

**ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ ДВНЗ «ДОНЕЦЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»**

Остренко Д.О., аспірант кафедри «ЕлІн», dmytro.ostrenko@gmail.com
Колларов О.Ю., зав. каф. «ЕлІн», к.т.н., доц. каф., kollarov@gmail.com
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет

В даній роботі розглянуто принцип роботи стенду під назвою «Фотоелектрична станція», який спроектовано та введено в експлуатацію в Донецькому національному технічному університеті, наведена математична модель цього стенду. В ході дослідження була продемонстрована можливість інтеграції в математичну модель штучної нейронної мережі, в майбутньому планується зробити теж саме і на фізичному стенді, з метою прогнозування поведінки електричної мережі та передачі оператору інформацію, на комп'ютер, про можливі аварії та випадки, які йдуть перед аварійним, в енергетичній системі.

This article considers the principle of creation and operation of a stand called "Photovoltaic Station", which is located on the basis of "Donetsk National Technical University" in Pokrovsk. The mathematical model of this stand is also given. The purpose of this study is to analyze the operation of a real solar power plant and develop a mathematical model to predict the results that will be obtained when working with a physical model. The article uses both empirical research methods: description, measurements, experiment and comparison, and theoretical - formalization.

To achieve the main task in the work the following stages are performed: Development of constructive decisions concerning change of an angle of inclination of solar panels; Improving models of graphical programming of photovoltaic systems using artificial intelligence; Forecasting the results of the solar panel using neural networks; Identifying the value of the efficiency of photovoltaic installations that use optimized parameters.

The paper presents the method of selection and parameters of the main elements of the installation, block diagrams, electrical diagrams and models of the developed structures. A mathematical model of the stand was developed and modeled in the Matlab software package. The obtained results allowed us to conclude that the mathematical model has the same properties as a real photovoltaic station and can be used in the future to model accidents and pre-accidents in the electrical network.

Актуальність теми. Одним з головних напрямів в розвитку електроенергетики України є широке впровадження та інтеграція енергоустановок, що працюють на основі відновлюваних джерел енергії,

в загальну електричну мережу. Енергоустановки, які генерують електричну енергію за допомогою використання енергії сонця та вітру набули промислових масштабів в загальній енергетиці України. Так статистика співвідношення виробленої електричної енергії в Україні на серпень 2020 року за видами генерації виглядає наступним чином: Гідроакumuлюючі станції та гідроелектростанції – 5.9%; ВДЕ (відновлювальні джерела енергії - вітрова та сонячна електроенергія) – 10.7%; Теплові електростанції – 30 %; Атомні електростанції – 52.1 %; Інші – 1.3%;

Так станом на 1 квітня 2020 року, в країні встановлено понад 2,7 ГВт об'єктів сонячної енергетики, а це майже 75% від всіх існуючих відновлювальних джерел енергії. Що дозволило Україні піднятися на двадцять третє місце в світовому рейтингу сонячної енергетики. За прогнозами [2], до 2020 року потужність встановлених об'єктів сонячної енергії в Україні збільшиться до 3 ГВт.

Також актуальність даної тематики обумовлена енергетичною стратегією України під назвою "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність", яка передбачає збільшення використання відновлюваних джерел енергії в країні до 2035 року до значення 25% від обсягів загального первинного енергопостачання [1].

Тож, сонячна енергетика нарощує потужності в Україні і буде розвиватися і надалі, тому що:

1. В Україні багато регіонів, де обладнання для сонячної електричної станції працює з максимально ефективно, адже є високий показник рівня сонячної інсоляції, один з найвищих в країнах Європи, особливо на півдні та сході країні.

2. Існує зацікавленість зарубіжних інвесторів, через наявність в країні «зелених» тарифів, одних з найбільш високих в країнах Європи. Що в свою чергу дозволяє пришвидшити термін самоокупності фотоелектричних станцій та знову вводити нові потужності.

3. «Зелений» тариф буде поступово зменшуватися до 2030 року, але навіть це не завадить гарантовано отримувати тривалий прибуток після разового вкладення коштів в сонячну енергетику.

