



ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ІНТЕГРАЦІЇ РОЗПОДІЛЕНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ВОДОКАНАЛУ М. ЧЕРВОНОГРАД В УКРАЇНІ

Ден Оліс і Анастасія Сахарова
Національна лабораторія відновлюваної енергетики

травень 2024 р.

Продукт партнерства USAID-NREL
Договір № ІАГ-17-2050

ПРИМІТКА

Ця робота була частково написана Національною лабораторією відновлюваної енергетики (NREL), якою керує Alliance for Sustainable Energy, LLC, для Міністерства енергетики США (DOE) за контрактом № DE-AC36-08GO28308. Фінансування надано Агентством США з міжнародного розвитку (USAID) за контрактом № IAG-17-2050. Погляди, висловлені в цьому звіті, не обов'язково відображають погляди Міністерства енергетики США або Уряду США, або будь-якого його агентства, включаючи USAID.

Цей звіт доступний безкоштовно в Національній лабораторії відновлюваної енергетики (NREL) за адресою www.nrel.gov/publications.

Звіти Міністерства енергетики США (DOE), створені після 1991 року, і все більше документів до 1991 року доступні безкоштовно на www.OSTI.gov.

Обкладинка з iStock 471670114.

NREL друкує на папері, який містить матеріали вторинної переробки.

Подяка

Автори висловлюють подяку колективу КП «Червоноградводоканал» та Червоноградській міській раді за підтримку та настанови під час виконання цієї роботи. Зокрема, ми вдячні за допомогу Андрію Залівському, Дмитру Балко, Андрію Думичу, Василю Чапляку та Володимиру Солдату. Відповідальність за будь-які помилки або упущення в цьому звіті несуть виключно автори. Ця робота була профінансована Агентством США з міжнародного розвитку USAID/Україна та ініціативою Net Zero World.

Список Скорочень

УЗЕ	установка зберігання енергії
ФЕС	фотоелектрична система
NREL	Національна лабораторія відновлюваної енергетики

Резюме

У цьому звіті представлено попередній високорівневий техніко-економічний аналіз розподіленої відновлюваної енергетики для Червоноградського водоканалу, комунального підприємства водопостачання в м.Червоноград в Україні. Аналіз оцінює технічний потенціал та економічну доцільність інтеграції сонячних фотоелектричних систем (ФЕС) і установок зберігання енергії (УЗЕ) на водонасосних станціях КП «Червоноградводоканал»: «Правда», «Бендюга» та «Межиріччя».

Насосні станції наразі отримують електроенергію від місцевої енергокомпанії. Кожна станція також має резервні генератори для забезпечення живлення критичних навантажень у періоди відключення електроенергії.

Цей аналіз показує, що ФЕС є економічно доцільним додатковим джерелом електроенергії для насосних станцій. Додаткове використання ФЕС зменшить витрати на електроенергію та, під час відключень в електромережі, заощадить запаси палива, щоб резервні системи могли обслуговувати критичні навантаження протягом більш тривалого часу.

Встановлено, що інтеграція УЗЕ не є економічно доцільним рішенням на трьох насосних станціях. Рішення для кожного об'єкта підсумовано в таблиці ES-1.

На насосній станції Бендюзького водозабору оптимальна з точки зору витрат ФЕС обмежена доступною площею ділянки. За оцінками, її потужність становить приблизно 28 кВт постійного струму. Ця система забезпечить близько 6% річного споживання електроенергії, що допоможе заощадити до 4900 доларів США на рахунках за електроенергію. Простий період окупності системи складає 4,9 років, враховуючи тариф на електроенергію 0,20 доларів США/кВт-год. Об'єкти «Межиріччя» та «Правда» не обмежені у просторі.

У Межиріччі економічно доцільною є ФЕС потужністю 79 кВт постійного струму. За оцінками, ця система забезпечує приблизно 22% річної потреби в електроенергії та скорочує річні витрати на електроенергію приблизно на 11 500 доларів США.

