

І. Ф. ПОГРЕБНЯК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0935-1168

Н. Л. ДОН

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-9503-5326

А. В. ЛЮБЕЗНИЙ

студент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0001-4355-5298

ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕРЕЖЕВОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ДАХОВОГО ТИПУ ДЛЯ ПЕРШОГО КОРПУСУ ХНТУ

У статті представлено результати моделювання роботи мережевої фотоелектричної станції дахового типу для першого корпусу Херсонського національного технічного університету та визначено доцільність впровадження такої системи на практиці.

При моделюванні було враховано, що конфігурація даху навчального корпусу є досить складною й різномірною, а також той факт, що проблема полягає в режимі роботи (вранішньо-денний режим) та сезонності роботи закладу вищої освіти (максимум споживання електроенергії не співпадає із сезоном максимуму сонячної інсоляції).

В програмному комплексі Gelioscope розроблено мережеву ФЕС дахового типу зі стаціонарною та однією слідкуючою системою ФЕМ. Зокрема, передбачена суцільна «фальш-скатна» конструкція з орієнтацією ФЕМ на південний-захід, кут нахилу модуля та однією слідкуючою системою з блочно розташованими модулями фотоелектричної станції з орієнтацією на південь. Запропоновано п'ять варіантів, які були поділені на дві групи.

Проведено моделювання роботи всіх запропонованих варіантів проекту, для кожного з яких визначено параметри складових системи мережевої ФЕС з урахуванням конфігурації даху об'єкту; підібрано обладнання для комплектації системи із врахуванням оптимального розташування ФЕБ за умови мінімального затінення елементів.

Розроблено електричну схему з'єднань елементів, отримано дані щодо продуктивності кожного з запропонованих варіантів із врахуванням втрат в системі. За результатами виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження мережевої ФЕС для даного об'єкту. На основі аналізу продуктивності проєктів запропоновано варіант використання системи за «зеленим» тарифом.

Ключові слова: перший корпус ХНТУ, геліоенергетичний потенціал, мережева фотоелектрична станція дахового типу, моделювання роботи фотоелектричної станції, HelioScope.

I. F. POGREBNIAK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy,
Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-0935-1168

N. L. DON

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy,
Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-9503-5326

A. V. LIUBEZNYI

Student at the Department of Energy, Electrical Engineering and Physics

Kherson National Technical University

ORCID: 0009-0001-4355-5298

DETERMINATION OF THE FEASIBILITY OF IMPLEMENTING A ROOFTOP-TYPE GRID PHOTOELECTRIC STATION FOR THE FIRST BUILDING OF THE KHERSON NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

The article presents the results of modeling the operation of a rooftop grid photovoltaic station for the first building of the Kherson National Technical University and determines the feasibility of implementing such a system in practice.

When modeling, it was taken into account that the configuration of the roof of the educational building is quite complex and multi-level, as well as the fact that the problem lies in the operating mode (morning-day mode) and seasonality of the higher education institution's operation (maximum electricity consumption does not coincide with the season of maximum solar insolation).

In the Helioscope software complex, a rooftop grid photovoltaic station with a stationary and single-axis tracking system of photovoltaic modules has been developed. In particular, a solid «false-sloping» structure with the orientation of photovoltaic modules to the southwest, the angle of inclination of the module and a single-axis tracking system with block-positioned photovoltaic modules oriented to the south are provided. Five options were proposed, which were divided into two groups.

The operation of all proposed project options was simulated, for each of which the parameters of the components of the grid photovoltaic station system were determined taking into account the configuration of the roof of the facility; equipment was selected to complete the system, taking into account the optimal location of photovoltaic batteries with minimal shading of the elements.

An electrical diagram of the elements was developed, data on the performance of each of the proposed options was obtained, taking into account losses in the system. Based on the results, a feasibility study was performed on the feasibility of implementing a grid photovoltaic station for this facility. Based on the analysis of the performance of the projects, a variant of using the system at a «green» tariff was proposed.

Key words: the first building of KhNTU, solar energy potential, rooftop grid photovoltaic station, modeling of the operation of a photovoltaic station, HelioScope.