4. Розвиток сонячної енергетики в Україні призвів до того, що в країні почала розвиватися і галузь енергетики з виготовлення обладнання для сонячних станцій (це і трекери, контролери заряду, акумуляторні батареї саме для фотоелектрики, інвертори, допоміжні датчики освітлення, вологості, температури). А стаття 17-3 Закону «Про електроенергетику» визначає надбавки до "зеленого" тарифу при відповідного дотримання рівня (5%, 30% та 50%) використання електрообладнання українського

виробництва встановлюється і підлягає застосуванню на весь термін його дії.

5. Збільшується рівень використання обладнання українського виробництва на об'єктах електроенергетики, в тому числі на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій, які виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії, визначається як сума відповідних питомих процентних показників елементів обладнання.

6. Сонячна енергетика набула промислових масштабів не тільки в Україні, а й у світі, а отже покращується і сама якість сонячних панелей (зростає ККД, використовуються нові матеріали та технології для побудови), адже в цьому є зацікавленість самих держав, а відповідно це стає завданням, які країни ставлять перед науковцями та виділяють під це кошти.

Аналіз стану питання. Варто зазначити, що в Україні у рамках виконання науково-дослідницької роботи вже монтуються та досліджуються СЕС (сонячні електростанції) так, наприклад, в [3] університеті «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» починаючи з 2017 відбувається ввід в експлуатацію сонячних панелей для забезпечення одного з корпусів власною, «зеленою» енергією та залученням до дослідів у своїх дослідницьких роботах студентів.

Також варто привести в приклад «Національний університет біоресурсів і природокористування України» [4], де вивчають схожу за змістом тематику - підвищення значення максимальної потужності СЕС завдяки використанню штучного інтелекту. Однак установка НУБіП пропонує використовувати для отримання максимальної потужності трекери, чим і відрізняється від тої, яка буде досліджуватися в даній роботі.

Мета дослідження – аналіз роботи реальної сонячної електростанції та розробка математичної моделі для прогнозування результатів, які будуть отримані при роботі з в фізичною моделлю (стендом). Для досягнення основного завдання в роботі виконуються такі етапи:

1. Розроблення конструктивних рішень, щодо змінення кута нахилу сонячних панелей.

2. Вдосконалення моделей графічного програмування фотоелектричних установок з використанням штучного інтелекту.

3. Прогнозування результатів роботи сонячної панелі за допомогою застосування нейронних мереж.

4. Виявлення значення ефективності фотоелектричних установок, які використовують оптимізовані параметри.

Для виконання математичного моделювання в дослідженні застосовувався прикладний програмний пакет Matlab. Побудова нейронних мереж також була виконана за допомогою бібліотеки програми Matlab Simulink.

В дані роботі застосовуються, як емпіричні методи дослідження: опис, виміри, експеримент та порівняння, так і теоретичні – формалізація.

Більш детально причини виникнення коротких замикань, які необхідно прогнозувати за допомогою використання штучного інтелекту, в ФЕС розглянуто в [5].

Конструктивні рішення, щодо розміщення сонячних панелей. Під час роботи постала задача зробити кут нахилу встановленої в установку сонячної панелі динамічним. Таке рішення обумовлено прагненням мати більшу кількість значень (дослідним шляхом) для побудови характеристик потужності сонячної панелі, тобто імітувати різний кут нахилу сонця лабораторним шляхом. Для цього був розроблений механізм, який включає в свій склад болтове з'єднання рухомих та нерухомих частин, що представлено на рисунку 1 конструкції (позначення 3). Для полегшення конструкції було прийнято рішення взяти за основу металевий профіль з поперечним розрізом в 40*40 мм з стінками товщиною 4 мм. Це рішення суттєво вплинуло на загальну вагу конструкції, відповідно, значно зменшивши її.