На насосній станції «Правда» економічно доцільно буде розмістити ФЕС потужністю 73 кВт постійного струму, що забезпечує близько 10 500 доларів США щорічної економії на рахунках і 21% річної потреби в електроенергії. Приблизний простий період окупності для систем «Межиріччя» і «Правди» становить 6,0 років.

Таблиця ES-1. Рішення по Розподіленій Генерації для Кожної Насосної Станції

Об'єкт	Бендюга	Межиріччя	Правда
Потужність ФЕС (кВт постійного струму)	28	79	73
Річна генерація (МВт-год)	24.7	69.9	64.0
УЗЕ (кВт)	0	0	0
Використано ел.ен. (МВт-год)	24.7	57.6	52.3
Експортовано ел.ен. (МВт-год)	0.0	12.3	11.7
Експортовано ел.ен. (%)	0%	18%	18%

Об'єкт	Бендюга	Межиріччя	Правда
Частка відновлюваної енергії	6%	22%	21%
Економія на комунальних послугах, 1 рік (\$)	\$4,900	\$11,500	\$10,500
Чиста поточна вартість (\$)	\$51,400	\$104,500	\$94,200
Капітальні витрати (\$)	\$23,800	\$67,400	\$61,700
Проста окупність (роки)	4,9	6,0	6,0

Економічно доцільні потужності та фінансові показники, представлені в цьому звіті, є оціночними на основі даних і припущень, доступних на момент написання. Фактичні фінансові показники проекту залежать від фактичної вартості систем і вартості електроенергії у майбутньому.

Інформацію для розрахунку очікуваних витрат надали місцеві розробники та некомерційні організації, що працюють у секторі відновлюваної енергетики. Використані припущення про витрати є загальними оцінками для розподілених енергетичних ресурсів і не враховують деталі конкретної локації чи ринку в Черновнограді.

В якості наступних кроків «Червоноградводоканалу» рекомендовано залучити місцевих експертів для перевірки місць, визначених для встановлення ФЕС, та електричної системи кожного об'єкта для уточнення вартості та технічного потенціалу. Інтеграція ФЕС для використання у періоди відключення електроенергії вимагає вивчення її потенційного впливу на збільшення навантаження на резервні генератори з поршнеvim двигуном. Без належного проектування для забезпечення стабільної роботи резервної системи критично важливе водопостачання може бути під загрозою. Огляд системи резервного живлення та визначення того, чи можливо інтегрувати сонячні ФЕС без негативного впливу на генератор, може бути виконано як доповнення до цього звіту. Цей звіт і звіт про оцінку локації можна використовувати для пошуку фінансових партнерів або публікації запиту на отримання пропозицій від кваліфікованих розробників.

Зміст

Резюме.....	vii
1 Вступ	1
2 Ділянки Водонасосних Станцій.....	2
2.1 Споживання Електроенергії та Витрати	2
2.2 Доступна Ділянка під ФЕС.....	3
3 Техніко-економічний Потенціал ФЕС та УЗЕ	5
3.1 Результати Аналізу.....	5
3.2 Припущення та Вхідні Дані для Аналізу	6
4 Наступні Кроки.....	9
5 Підсумок.....	10
Посилання.....	11

Список Рисунків

Рисунок 1. Місячне споживання електроенергії для насосних станцій Бендюга, Межиріччя, Правда	3
Рисунок 2. Приблизні типові добові профілі навантаження.....	3

Список Таблиць

Таблиця ES-1. Рішення по Розподіленій Генерації для Кожної Насосної Станції.....	vii
Таблиця 1. Споживання Електроенергії та Витрати.....	2
Таблиця 2. Доступна Площа та Приблизна Максимальна Встановлена Потужність ФЕС	4
Таблиця 3. Найбільш Економічно Доцільні Рішення для ФЕС та УЗЕ для Кожної Насосної Станції	5
Таблиця 4. Економічні Параметри	7
Таблиця 5. Вартість і Припущення щодо Розподілених Енергетичних Ресурсів.....	7
Таблиця 6. Технічні Параметри.....	7
Таблиця 7. Технічні Параметри УЗЕ.....	8

1 Вступ

Національна Лабораторія Відновлюваної Енергетики (NREL) надає технічну допомогу Україні в рамках програм, що фінансуються Агентством США з міжнародного розвитку в Україні та програмою Net Zero World Міністерства енергетики США.