Постановка проблеми

За своїм геліопотенціалом Херсонська область посідає одну з перших позицій в Україні. Кількість сонячних днів на рік сягає 65 % тривалості року. Середня сонячна інсоляція на території м. Херсон – 1250 кВт·год/м² рік. Особливості географічних та кліматичних умов Херсонської області створюють сприятливі умови для розвитку відновлюваної енергетики (ВДЕ). Станом на 2021 рік в області вже було збудовано 32 сонячні фотоелектричні станції потужністю 272,1 МВт, що забезпечило залучення понад 10 млрд грн інвестицій. При цьому приватного інвестора головним чином цікавить ефективність і економічність запровадженої системи [1–3].

З іншого боку, раціональне та ефективне, з економічної точки зору, впровадження ВДЕ потребує детального попереднього аналізу. Моделювання роботи системи генерації електроенергії дозволяє достатньо ефективно прорахувати можливі конфігурації системи та обрати найраціональнішу згідно до необхідних критеріїв [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Будівля першого навчального корпусу Херсонського національного технічного університету (ХНТУ) (м. Херсон, Бериславське шосе 24) окрема, конфігурація даху навчального корпусу є досить складною, різномірною (рис. 1). Дах будівлі плоского типу, в задовільному технічному стані (рис. 2).

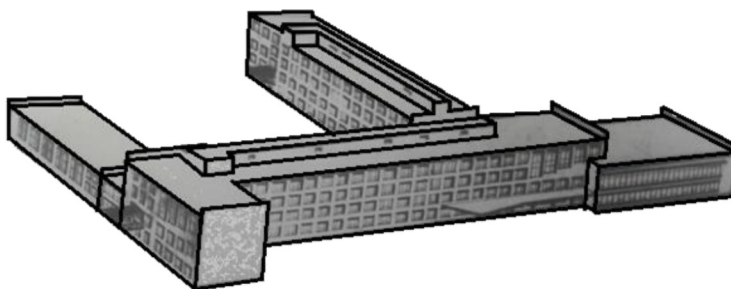


Рис. 1. Схематичне зображення будівлі I корпусу ХНТУ



Рис. 2. Фото даху будівлі I корпусу ХНТУ

Аналіз споживання електроенергії першим навчальним корпусом ХНТУ в розрізі «доповідних» років (2017–2018 роки) показав (рис. 3), що з урахуванням споживання електроенергії об'єктом слід розглянути варіант мережевої фотоелектричної станції (ФЕС) дахового типу під «зелений тариф».

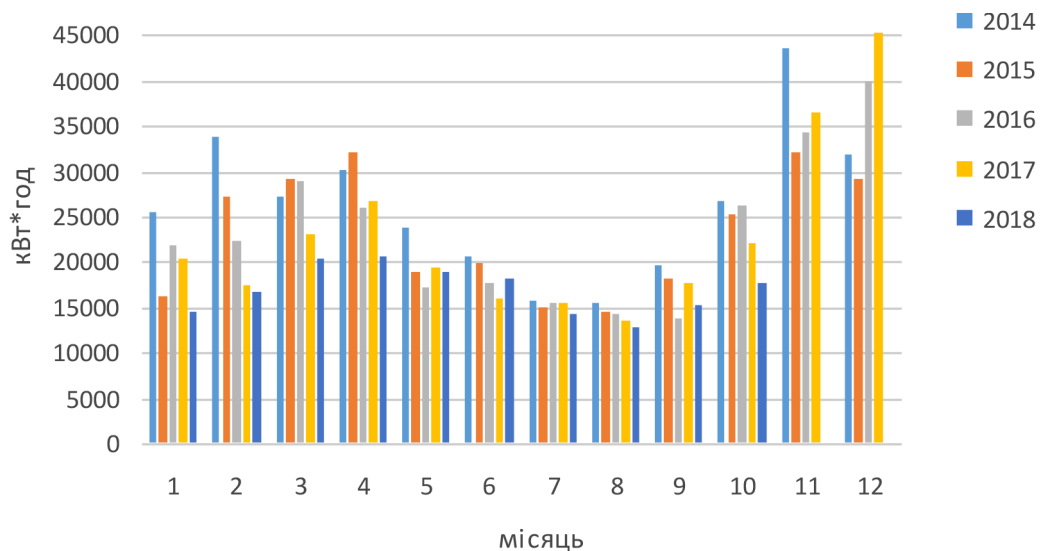


Рис. 3. Структура споживання електроенергії I корпусом ХНТУ за 2017–2021 роки

Проблема полягає в режимі роботи (вранішньо-денний режим) та сезонності роботи закладу вищої освіти (максимум споживання електроенергії не співпадає із сезоном максимуму сонячної інсоляції).