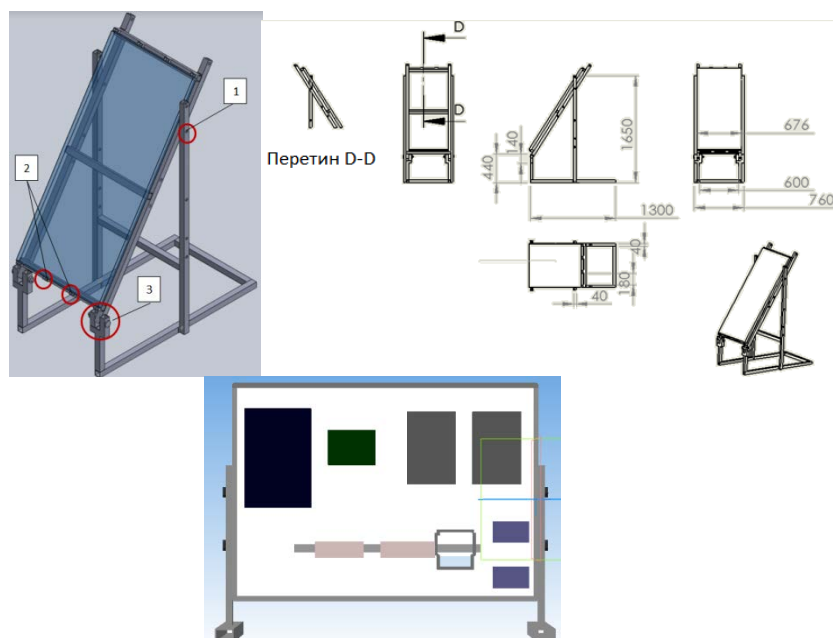


Рисунок 1 – Конструкція стенду

Для проектування конструкції та його розрахунку на механічну міцність застосовувалося програмне забезпечення SolidWorks. Розрахунок

на навантаження дозволив попередньо зробити висновок, що конструкція надійна та витримає вагу сонячної панелі нахилом від 0° до 70°. До конструкції було також додано спеціальні Г-образні обмежувачі(рисунок 1, позначення 2), та вертикальні балки (позначення 1). Це дозволило закріпити сонячні панелі у двох осях.

Для вірної побудови майбутньої електроустановки було виконано структурну схему (рисунок 2), що включає в себе наступні компоненти (таблиця 1).

Таблиця 1 – Обладнання для побудови стенду «Фотоелектрична станція»

№	Обладнання	Основні параметри	Кількість
1	Сонячна панель (ФЕП).	<ul style="list-style-type: none"> • тип елемента: полікристал 156*156 мм; • кількість елементів: 36; • розміри: 1480*680*30 мм; • вага: 11.6 кг; • максимальна потужність: 170 Вт; • номінальна напруга: 12 В; • напруга при максимальній потужності: 19.75; • струм короткого замикання: 9.15; • ККД модуля: 13.8%; 	3
2	Контролер заряду(КЗ).	<ul style="list-style-type: none"> - Напруга 12/24В - Вхідний струм і струм споживаний не повинні перевищувати 50А 	1
3	Акумуляторна батарея(АБ).	<ul style="list-style-type: none"> • Напруга – 12 В • Ємність – 100 А*год • Розмір (мм) - 305x168x215 	2
4	Інвертор.	<ul style="list-style-type: none"> - Вхідна напруга – 230 VAC В. - Стабілізація вихідної напруги 230 +-5% VAC (В) - Напруга в режимі інвертування 220 В, f-50 Гц 	1
5	Плата STM32F4	<ul style="list-style-type: none"> • 216 МГц, ядро Cortex-M7; • 1 Мб FLASH пам'яті; • 320 Кб SRAM пам'яті; • 128 Мбіт Quad - SPI Flash; • 128 Мбіт SDRAM; 	2
6	Електролічильник	<ul style="list-style-type: none"> - клас точності 1,0; - інтерфейси: IrDA; - вимірювання потужності, струмів, напруг, частоти; 	3
7	Асинхронний двигун.	<ul style="list-style-type: none"> • Напруга, В 220 -1фаза • Частота обертання, 3000 об/хв. • Потужність, 0,25 кВт • Висота осі обертання -71 мм 	2

