

ПРОЕКТУВАННЯ ФОТОВОЛЬТАЇЧНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 9,5 МВт

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Новітнє законодавство України дає поштовх для виробництва та реалізації електричної енергії з відновлювальних альтернативних джерел енергії. Споживання такої енергії відбувається за вищими тарифами, ніж за енергію, що виробляється з традиційних джерел, тобто за так званим «зеленим тарифом». Головною користю збільшення використання альтернативних джерел енергії з використанням сучасних технологій та підвищення ефективності для держави є зміцнення енергетичної безпеки країни та зменшення іноземного імпорту нафти та газу та покращення торговельної стабільності країни. Для сонячних електростанцій, що встановлені на дахах або фасадах будівель та споруд та введені в експлуатацію в період з 01.01.2020 р. по 31.12.2024 р., згідно Закону, застосовується коефіцієнт "зеленого" тарифу рівний – 2,28 (ст.9¹), що згідно алгоритму розрахунку тарифу в національній валюті складає – 4,9817 грн/кВт·год (без ПДВ).

Ключові слова: відновлювальні альтернативні джерела енергії, традиційні джерела, «зелений тариф», енергетична безпека країни.

Abstract. The latest legislation of Ukraine provides an impetus for the production and sale of electricity from renewable alternative energy sources. Such energy is consumed at higher tariffs than from energy produced from traditional sources, ie at the so-called "green tariff". The main benefits of increasing the use of alternative energy sources using modern technologies and increasing efficiency for the state are strengthening the country's energy security and reducing foreign oil and gas imports and improving the country's trade stability. For solar power plants that are installed on the roofs or facades of buildings and structures and put into operation in the period from 01.01.2020 to 31.12.2024, according to the Law, the coefficient of "green" tariff is equal to 2.28 (Article 9¹), which according to the algorithm for calculating the tariff in the national currency is - 4.9817 UAH / kWh.

Keywords: renewable alternative energy sources, traditional sources, "green tariff", energy security of the country.

Вступ

Проектні та впроваджувальні роботи виконуються як в разі придбання типового продукту, так і в разі розробки і впровадження сонячної електростанції замовної потужності. Ці роботи виконуються відповідно до діючих інженерних норм і стандартів, а також вимог виробників обладнання та комплектуючих, що використовуються для побудови сонячної електростанції. Проектним роботам передують аудит існуючої системи електропостачання на об'єкті впровадження сонячної електростанції. У ході цього аудиту можливе з'ясування всіх необхідних даних про підключення об'єкта впровадження до зовнішніх електромереж при бажанні замовника підключитися за «зеленим» тарифом [1].

«Зелений» тариф. «Зелений» тариф являє собою спеціально підвищений тариф на електроенергію, за яким виробник гарантовано може її продати. Зазвичай він встановлюється на довготривалий період з поступовим зменшенням його величини і диференціюється для різних технологій і потужностей установок (*Німеччина, Австрія, Данія, Франція*).

Техніко-економічне обґрунтування і розрахунок сонячної електростанції з сукупністю отриманих даних, що в загальному передають сутність капітальних витрат на будівництво та інформацію про ефективність капіталовкладень взагалі. Техніко-економічне обґрунтування і техніко-економічний розрахунок розробляються лише індивідуально і за конкретним замовленням з врахуванням всіх особливостей та деталей [2]. Техніко-економічне обґрунтування – більш широкий обсяг інформації, найчастіше актуальний для великих інвестиційних проектів з будівництва сонячних електростанцій великої потужності. Найбільш затребуваними є техніко-економічні розрахунки, що охоплюють:

- обґрунтування запланованої потужності сонячної електростанції;
- огляд та аналіз характеристик обладнання, що буде використовуватися в проекті;
- фінансову модель разом із плановим обсягом вироблюваної електроенергії, заплановані витрати на будівництво, експлуатацію та сервісне обслуговування;
- програми у вигляді необхідних сертифікатів і паспортів на обладнання

Сонячна станція під «зелений» тариф – це новий інноваційний вид бізнесу. Тому перед прийняттям рішення про будівництво обов'язково необхідно підготувати детальний інвестиційний бізнес-план, у якому подано характеристики майбутнього об'єкта, техніко-економічні показники, результати розрахунків економічної ефективності проектних рішень з урахуванням будівельних робіт, монтажних робіт і експлуатації.