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є визначення доцільності впровадження мережевої фотоелектричної станції дахового типу для першого корпусу Херсонського національного технічного університету.

Викладення основного матеріалу дослідження

Техніко-економічне обґрунтування проекту фотоелектричної станції вимагає знання інсоляції в регіоні [2]. Метеодані, які використовуються сучасними програмними пакетами для моделювання роботи сонячних фотоелектричних станцій, мають значну перевагу, оскільки автоматично «підтягують» дані з метеостанцій як мінімум, за десять років із врахуванням статистичної обробки та зміни клімату в конкретній точці планети. Тоді як розрахунки «вручну», які часто спираються на застарілі дані довідників, не враховують ані змін клімату, ані перепадів висоти над рівнем моря [2, 4].

В програмному пакеті PVsyst [5] для кліматичних умов м. Херсона визначено надходження сумарної та дифузної сонячної радіації на горизонтальну поверхню (рис. 4), визначено залежність коефіцієнта перерахунку з горизонтальної поверхні на похилу від кута нахилу приймальної поверхні до горизонту для широти $\varphi = 46,67^\circ$ (рис. 5).

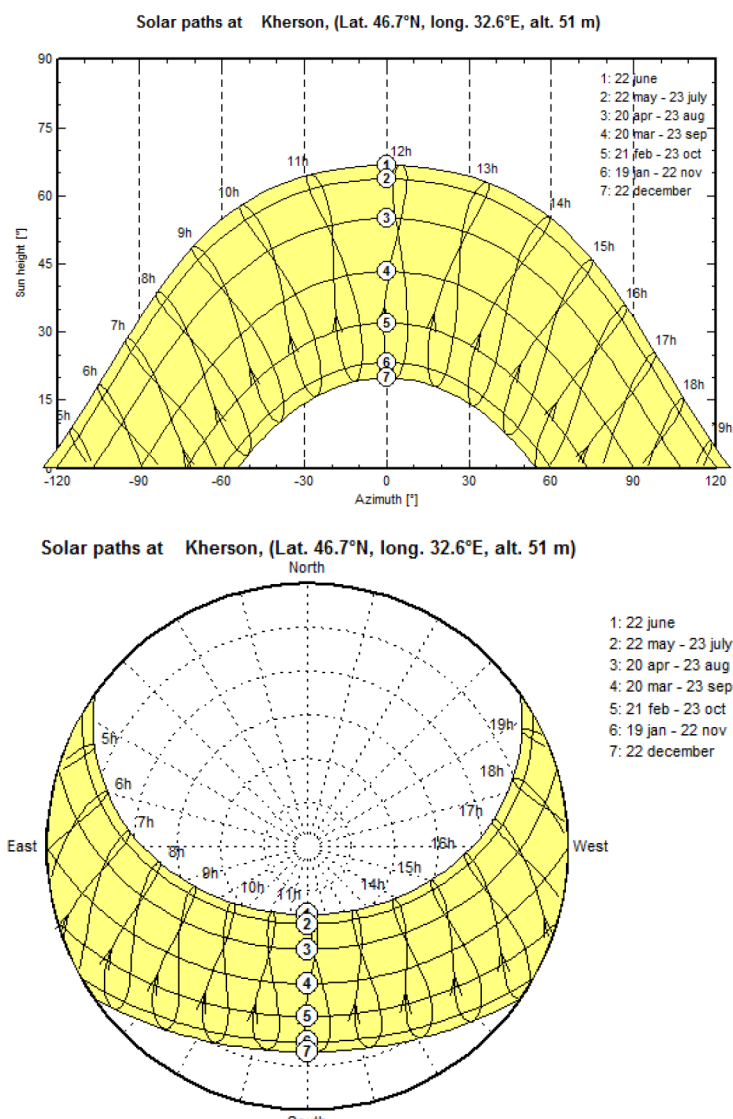


Рис. 4. Середнє значення сонячного шляху на широті Херсона

отримано авторами моделюванням в PVsyst [5]

Для попередньої оцінки проекту мережевої фотоелектричної станції дахового типу були прийняті фотоелектричні модулі Trina Solar потужністю 320 Вт · пік та статичний перетворювач електроенергії постійного струму в змінний (інвертор) Sunny Tripower 24000TL-US виробництва SMA America.

