

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕС ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ
НАСОСНИХ СТАНЦІЙ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Павлов А. О., інженер СК Монолит, e-mail: andriy_pavlov@me.com

Мороз О. М., д.т.н., проф., e-mail: moroz.an@ukr.net

Мірошник О. О., д.т.н., проф., e-mail: omiroshnyk@ukr.net

Пазій В. Г., аспірант, e-mail: pazziy@ukr.net

Середа А. І., к.т.н., доцент., e-mail: ais66@ukr.net

Актуальність дослідження. В умовах воєнної агресії рф проти України та постійних ударів по енергетичних об'єктах України об'єднана енергетична система (ОЕС) України на початку весни 2024 року втратила понад 55% генерації [1]. Для забезпечення безпеки постачання електричної енергії споживачам, виникла нагальна потреба в забезпеченні об'єктів критичної інфраструктури резервними джерелами електропостачання. У відповідності із стратегією розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року, затверджену КМ України 18.07.2024 року [2] одним із об'єктів електроенергетики, використання яких є доцільним для створення систем розподіленої генерації та розв'язання проблеми недостатності генеруючих потужностей в ОЕС України є об'єкти відновлюваної енергетики. Одним із об'єктів критичної інфраструктури є системи водопостачання населених пунктів та підприємств.

Основні матеріали досліджень. До об'єктів відновлювальної енергетики відносяться на ряду із вітровими, біоенергетичними станціями та гідроелектростанціями і сонячні електростанції (СЕС) – електроустановки, які призначені для виробництва електричної енергії, які є економічними, екологічними, мають короткий строк будівництва та введення в експлуатацію. Водночас СЕС мають негарантований графік виробництва електричної енергії, який залежить від рівня сонячної інсоляції, яка має добову та річну періодичність. При цьому середньодобові обсяги виробництва електричної енергії у зимовий період значно (шестикратно) нижчі за аналогічні показники у період літнього максимуму сонячної інсоляції. Такі режими роботи СЕС призводить до утворення профіцитів електричної енергії у денні години весняно-літнього періоду [2]. Виробники, які генерують надлишки енергії, мають можливість продажу електричної енергії на ринку електричної енергії.

В Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року [2] передбачається встановлення на об'єктах критичної інфраструктури, зокрема об'єктах централізованого водопостачання та водовідведення, об'єктів відновлюваної енергетики, які повинні забезпечувати автономне живлення струмоприймачів, необхідних для функціонування об'єктів критичної інфраструктури. В умовах воєнних дій в Україні насосні станції (НС) систем водопостачання є важливими об'єктами критичної інфраструктури, що забезпечують життєво важливі послуги для населення та промисловості. В умовах воєнного стану НС можуть стикатися з рядом суттєвих специфічних викликів та загроз, зокрема у питаннях забезпечення електроенергії: руйнування енергетичної інфраструктури, що може призвести до відключення насосів від електромережі [3]. Питання електрозабезпечення НС систем водопостачання в таких умовах можливо частково вирішити за рахунок СЕС.

Для систем водопостачання селищ або невеликих міст, як правило, використовуються артезіанські свердловини, які забезпечують високі санітарно-гігієнічні показники води. Для таких систем водопостачання характерна схема, яка складається із насосної станції 1-го підймання, резервуару чистої води, насосної станції 2-го підймання, водонапірної башти (ВБ) та розподільної мережі. Насосна станція 1-го підймання повинна забезпечувати максимальну добову витрату споживачів систем і вона працює у рівномірному режимі. Насосна станція 2-го підймання розраховується на максимальну годинну подачу, тому вона працює у циклічному режимі в залежності від рівнів води у ВБ [4].

Розглянемо приклад системи водопостачання із зазначеним вище компонованням, яка забезпечує подачу за добу 100 м³ води. НС 1-го підймання, потужність електричного двигуна

насоса якої 5,5 кВт, і яка подає воду в резервуар чистої води, працює протягом 6 годин за добу і споживає 35 кВт·год електроенергії. НС 2-го підймання, потужність електричного двигуна насоса якої 2,2 кВт, і яка що подає воду у ВБ Рожновського, працює протягом 8 годин за добу і споживає 18 кВт·год. Таким чином загальне споживання електричної енергії в середньому складає 43 кВт·год, макс. потужність насосів 7,7 кВт.

