.
16. Ayop, R., Isa, N. M., & Tan, C. W. (2018). Components sizing of photovoltaic stand-alone system based on loss of power supply probability. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 81, 2731–2743.
17. Sediqi, M. M., Yona, A., Senjyu, T., Lotfy, M. E., & Furukakoi, M. (2017). Optimal Economical Sizing of Grid-Connected Hybrid Renewable Energy System. *J. Energy Power Eng.*, 11, 244–253.
18. Diaf, S., Belhamel, M., Haddadi, M., & Louche, A. (2008). Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica Island. *Energy Policy*, 36, 743–754.
19. Soshinskaya, M., Crijns-Graus, W. H. J., van der Meer, J., & Guerrero, J. M. (2014). Application of a microgrid with renewables for a water treatment plant. *Appl. Energy*, 134, 20–34.

20. Dmytrenko, L. V., & Barandych, S. L. (2007). Wind energy resources in Ukraine. *Science works of UkrNDGMI*, 256, 166–173 [in Ukrainian].
21. Bezruchko, K. V., & Gubin, S. V. (2007). Autonomous ground energy installations based on renewable energy sources. Kharkiv: National Aerocsm. KHAI University [in Ukrainian].
22. Osadchyi, V., Skrynyk, O., Palamarchuk, L., Skrynyk, O., Osypov, V., Oshurok, D., & Sidenko, V. (2022). Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946-2020. *Data in Brief*, 44, 108553. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553>.
23. Skrynyk, O. A., Osadchyi, V. I., Szentimrey, T., Bihari, Z., Sidenko, V.P., Oshurok, D. O., Boichuk, D. O., & Skrynyk, O. Y. (2020). Spatial interpolation of climatological data with relief and physiogeographical peculiarities of the territory of Ukraine taken into account. *Ukr. Geogr. J.*, 110, 13–19. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.013>.
24. Streicher, W., & Wiese, A. (2007). Renewable energy: Technology, and environment economics. <https://doi.org/10.1007/3-540-70949-5>.
25. Dotson, Bryan D. (2008). Downhole gas flow powered delique faction pump. Retrieved from: <https://patents.google.com/patent/US20090218091A1/en>.
26. Donnelly, Jr. (1986). Artesan well generated power system. Retrieved from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/43/08/f1/a63a63fe4ece1a/US4607169.pdf>.

The article was received 24.10.2022 and was accepted after revision 30.01.2023

Волошкіна Олена Семенівна

доктор технічних наук, професор кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: 0000-0002-3671-4449 **e-mail:** e.voloshki@gmail.com

Жукова Олена Григорівна

кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: 0000-0003-0662-9996 **e-mail:** elenazykova21@gmail.com

Ткаченко Тетяна Миколаївна

доктор технічних наук, завідувачка кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: 0000-0003-2105-5951 **e-mail:** tkachenkoknuba@gmail.com

Святогоров Ілля Олегович

аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037

e-mail: tall.arh@gmail.com