В програмному комплексі Gelioscope [6] розроблено мережеву фотоелектричну станцію дахового типу зі стаціонарною та одновісною слідкуючою системою фотоелектричних модулів (ФЕМ). Зокрема, передбачена суцільна «фальш-скатна» конструкція з орієнтацією ФЕМ на південний-захід, кут нахилу модуля та одновісна слідкуюча система з блочно розташованими модулями ФЕС з орієнтацією на південь:

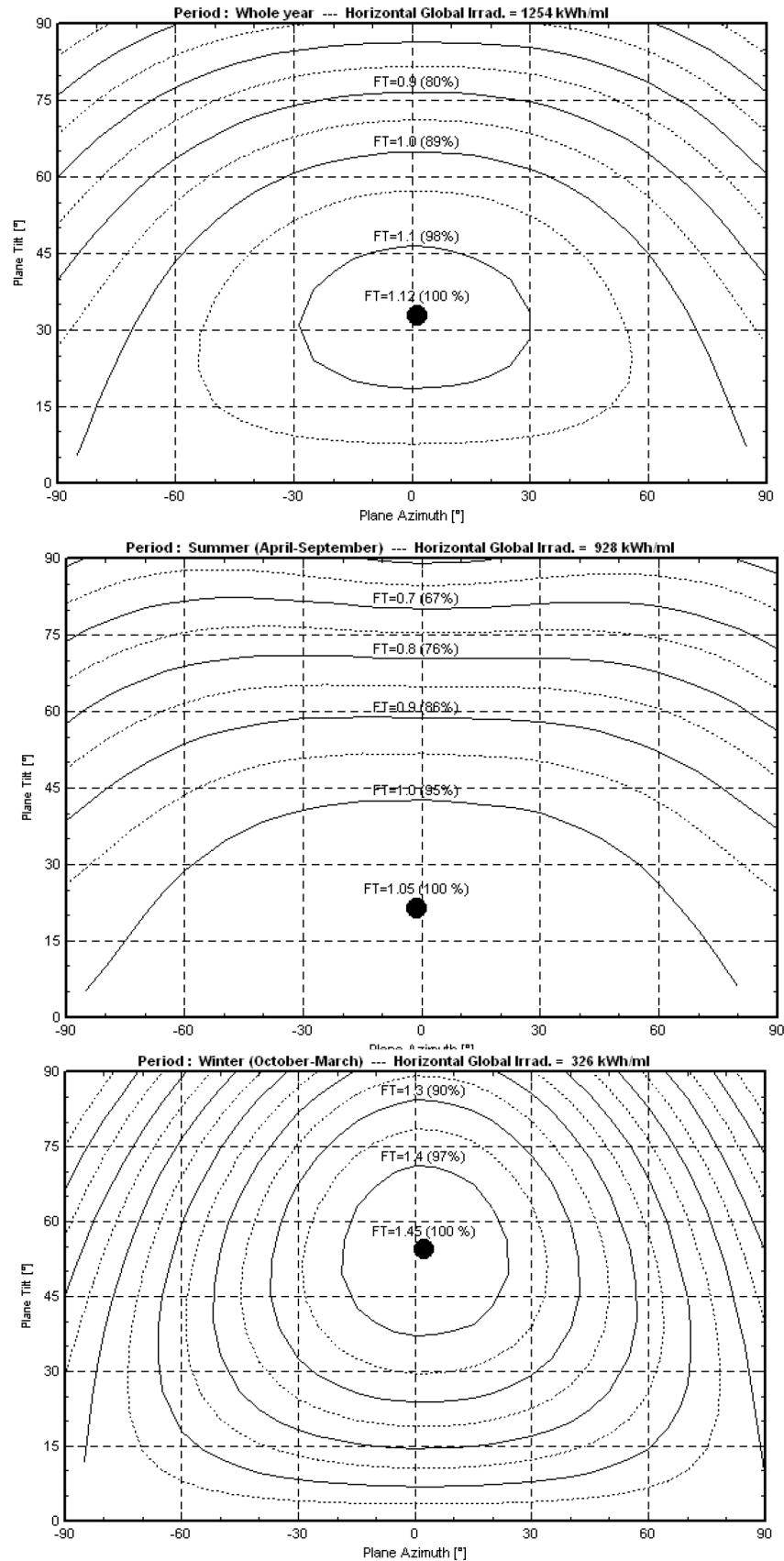


Рис. 5. Коефіцієнт перерахунку з горизонтальної поверхні на похилу для м. Херсон (при фіксованому річному та сезонному розташуванні поверхні)