Заявлені національні цілі уряду України включають збільшення частки розподілених енергоресурсів та підвищення стійкості енергосистеми України. У плані Ukraine Facility зазначено, що стратегічні цілі включають «підтримку зеленого переходу в енергетичному секторі та сприяння збільшенню частки відновлюваної енергії, що також сприятиме посиленню децентралізації енергетичної системи та одночасному підвищенню енергетичної безпеки» (Ukraine Facility 2024). Крім того, у Додатку до Плану заходів з реалізації Енергетичної стратегії України до 2050 року серед запланованих ініціатив зазначено включення механізмів заохочення впровадження розподіленої генерації електроенергії (Міністерство Енергетики України 2024).

У цьому звіті описано результати аналізу інтеграції розподіленої генерації на трьох водонасосних станціях у м.Червоноград в Україні. Насосні станції забезпечують господарсько-побутовою водою споживачів комунального підприємства «Червоноградводоканал». Розглянута розподілена генерація — це сонячні фотоелектричні системи (ФЕС) і установки зберігання енергії (УЗЕ). Ми оцінили технічний і економічний потенціал цих систем за допомогою System Advisor Model (SAM) і моделі REopt[®] NREL. REopt - це змішана цілочислова модель, яка визначає оптимальне з точки зору витрат розгортання технологій розподіленої енергетики при дотриманні операційних обмежень (Cutler, et al., 2017). Оптимізація REopt визначає розміри системи та стратегії диспетчеризації, які мінімізують вартість життєвого циклу енергії для конкретного об'єкта. SAM - це техніко-економічна модель, яка розраховує продуктивність та фінансові показники відновлюваних джерел енергії та систем зберігання. Ресурси для цих програмних інструментів, включаючи опис методологій, можна знайти тут:

- System Advisor Model, <https://sam.nrel.gov/> і
- REopt, <https://www.nrel.gov/reopt/>.

2 Ділянки Водонасосних Станцій

NREL оцінили три водонасосні станції в м.Червоноград в Україні з точки зору інтеграції сонячних фотоелектричних систем та установок зберігання енергії. Це три станції: «Бендюга», «Межиріччя» і «Правда». Кожна станція має насоси для перекачування питної води. Співробітники Червоноградського водоканалу для цього аналізу надали дані щодо місячного споживання електроенергії, типової добової потреби в електроенергії та роздрібну вартість електроенергії. Крім того, працівники водоканалу оцінили площу землі, доступну для сонячної ФЕС.

2.1 Споживання Електроенергії та Витрати

У таблиці 1 наведено загальні дані щодо потреби в електроенергії та енергоспоживання для кожного об'єкту та розрахункову площу ділянки для ФЕС. Розрахункові річні витрати на електроенергію також включено на основі поточного тарифу 7,64 гривень (UAH) за кВт-год, або 0,20 дол. США/кВт-год¹.

Таблиця 1. Споживання Електроенергії та Витрати

Об'єкт	Бендюга	Межиріччя	Правда
Середнє навантаження (кВт)	48.6	32.6	27.1
Річне споживання (МВт-год)	426	286	237
Пікове навантаження (кВт)	65	33	29
Доступна площа під ФЕС (м ²)	450	2000	5200
Максимальна потужність ФЕС можлива для розміщення (кВт постійного струму)	28	127	330
Існуючий резервний генератор	Так	Так	Так
Річна вартість електроенергії (дол. США)	\$85,200	\$57,200	\$47,400

Тарифна ставка для насосних станцій не включає будь-які відмінності в ціні за часом користування, вихідними чи будніми днями, сезонами. Також немає оплати, що стягується за піковий середній попит (кВт) протягом певного інтервалу часу (наприклад, 15-хвилинного періоду). Тариф – це фіксована плата за енергію для всього споживання. Для техніко-економічного аналізу в цьому звіті було використано фіксований тариф у розмірі 0,20 дол. США/кВт-год.