Передпроект сонячної електростанції для промислової генерації готується за умови надання кадастрового номера ділянки для будівництва (код призначення землі необхідний 14.01 – для розміщення, будівництва, експлуатації та обслуговування будівель і споруд об'єктів енергогенерувальних підприємств, установ і організацій) і технічних умов на збільшення або підключення електроенергії [3].

Результати дослідження

Сонячна електростанція є інженерною системою, що складається з десятків різних компонентів (сонячна панель, інвертор, система кріплень, електричний захист, система моніторингу, комутаційне обладнання, контролер заряду і акумулятори для автономних систем та ін.). Тому для ефективної і безперебійної роботи вкрай важливо правильно провести проектування сонячної системи.

Проект з будівництва фотогальванічної електростанції за межами населеного пункту на території Печерської сільської ради Тульчинського району Вінницької області виконаний за титулом "Нове будівництво комплексу будівель та споруд: фотогальванічна електростанція "Петрашівка" на території Печерської с/р, Тульчинського р-ну, Вінницької області (за межами населених пунктів)" на підставі договору та права на виконання проектних робіт, відповідно кваліфікаційного сертифікату відповідального виконавця окремих видів робіт (послуг), пов'язаних із створенням об'єкта архітектури.

Розроблені наступні проектні рішення:

- розстановка блоків фотогальванічних панелей, ящиків з'єднань (ЯЗ), інверторних станцій з централізованими інверторами та підвищувальними силовими трансформаторами (далі ТП) на території майданчика будівництва з урахуванням технологічних особливостей фотогальванічних електростанцій великої потужності;
- підключення розподільчого пристрою 35 кВ для видачі потужності з ТП 1-5 в мережу 35 кВ ПАТ "Вінницяобленерго";
- улаштування заземлення та захисту від грозових перенапруг;
- організація кабельних зв'язків між різними ланками технологічного процесу генерації електроенергії;
- організація власних потреб фотогальванічної електростанції.

Табл. 1 - Основні техніко-економічні показники електротехнічної частини будівництва електростанції

№ п/п	Найменування показника	Значення
1	Загальна кількість фотогальванічних панелей потужністю 270 Вт, шт.	42262
2	Кількість ящиків з'єднань для паралельного з'єднання блоків фотогальванічних панелей, шт.: - 12-ть блоків панелей; - 13-ть блоків панелей.	152 55 97
3	Кількість інверторних станцій PVIS.2000 в складі: чотирьох інверторів типу GSL0500 500 кВт та силового трансформатора 35/0,315/0,315 кВ потужністю 2500 кВА.	4
4	Кількість інверторних станцій PVIS.1500 в складі: двох інверторів типу GSL0750 750 кВт та силового трансформатора 35/0,350/0,350 кВ потужністю 2500 кВА.	1

Головна схема електричних з'єднань фотогальванічної електростанції обумовлена схемою її підключення до зовнішньої мережі та особливістю технології виробництва електроенергії на сонячних фотогальванічних електростанціях великої потужності. Основною технологічною ланкою виробництва електроенергії є фотогальванічні панелі, які перетворюють електромагнітну енергію сонячної радіації безпосередньо в постійний електричний струм.