У якості обладнання для СЕС розглянемо використання фотоелектричних модулів (ФЕМ) Longi Solar Hi-MO 6 LR5-72HTH-585M [5], ці модулі мають потужність 585 Вт і ККД 22,6%, та гібридний інвертор Growatt 15 кВт 3ф MID 15KTL3-ХН номінальною потужністю 15 кВт [6]. Цей гібридний інвертор має пікову потужність 25 кВт, вихідну напругу змінного струму 230/400 В, початкова напруга 200 В, кількість трекерів MPPT – 2. Враховуючи параметри інвертора до нього можливо підключити 25 ФЕМ, але враховуючи що такий інвертор має 2 MPPT трекери, то на кожний трекер буде під'єднано стрінг по 12 модулів і загальна кількість модулів буде 24 штуки. Напруга стрінга буде 628 В, що відповідає параметрам вхідної напруги інвертора. Максимальна потужність 24 ФЕМ становить 14 кВт, що також задовольняє параметри інвертора.

Розрахунки прогнозованої генерації СЕС потужністю 14 кВт по панелях, яка розміщена у м. Мерефа Харківської області, за допомогою програми PVGIS Calculator [7] показали, що максимальна річна генерація при оптимальних кутах нахилу та азимуту модулів буде складати 15853 кВт·год. Розрахунки генерації СЕС по місяцях показані в табл. 1. Також там приведені дані місячного споживання електроенергії та різниця між споживанням та генерацією. З аналізу видно, що дефіцит електроенергії спостерігається у 01-03 та 10-12 місяцях, а профіцит – з квітня по вересень. Річний небаланс складає 158 кВт·год.

Таблиця 1. Прогнозна генерація СЕС потужністю 14 кВт та економічні показники

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Рік
Генерація СЕС, кВт·год	562	752	1270	1643	1894	2009	2021	2027	1648	1127	564	338	15853
Споживання НС, кВт·год	1333	1204	1333	1290	1333	1290	1333	1333	1290	1333	1290	1333	15695
Різниця, кВт·год	-771	-452	-63	353	561	719	688	694	358	-206	-726	-995	-158
Вартість е.е., яку зекономила СЕС, грн	13330	12040	13330	12900	13330	12900	13330	13330	12900	13330	12900	13330	156950
Вартість е.е., яка продана за Net-billing, грн	-	-	-	530	842	1079	1032	1041	537	-	-	-	5060
Загальна сума доходу, грн	13330	12040	13330	13430	14172	13979	14362	14371	13437	13330	12900	13330	162010

Для попереднього техніко-економічного обґрунтування приймемо такі дані: вартість одного ФЕМ становить 5450 грн, вартість інвертора 80600 грн, загальна вартість лічильника та системи моніторингу – 12400 грн, кріплення модулів, конектори, кабельна продукція та апарати захисту – 28800 грн, логістика та витратні матеріали – 18000 грн, монтажні та інші роботи – 38000 грн. Загальні капітальні витрати на будівництво СЕС будуть складати 308600 грн. Вартість електроенергії для комунальних підприємств у вересні 2024 року складала біля 10 грн/кВт·год. Оскільки СЕС в певні місяці генерує більше електроенергії ніж споживає, то підприємство, що забезпечує водопостачання, зможе продавати надлишки електроенергії по програмі Net-billing [8]. За програмою Net-billing розрахунки обсягів віддачі електричної енергії в мережу та прийому електричної енергії з мережі оператора систем розподілу (ОСР) здійснюється за даними автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії, встановленої на об'єкті споживача. Вартість електричної енергії відпущеної в мережу ОСР визначається за ціною, що склалася на ринку «на добу наперед» (РДН) у розрахунковому періоді (годині). Так 22.10.2024 року ціна електроенергії на РДН з 12 до 16 години складала біля 3,9 грн/кВт·год [9], а 17.07.2024 року ціна на електроенергію з 13 до 14 складала 0,1