отримано авторами моделюванням в PV Syst [5]

- варіант 1 – суцільна «фальш-скатна» конструкція з орієнтацією ФЕМ на південний-захід, кут нахилу модуля 20°;
- варіант 2 – суцільна «фальш-скатна» конструкція з орієнтацією ФЕМ на південний-захід, кут нахилу модуля 34°;
- варіант 3 – суцільна «фальш-скатна» конструкція з орієнтацією ФЕМ на південний-захід, кут нахилу модуля 46,6°.
- варіант 4 – одновісна слідкуюча конструкція з орієнтацією ФЕМ на південь, кут нахилу модуля 20°;
- варіант 5 – одновісна слідкуюча конструкція з орієнтацією ФЕМ на південь, кут нахилу модуля 34°.

Даний перелік варіантів проекту фактично можна поділити на дві основні групи, оскільки варіанти 1–3 та 4–5 відповідно відрізняються лише кутом встановлення ФЕБ. Поміж собою дві групи варіантів відрізняються насамперед принципом проектування: варіанти 1–3 максимально використовують існуючу поверхню даху з мінімізацією витрат при очікуванні максимуму потужності. Варіанти 4–5 через використання трекерів мають визначити компроміс між ціною системи та її потужністю.

В Helioscope [6] для кожного варіанту визначено параметри складових системи мережевої ФЕС з урахуванням конфігурації даху об'єкту; підібрано обладнання для комплектації системи із врахуванням оптимального розташування ФЕБ за умови мінімального затінення елементів (рис. 6).

Моделюванням в Helioscope [6] розроблено електричну схему з'єднань елементів, визначено структуру втрат в системі, що враховує втрати в інверторах, втрати в мережі постійного струму, втрати в мережі змінного струму,

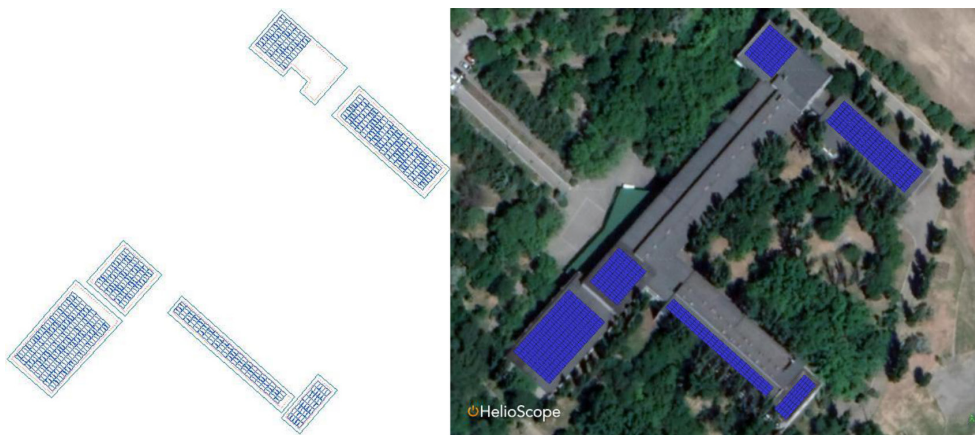


Рис. 6. План-схема розташування ФЕМ (варіант 1) [1]

отримано авторами моделюванням в Helioscope [6]



Рис. 7. Моделювання затінення ФЕМ (варіант 1)

отримано авторами моделюванням в Helioscope [6]

втрати через затінення чи забруднення ФЕМ, зменшення потужності фотоелектричного модуля через його перегрівання (рис. 7).