Місячне споживання енергії для насосних станцій у 2023 році показано на рисунку 1.

¹ Використовуючи конвертацію валюти 38 грн за долар із *Wall Street Journal* (<https://www.wsj.com/market-data/quotes/fx/USDUAH/historical-prices>).

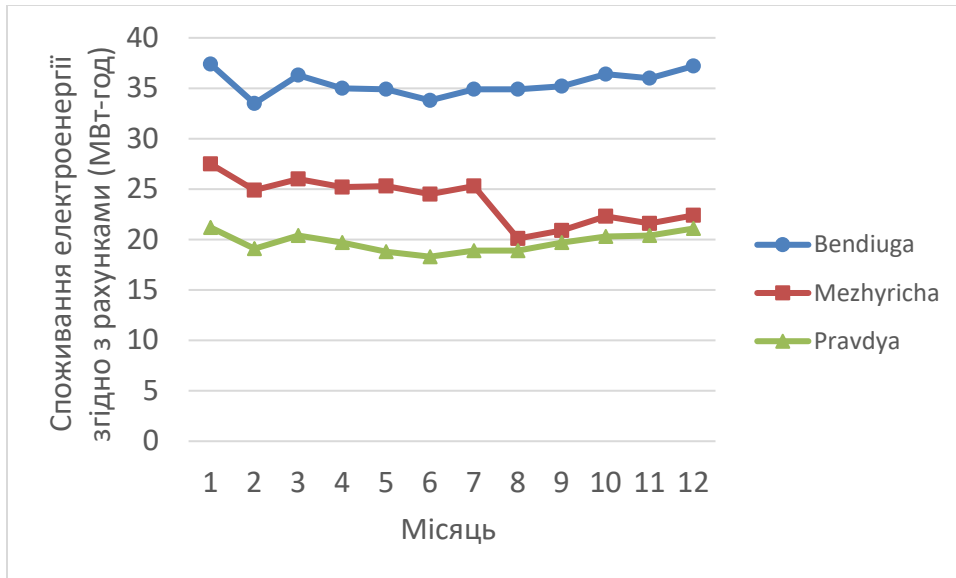


Рисунок 1. Місячне споживання електроенергії для насосних станцій Бендюга, Межиріччя, Правда

На рисунку 2 показані профілі добового попиту відповідно до схем, що були надані працівниками водоканалу. Фактичні інтервальні дані показників лічильника електроенергії недоступні.

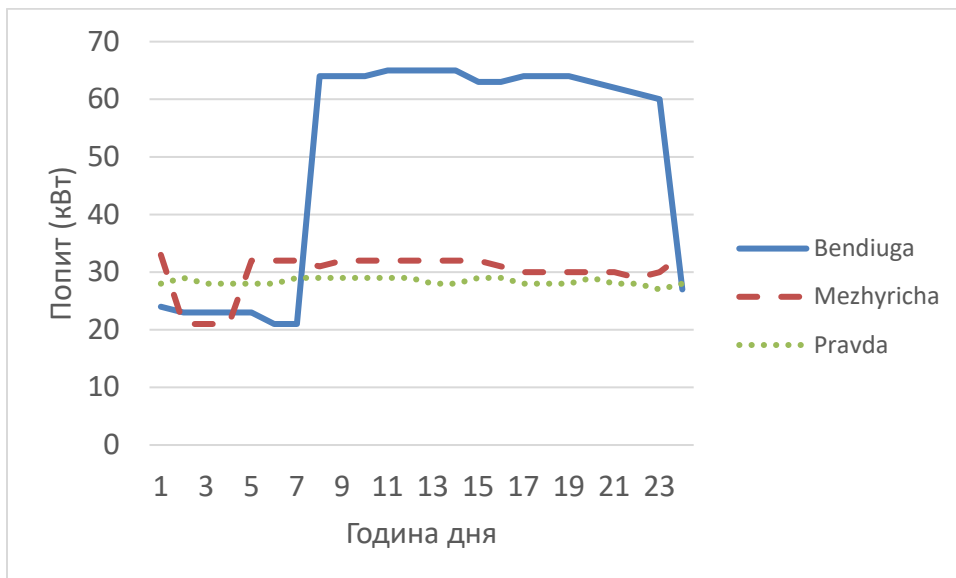


Рисунок 2. Приблизні типові добові профілі навантаження

2.2 Доступна Ділянка під ФЕС

Працівники водоканалу надали інформацію щодо земельної ділянки для встановлення ФЕС. Площа земельної ділянки та потужність ФЕС розміщених на кожній ділянці наведені в Таблиці 2.