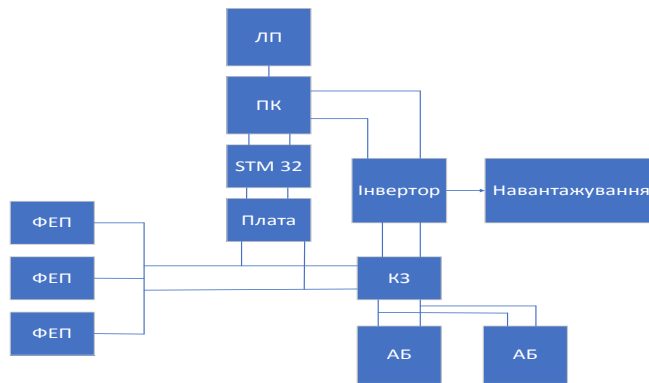


Рисунок 2 – Структура схема досліджуваної установки.

До складу входять фотоелектричні елементи, інвертор, акумуляторні батареї, контролер заряду, плати STM 32 для вимірювань. Також на рисунку 2 показано підключення та місце виводу інформації на екран оператора.

Також була створена електрична схема стенду (рисунок), для того, аби розуміти як вірно розташовувати та монтувати обладнання.

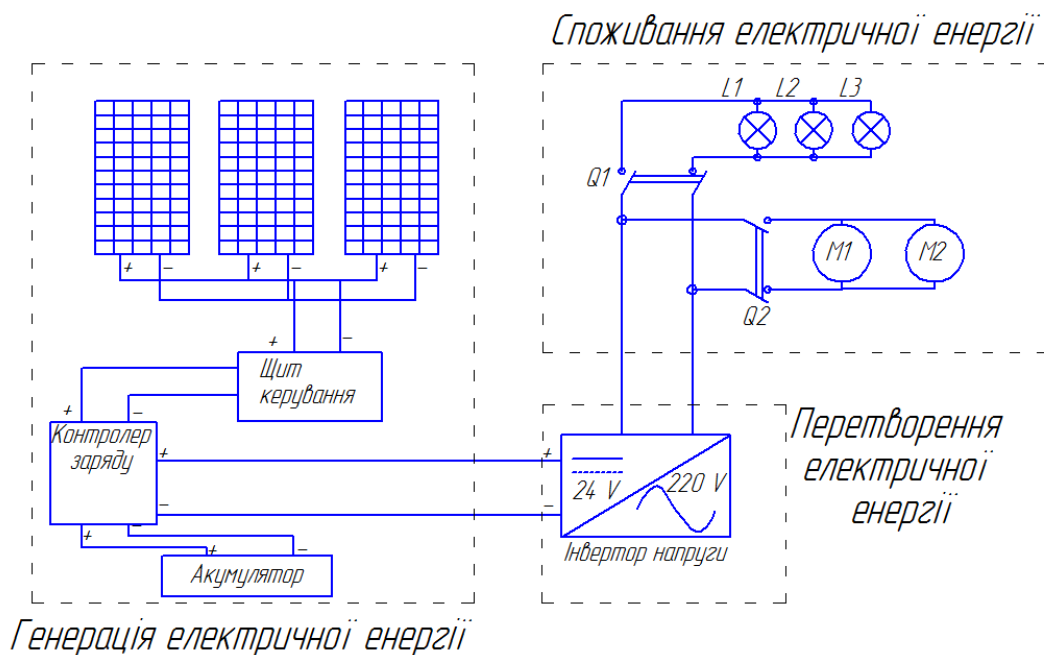


Рисунок 3 – Принципова електрична схема стенду.

Після цього усі компоненти стенду були зібрані та підключені, результат цієї роботи можна побачити на рисунку 4. Тут наведено фото: самого стенду, звідки виконується контроль та виміри необхідних фізичних величин даної енергосистеми; прожектори та інвертор; сонячні панелі, яка є частиною розробленої конструкції, що було досліджено вище.