В програмному комплексі Gelioscope [6] проведено моделювання роботи кожного із варіантів мережевої фотоелектричної станції дахового типу для I корпусу ХНТУ, отримано дані щодо продуктивності кожного з них із врахуванням втрат в системі (рис. 7).

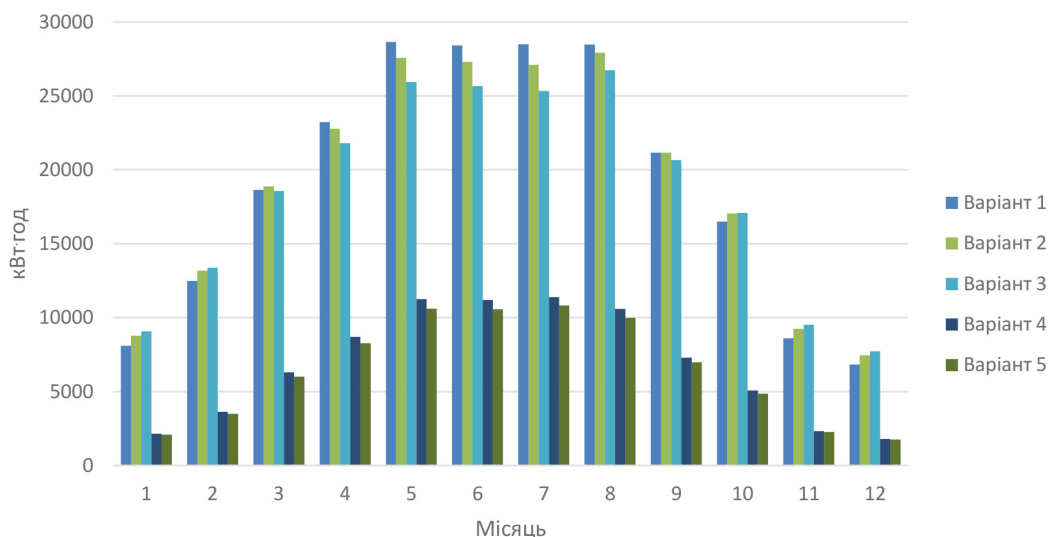


Рис. 8. Порівняльна характеристика варіантів проєкту ФЕС

Порівнянням видачі в мережу потужності за варіантами із середнім споживанням електроенергії I корпусом ХНТУ, визначено обсяг електроенергії, яку ФЕС може продати за «Зеленим тарифом» (якщо ХНТУ, як юридична особа, оформить ліцензію на продаж електроенергії за «Зеленим тарифом»).

Як видно з рис. 9, варіанти 1–3 протягом літнього сезону (травень-вересень) здатні не лише перекрити власне споживання електроенергії об'єктом, а й видати надлишок до мережі. Покриття частини витрат власним виробітком електроенергії мережевою фотоелектричною станцією дахового типу I корпусу ХНТУ насамперед зумовить економію коштів на оплату споживання електроенергії.