Оцінка максимально можливої потужності для встановлення виходячи з розміру ділянки базується на значеннях System Advisor Model NREL із використанням площі модуля 4,72 м² на кВт постійного струму та коефіцієнта покриття землі за замовчуванням 0,3.

Таблиця 2. Доступна Площа та Приблизна Максимальна Встановлена Потужність ФЕС

Об'єкт	Бендюга	Межиріччя	Правда
Доступна площа під ФЕС (м ²)	450	2,000	5,200
Максимальна потужність ФЕС можлива для розміщення (кВт постійного струму)	28	127	330

У зв'язку з триваючою війною Росії проти України та оголошенням воєнного стану в країні, точні місця розташування насосних станцій не були надані NREL. У результаті співробітники NREL не змогли забезпечити перегляд супутникових знімків. Таким чином, ці результати припускають, що ділянки є відносно рівними та вільними від затінення спорудами та рослинністю.

3 Техніко-економічний Потенціал ФЕС та УЗЕ

3.1 Результати Аналізу

Цей аналіз показує, що сонячні фотоелектричні системи є рентабельним додатковим джерелом електроенергії для насосних станцій Бендюга, Межиріччя та Правда, і що УЗЕ не є рентабельними на жодній із них.

Ключові показники техніко-економічного аналізу, включаючи потужності сонячної розподіленої генерації, капітальні витрати, економію коштів за перший рік, чисту поточну вартість і просту окупність, показано для кожного об'єкта в таблиці 3. Чиста поточна вартість базується на 25-річному періоді аналізу.

Таблиця 3. Найбільш Економічно Доцільні Рішення для ФЕС та УЗЕ для Кожної Насосної Станції

Об'єкт	Бендюга	Межиріччя	Правда
Потужність ФЕС (кВт постійного струму)	28	79	73
Річна генерація (МВт-год)	24.7	69.9	64.0
УЗЕ (кВт)	0	0	0
УЗЕ (кВт-год)	0	0	0
Використано ел.ен. (МВт-год)	24.7	57.6	52.3
Експортовано ел.ен. (МВт-год)	0.0	12.3	11.7
Експортовано ел.ен. (%)	0%	18%	18%
Частка відновлюваної енергії	6%	22%	21%
Економія на комунальних послугах, 1 рік (\$)	\$4,900	\$11,500	\$10,500
Капітальні витрати (\$)	\$23,800	\$67,400	\$61,700
Чиста поточна вартість (\$)	\$51,400	\$104,500	\$94,200
Проста окупність (роки)	4.9	6.0	6.0

Економічно доцільні потужності та фінансові показники, представлені в цьому звіті, є оціночними на основі даних і припущень, доступних на момент написання. Фактичні фінансові показники проекту залежать від фактичних системних витрат і майбутніх витрат на електроенергію. Варто зазначити, що економічні показники для ФЕС є високими, враховуючи поточні високі ціни на електроенергію; очікується позитивна чиста поточна вартість, навіть якщо оцінка вартості ФЕС, використана в цьому аналізі, нижча за фактичні тендерні пропозиції. Проекти потенційно можуть стати неекономічними, якщо знадобиться дорога модернізація електричної системи, щоб забезпечити інтеграцію ФЕС на об'єктах. Для кожної локації капітальні витрати можуть збільшитися до чистої поточної вартості, наведеної в таблиці 3, до того, як проекти стануть нерентабельними з точки зору економічних витрат.