Табл. 2 - Основні параметри фотогальванічних панелей типу TP660P потужністю 270 Вт виробництва компанії TALESUN

№	Найменування показника	TP660P
1	Максимальна потужність, Р _м	270 Вт
2	Струм короткого замикання, І _к	9,09 А
3	Напруга холостого ходу, U _{хх}	38,5 В
4	Напруга в режимі видачі максимальної потужності, U _{мп}	31,3 В
5	Струм в режимі видачі максимальної потужності, І _{мп}	8,63 А
6	Габаритні розміри (Д, Ш, Т), мм	1650x992x35
7	Вага	18,5 кг
8	Відносне значення ефективності	16,5 %

Параметри панелей наведені для нормальних умов при інтенсивності сонячної радіації 1000 Вт/м² та температурі панелі 25°C.

Для перетворення напруги з постійної у змінну та підвищення напруги до рівня 35 кВ, запроєктовано встановлення 4 інверторних станцій PVIS.2000, номінальна потужність кожної з яких складає 2000 кВт, та однієї інверторної станції PVIS.1500, номінальна потужність якої складає 1500 кВт. В складі інверторної станції PVIS.2000 містяться чотири централізованих інвертора типу GSL0500 потужністю 500 кВт кожний та силовий трансформатор потужністю 2500 кВА 35/0,315/0,315 кВ. В складі інверторної станції PVIS.1500 міститься два централізованих інвертора типу GSL0750 потужністю 750 кВт та силовий трансформатор потужністю 2500 кВА 35/0,350/0,350 кВ.

Табл. 3 - Основні параметри інверторів типу GSL0500 та GSL0750

Вхідні параметри інвертора	GSL0500	GSL0750
Номінальна потужність, кВт	550	825
Максимальне значення напруги при постійному струмі, В	1000	
Оптимальний діапазон напруги, В	450-850	
Максимальне значення струму, А	1200	1500
Вихідні параметри інвертора		
Номінальна активна потужність, кВт	500	750
Максимальний вихідний змінний струм, А	1007	1360
Значення вихідної напруги, В	315	350
Діапазон cos φ	-0,9 ÷ 0,9	
ККД, % (max),	98,7	
Допустима частота в мережі, Гц	50 (±4,5)	
Загальні параметри інвертора		
Діапазон робочих температур, °С	-40 ÷ 60	
Відносна вологість, %	0 ÷ 95, без конденсації вологи	
Клас захисту оболонки	IP21	
Габаритні розміри (ШxВxГ), мм	1600 x 850 x 2000	
Вага, кг	1200	1450

Для видачі потужності з проектних інверторних станцій запроєктовано будівництво РП-35 кВ на базі комірок ВМ-4 (або аналог), які встановлюються у швидкомонтовану модульну будівлю індивідуального виконання. РП-35 кВ монтується з 5-ох модулів. Габаритні розміри РП (Ш x Г x В) складають 10800 x 3775 x 3600 мм. Прийняте однорядне розташування обладнання в РП-35 кВ.

Відповідно до запроєктованої ієрархічної структури електростанції проектом передбачено організацію наступних кабельних зв'язків:

- між фотогальванічними панелями при їх послідовному з'єднанні у блоки;
- між блоками та ящиками з'єднань;

- між ящиками з'єднань та інверторними станціями;
- між інверторними станціями та РП-35 кВ;
- між РП-35 кВ та КТП власних потреб.

Кабельні зв'язки прокласти вздовж металоконструкцій, на яких встановлюються фотогальванічні панелі, а також в ґрунті у траншеї на глибині 0,7-1,1 м на відстані 0,1 м від стінок траншеї. У траншеї під проєктовані кабельні лінії виконати підсипку на 0,1 м піщано-гравійною сумішшю. Поверх шару піщано-гравійної суміші засипати шар розробленого ґрунту. По всій довжині траншеї, на висоті 0,25 м над кабельними лініями прокласти сигнальну стрічку червоного кольору. Низьковольтний кабель прокласти в двостінних гофрованих поліетиленових трубах з зовнішнім діаметром від 63 до 160 мм.