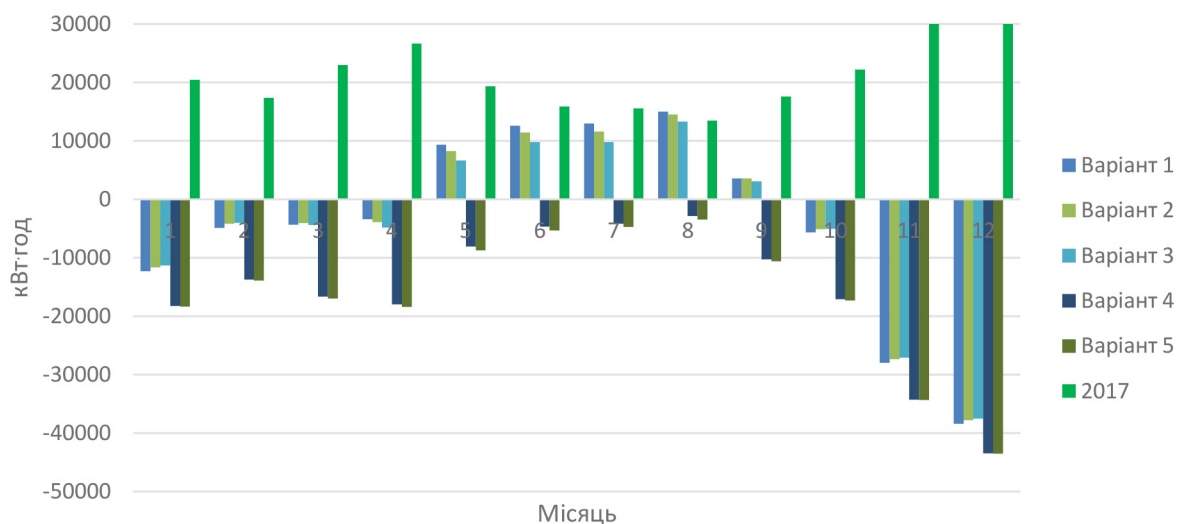


Рис. 9. Баланс потужності проєкту ФЕС з видачею надлишку в мережу за «Зеленим тарифом»

Визначено капітальні та поточні витрати на реалізацію розроблених варіантів проєкту мережевої сонячної електростанції дахового типу для першого корпусу ХНТУ. Термін окупності найбільш ефективного варіанту 1 мережевої фотоелектричної станції дахового типу для продажу електроенергії за «Зеленим тарифом» склав 4,7 років; $ИД = 1,2 > 1$. Показники ефективності проєкту свідчать про доцільність впровадження його в дію.

Висновки

Отже, результати моделювання в програмному комплексі Gelioscope роботи мережевої фотоелектричної станції дахового типу для першого корпусу Херсонського національного технічного університету підтверджують, що за умови відповідного фінансового забезпечення можливо даною системою не лише частково покривати власне споживання електроенергії, а й продавати надлишки за «Зеленим тарифом», що свідчить про доцільність впровадження такої системи на практиці.

Список використаної літератури

1. Статистика розвитку відновлюваної електроенергетики на кінець I півріччя 2021 року. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/statistika-rozvitku-vidnovlyuvanoyi-elektroenergetiki-na-kinec-i-pivrichchya-2021-roku> (дата звернення: 20.04.2025).
2. Методичні рекомендації оцінки економічної ефективності інвестицій в енергозберігаючі проєкти на підприємствах житлово-комунального господарства: // Наказ Колегії державного комітету України з питань житлово-комунального господарства (Держжитлокомунгосп) від 14.12.2007 р. № 218.
3. Don N., Pogrebniak I., Chepelyuk O., Varenik K., Haiko O. Simulation modeling of the operation of an industrial grid-connected photovoltaic power plant of ground type. Actual Problems Of Modern Science 2024. Bydgoszcz–Khmelnitskyi, 2024. P. 130–139.
4. Інструменти для моделювання сонячних електростанцій. URL: <https://avenston.com/articles/performance-modeling-tools-overview/> (дата звернення: 17.04.2025).
5. PVsyst photovoltaic software. URL: <https://www.pvsyst.com/pvsystcli/> (дата звернення: 12.04.2025).
6. HelioScope | Commercial Solar Software. URL: <https://helioscope.aurorasolar.com/> (дата звернення: 20.04.2025).

References

1. Statistics on the development of renewable electricity as of the end of the first half of 2021. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/statistika-rozvitku-vidnovlyuvanoyi-elektroenergetiki-na-kinec-i-pivrichchya-2021-roku> (last access: 20.04.2025). Title from the screen.
2. Methodological recommendations for assessing the economic efficiency of investments in energy-saving projects at housing and communal services enterprises: // Order of the Board of the State Committee of Ukraine for Housing and Communal Services (SDHK) dated 14.12.2007 No. 218.
3. Don N., Pogrebniak I., Chepelyuk O., Varenik K., Haiko O. Simulation modeling of the operation of an industrial grid-connected photovoltaic power plant of ground type. Actual Problems Of Modern Science 2024. Bydgoszcz–Khmelnitskyi, 2024. P. 130–139.
4. Tools for modeling solar power plants. URL: <https://avenston.com/articles/performance-modeling-tools-overview/> (last access: 17.04.2025). Title from the screen.
5. PVsyst photovoltaic software. URL: <https://www.pvsyst.com/pvsystcli/> (last access: 12.04.2025). Title from the screen.
6. HelioScope | Commercial Solar Software. URL: <https://helioscope.aurorasolar.com/> (last access: 20.04.2025). Title from the screen.