Станція «Бендюга» обмежена доступною земельною площею, і ФЕС там має розміри відповідно до цього обмеження, тобто 28 кВт постійного струму. Якби була доступна додаткова площа на землі або на даху, більша система була б оптимальнішою за ціною. За оцінками, ця система

забезпечує близько 6% щорічного споживання електроенергії, економію на рахунках у розмірі \$4900 та має простий термін окупності 4,9 років.

Об'єкти «Межиріччя» та «Правда» не обмежені у просторі. У Межиріччі встановлено, що ФЕС потужністю 79 кВт постійного струму є економічно доцільною та може забезпечити приблизно 22% річної потреби в електроенергії та скоротити річні витрати на електроенергію приблизно на 11 500 доларів США. На насосній станції «Правда» економічно доцільно буде розмістити ФЕС потужністю 73 кВт постійного струму, що забезпечує близько 10 500 доларів США щорічної економії на рахунках і 21% річної потреби в електроенергії. Приблизний простий період окупності для «Межиріччя» і «Правди» становить 6,0 років.

Під час звичайної роботи ФЕС працюватиме паралельно з комунальною енергетичною компанією, забезпечуючи насосну станцію електроенергією повністю або частково, залежно від кількості сонячної енергії, виробленої в певний момент.

Інтеграція УЗЕ як на «Межиріччі», так і на «Правді» могла б дозволити встановити більш потужну ФЕС на кожному об'єкті, щоб забезпечувати більшу частку потреб у електроенергії за допомогою фотоелектричних панелей. Але додавання УЗЕ для цієї мети не є рентабельним. УЗЕ часто використовується для того, щоб перенести споживання електроенергії із періодів, коли вартість електроенергії відносно висока, до періодів, коли її вартість нижча. УЗЕ також діє для зниження попиту на електроенергію, якщо в рахунок за електроенергію входить плата за споживання у пікові години. Тариф на електроенергію для водоканалу не включає плату за час використання (вартість електроенергії, яка змінюється залежно від часу доби), а також плату за попит. Оскільки тариф на електроенергію не передбачає цих складових, ключові економічні стимули для економії на рахунках за допомогою УЗЕ відсутні. УЗЕ у поєднанні з ФЕС також може використовуватися для забезпечення резервного живлення під час втрати електроенергії в мережі. Однак, оскільки кожна з насосних станцій має існуючі функціональні резервні генератори електроенергії, додавати УЗЕ на цих локаціях з цією метою не є рентабельним.

Під час відключення електроенергії в мережі, з УЗЕ або без неї, використання ФЕС заощадить запаси палива, щоб резервні системи могли обслуговувати критичні навантаження протягом більш тривалого часу, ніж якби ФЕС була відсутня. Для цього в цьому типі застосування мікромережі потрібні додаткові функціональні вимоги. Вони включають здатність виявляти та реагувати на відключення у мережі шляхом електричної ізоляції навантажень насосної станції, генерації належного електричного сигналу, а потім забезпечення рівня потужності відповідно до навантажень станції. Інтеграція ФЕС для використання під час відключень електроенергії у мережі з існуючими резервними генераторами з поршневыми двигунами вимагає вивчення її потенційного впливу на збільшення навантаження на дизельні генератори. Без належного врахування потенційного впливу змінного сонячного ресурсу на резервний генератор критично важливе водопостачання може опинитися під загрозою.

3.2 Припущення та Вхідні Дані для Аналізу

Ключові припущення та вхідні дані, застосовані для цього аналізу, узагальнено в таблицях 4–7.