Заземлюючий пристрій електростанції улаштовується з урахуванням наявності на території електростанції

- електричних мереж до 1 кВ з глухо заземленою нейтраллю;
- електричних мереж до 1 кВ з ізольованою нейтраллю;
- електричних мереж понад 1 кВ з ізольованою нейтраллю.

Відповідно до вимог глави 1.7 ПУЕ:2014, заземлюючий пристрій електростанції виконується за вимогою до його опору для електроустановок напругою до 1 кВ в електричних мережах з глухо заземленою та ізольованою нейтраллю, до заземлюючих пристроїв яких ставляться більш жорсткі вимоги, ніж до заземлюючих пристроїв електричних мереж понад 1 кВ з ізольованою нейтраллю. Відповідно до п. 1.7.92 та 1.7.96 ПУЕ:2014 опір заземлюючого пристрою повинен складати не більше 4 Ом.

Зовнішнє освітлення виконується відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 "Природне та штучне освітлення". Для організації зовнішнього освітлення запроектовано встановлення прожекторів на дахах РП-35 кВ, адміністративно-побутової будівлі, будівлі охорони, а також контейнерів інверторних станцій, які постачаються комплектно з будівлями. Також передбачено встановлення опори освітлення для забезпечення освітлення заїзду на територію ФЕС.

Розрахунок компенсації реактивної потужності не виконувався, оскільки відповідно до ТУ ПАТ "Вінницяобленерго" на приєднання ФЕС до мереж ПАТ "Вінницяобленерго" проєктні інвертори повинні бути залученні до регулювання напруги у прилеглий мережі ПАТ "Вінницяобленерго" за рахунок регулювання реактивної потужності в межах $\cos \varphi = \pm 0,9$. Таким чином, режим генерації (споживання) реактивної потужності не визначається Замовником, а задається ПАТ "Вінницяобленерго" у вигляді уставок регуляторів інверторів.

ЖИВЛЕННЯ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ФЕС

Адміністративно-побутова будівля (АПБ)

Проєктом передбачено прокладання внутрішньобудинкових мереж для підключення струмоприймачів адміністративно-побутової будівлі. Мережі розділено на дві категорії: мережі освітлення та силові мережі (мережі розеток). Освітленість прийнята відповідно до призначення кожної кімнати та згідно ДБН В.2.5-28-2006. В кімнатах передбачено встановлення світильників типу ЛПП09У-2х18 із лінійними лампами люмінесцентними Т8. Для підключення переносних струмоприймачів будівлі АПБ у кожному приміщенні встановлюються розетки. Кількість розеток вибрана у відповідності до призначення приміщення. Розетки встановити на висоті 0,3 м від рівня підлоги. У кімнатах будівлі АПБ встановити розетки 16 А зі ступенем захисту IP20. У ванній кімнаті встановити розетки із ступенем захисту IP44/IP55. Проводка мереж у будівлі виконується відкрито із прокладанням у накладних кабельних каналах. Всі мережі виконати трипровідними (L-, N-, PE-провідник) з мідними жилами (згідно ДБН В.2.3.-23:2010).

Будівлі інверторних станцій

Проєктом будівництва ФЕС, передбачено встановлення 5 шт. будівель інверторних станцій. Кожна будівля має струмоприймачі, які забезпечують нормальні умови експлуатації: мережі освітлення, опалення, вентиляції, живлення АСУ ТП.

Будівля РП-35 кВ

Проєктом будівництва ФЕС, передбачено встановлення будівлі РП-35 кВ. Будівля має струмоприймачі, які забезпечують нормальні умови експлуатації: мережі освітлення, опалення, вентиляції. Проєктом передбачено прокладання внутрішньобудинкових мереж для підключення струмоприймачів будівлі РП-35 кВ.

Будівля охорони

Проєктом передбачено прокладання внутрішньобудинкових мереж для підключення струмоприймачів будівлі охорони. Однофазні струмоприймачі будівлі охорони заживлюються

від трифазної мережі та фазуються групами на кожну фазу. Освітленість прийнята відповідно до призначення кожної кімнати та згідно ДБН В.2.5- 28-2006.