грн/кВт·год. В інші годин дня ціни значно вищі, так 17.07.2024 року з 8 до 9 години ціна складала 4,9 грн/кВт·год, а з 18 годин – 9 грн/кВт·год. Виходячи з аналізу цін на РДН доцільно планувати режими роботи електрообладнання НС таким чином, щоб насоси працювали в години максимальної генерації СЕС, а в години високих цін на РДН СЕС віддавала електроенергію в мережу ОСР. Для розрахунків приймемо ціну відпуску електроенергії на РДН 1,5 грн/кВт·год.

Дані розрахунку економічних показників системи водопостачання із СЕС потужністю 14 кВт приведені в таблиці 2, а графік повернення інвестицій – на рис. 1. При проведенні економічних показників крім капітальних витрат були також враховані операційні витрати у сумі 24 тис. грн за рік, експлуатаційні витрати у сумі 20 тис. грн за рік, а також було враховано зменшення генерації за рахунок деградації ФЕМ.

Таблиця 2. Дані розрахунку економічних показників

Рік	Витрати, грн	Дохід, грн	Прибуток, грн
1-й	352600	162000	-190600
2-й	44000	160000	-74600
3-й	44000	158000	39400
4-й	44000	156000	151400
5-й	44000	154000	261400
Разом:	528600	790000	187000

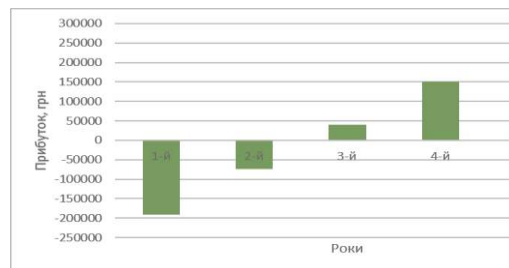


Рисунок 1 – Графік повернення інвестицій

Висновки. Підвищення надійності електрозабезпечення систем водопостачання в умовах військової агресії рф можливо забезпечити за рахунок встановлення СЕС. Так для системи водопостачання, яка має насосні станції першого та другого підймання із максимальною сумарною потужністю насосів 7,7 кВт, і які споживають за добу в середньому 43 кВт·год, доцільним є встановлення СЕС потужністю 14 кВт. Така СЕС дозволяє повністю забезпечити електропостачання насосних станцій з квітня по вересень, і частково у інші місяці. Розрахунок економічних показників показав, що вже на 3 рік експлуатації СЕС кошти повністю відшкодовуються і за 5 років експлуатації прибуток буде складати 187 тис. грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Буславець О. А., Лежнюк П. Д. Відновлювана енергетика в сучасному енергобалансі України. URL: <http://surl.li/jmhftm>.
2. Розпорядження КМ України «Про схвалення Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024 — 2026 роках». URL: <http://surl.li/fgycnf>.
3. Кравчук, О., Андріященко, О., Левітін, В., Єремченко, Л., & Лаврухіна, К. (2024). Рекомендації щодо особливостей роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення в період воєнних дій. URL: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268>.
4. Орлов В. О., Зошук А. М. Проектування систем сільськогосподарського водопостачання. Навч. посібник. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2005. – 252 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2249/1/622286%20zah.pdf>.
5. Сонячні панелі батереї Longi Solar Hi-MO 6 LR5-72HTH-585M, HPBC. URL: <http://surl.li/iqtycs>.
6. Гібридний інвертор Growatt 15 кВт 3ф MID 15KTL3-XH. URL: <http://surl.li/rknfro>.
7. PVGIS Calculator. URL: <https://pvgis.com/>.
8. Про затвердження Порядку продажу та обліку електричної енергії, виробленої активними споживачами, та розрахунків за неї. URL: <http://surl.li/mbujbu>.
9. Аналіз РДН та ВДР. URL: <http://surl.li/zcltwl>.