Таблиця 4. Економічні Параметри

Параметр	Значення
Період аналізу	25 років
Ставка дисконту, номінальна	6%
Загальний рівень інфляції, застосований до витрат на експлуатацію та технічне обслуговування	2.5%
Коефіцієнт зростання вартості електроенергії, номінальний	2.5%
Тариф на електроенергію	\$0,20/кВт-год
Компенсація за електроенергію, експортовану місцевим комунальним підприємствам	Жодна

Таблиця 5. Вартість і Припущення щодо Розподілених Енергетичних Ресурсів

Параметр	Значення
Капітальні витрати на ФЕС	\$850/кВт постійного струму
Витрати на експлуатацію та технічне обслуговування ФЕС	\$15/кВт постійного струму/рік
Капітальні витрати на УЗЕ	\$683/кВт + 341/кВт-год
Термін служби УЗЕ	10 років
Витрати на заміну УЗЕ (через 10 років)	\$536/кВт + 239/кВт-год

Таблиця 6. Технічні Параметри

Параметр	Значення
Співвідношення постійного струму до змінного струму	1.15
ККД інвертора	96%
Тип установки	Фіксована наземна
Нахил	30 градусів
Азимут	180 градусів
Загальні втрати системи	14.08%
Щорічне зниження продуктивності	0,5%/рік
Файл сонячних ресурсів	Національна База Даних Сонячного Випромінювання (NSRDB) за 2019 р. для широти 50,37 градусів і довготи 24,22 градуси
Модель	PVWatts® через System Advisor Model

Таблиця 7. Технічні Параметри УЗЕ

Параметр	Значення
Ефективність перетворення АС-АС	89.9%
Початковий стан заряду у першу годину симуляції протягом року	50%
Мінімальний рівень заряду	20%
Максимальний рівень заряду	100%

4 Наступні Кроки

Цей звіт є попереднім високорівневим аналізом. Рекомендовані наступні кроки для КП «Червоноградводоканалу» - поділитися цим звітом з потенційними партнерами по фінансуванню, щоб розповісти про цілі, потенційні розміри, витрати та вигоди системи. Після того, як будуть визначені фінансові ресурси, рекомендується розпочати процес тендеру для визначення та залучення кваліфікованої компанії для встановлення сонячних фотоелектричних систем. Після завершення відбору компанії, або в рамках цього процесу, інсталятор виконає оцінку майданчика, щоб визначити місця для встановлення сонячної ФЕС та іншого обладнання. Інсталятор також проаналізує електричну інфраструктуру, щоб визначити, як забезпечити електричне з'єднання і чи потрібна модернізація системи. Оцінка майданчика та інженерне проектування дозволить остаточно визначити розміри, конструкцію системи та загальну вартість установки. Інсталятор також працюватиме з місцевим оператором системи розподілу, щоб переконатися, що кожна система відповідає технічним та нормативним вимогам оператора системи розподілу.

5 Підсумок

Співробітники NREL провели техніко-економічний аналіз для трьох водонасосних станцій у м.Червоноград в Україні за підтримки програми Net Zero World Міністерства енергетики США та Агентства США з міжнародного розвитку в Україні. Аналіз показує, що інтеграція ФЕС для паралельної роботи з обслуговуючою енергокомпанією є економічно ефективною на всіх трьох насосних станціях. Установка зберігання енергії не є економічно ефективною на жодному з об'єктів, враховуючи поточні оцінки витрат, структуру тарифу та наявність існуючих резервних генераторів електроенергії на кожному об'єкті.

Посилання

Міністерство енергетики України. 2024. *План заходів щодо реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2050 року (Додаток).*

https://mev.gov.ua/sites/default/files/field/file/dodatok-do-proektu-rozporyadzhennya_0.pdf.

План "Ukraine Facility". 2024. «Ukraine Facility». 29 березня 2024 р.

<https://www.ukrainefacility.me.gov.ua/uk/#:~:text=The%20Ukraine%20Facility%20is%20the%20implementation%20of%20the%20programm>.

www.nrel.gov/usaid-partnership

**Зверніться до партнерства
USAID-NREL**

USAID.NREL@nrel.gov

Партнерство USAID-NREL вирішує критичні проблеми для розширення передових енергетичних систем за допомогою глобальних інструментів і технічної допомоги, включаючи Renewable Energy Data Explorer, Greening the Grid, інструмент International Jobs and Economic Development Impacts і Resilient Energy Platform. Додаткову інформацію можна знайти за адресою: www.nrel.gov/usaid-partnership.



NREL/TP-7A40-90360 | травень 2024 р.