Організація ЩВП-0,4 кВ

Для живлення струмоприймачів власних потреб ФЕС, проектом передбачено організацію щита живлення струмоприймачів власних потреб ЩВП-1. Схема ЩВП-1 має одну секцію розподільчих шин 380/220 В 50 Гц. Розрахункова потужність струмоприймачів власних потреб становить 19,8 кВт. ЩВП-1 підключити від РП-0,4 кВ КТП ВП. Підключення виконати за допомогою КЛ-0,4 кВ, яку протягнути у трубній каналізації ФЕС. Система заземлення мережі 380/220 В із заземленою нейтраллю – TN-C-S. Однофазні мережі виконуються 3-ох жильними кабелями (L, N, PE), трифазні мережі виконати 4-ох жильними кабелями (L1, L2, L3, N).

Висновок

Приймаючи рішення про встановлення сонячних електростанцій варто враховувати багато факторів задля максимальної продуктивності. Одним з найважливіших факторів є техніко-економічне обґрунтування. Техніко-економічне обґрунтування і техніко-економічний розрахунок розробляються лише індивідуально і за конкретним замовленням з врахуванням всіх особливостей та деталей. Для правильного розрахунку систем енергопостачання і обліку різних параметрів, що впливають на продуктивність сонячної станції, використовують спеціальні програми моделювання роботи сонячної станції (PVGIS, PVSyst), сонячні калькулятори та статистичні метеодані – сонячну інсоляцію, швидкість вітру, температуру та інші умови. Враховують географічне положення і кути нахилу. Продуктивність сонячної станції безпосередньо пов'язана з її географічним положенням. Чим далі від екватора перебуває фотомодуль, тим менше сонячного світла потрапить на його поверхню. На продуктивність сонячної станції так само впливає тип установки фотомодулів. Наприклад, за наземної установки, або коли станція стоїть на плоскому даху, вироблення електроенергії буде трохи більшим, ніж для станції встановленої на похилому даху, бо у фотомодулів, що стоять вільно, найкраща вентиляція та охолодження. Усі елементи обладнання сонячної станції мають, хоч і незначні, втрати на трансформацію, передачу електроенергії, і щорічний знос компонентів. Частково їх можна уникнути, якщо грамотно проектувати станцію та вибирати якісне, сертифіковане і високоефективне обладнання.

Клімат і географічне положення України сприятливе для розвитку сонячної енергетики і будівництва сонячних електростанцій. Перевагами експлуатації сонячних станцій є висока надійність, низькі поточні витрати, екологічність, модульність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Колонтаєвський Ю.П., Тугай Д.В., Котелевець С.В. Фотоенергетика.
2. Сидоренко Г.И. Анализ изменения значений капитальных вложений на строительство энергетических объектов на основе возобновляемых источников энергии / Г.И. Сидоренко, П.Ю. Михеев // Энергетик. 2017.
3. Режим доступу: <https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.16.47.html>.
4. П. Д. Лежнюк, Ю. В. Малогулко, І. О. Прокопенко, «ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕНЕРУВАННЯ ВДЕ НА ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ МЕРЕЖ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМ РОЗПОДІЛУ», Вісник ВПІ, вип. 3, с. 54–60, Чер 2021.
5. Ю.В. Малогулко, О.О. Онищук « РОЗВИТОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ФОТОВОЛЬТАІЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ ПОТУЖНІСТЮ 20 МВТ» в Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2019)», Вінниця, 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-mn/index/pages/view/zbirn2019>.

Малогулко Юлія Володимирівна — доцент, канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Julia_Malogulko@ukr.net

Головко Тетяна Іванівна — студентка групи ІЕЕ-186, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: holovko0372@gmail.com

Malogulko Yuliia V. — Associate Professor, Ph.D., Associate Professor of power stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Holovko Tatyana I. — Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : holovko0372@gmail.com