Рисунок 4 – Зображення стенду «Фотоелектричної станції»

Також, як було зазначено раніше, створена була математична модель фотоелектричної станції в програмному пакеті Matlab, що зображена на рисунку 5. Тут продемонстровано також розташування нейронної мережі для прогнозування подій в фотоелектричній станції, більш детально створення та налаштування нейронних мереж для ФЕС розглянуто в [6]. Варто зазначити, що в даній моделі побудована НМ з зворотнім розповсюдженням помилки, в майбутньому її пропонується замінити на нейронну мережу на базі поліномів Лежандра [7].

Отримані результати такої системи дозволять виконати доповнення до топології НМ, що допоможе визначити вірний напрям нейронної мережі. Під вірним напрямом НМ розуміється випадок, коли прагне до збіжності різниця між цільовою функцією та виходом нейронної мережі.

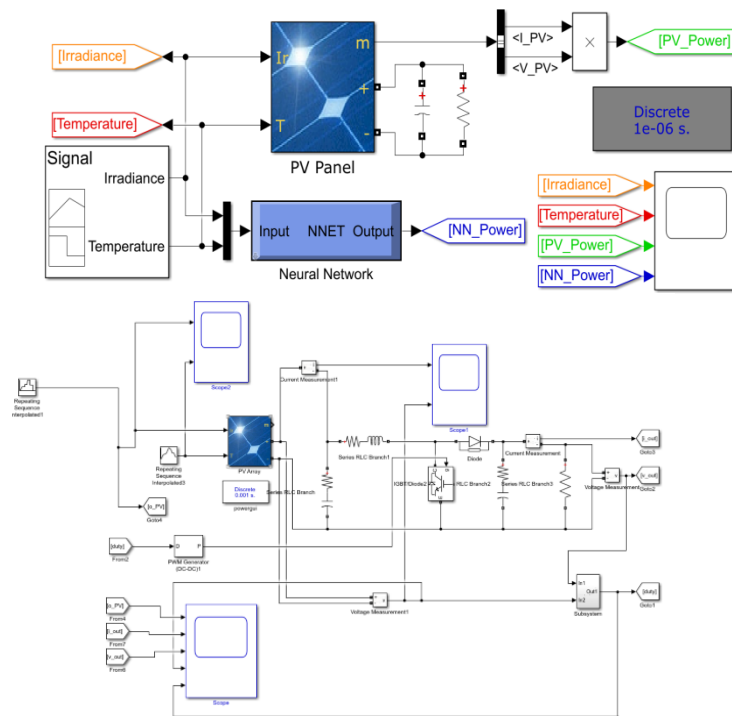


Рисунок 5 – Математичні моделі стенду без та з використанням нейронних мереж

Результати роботи математичної моделі наведені на рисунку 6.

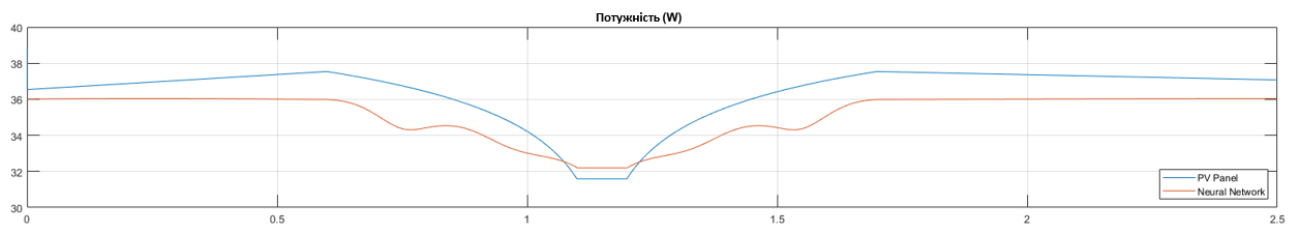


Рисунок 6 – Результати моделювання роботи реальної сонячної моделі та математичної моделі з використанням нейронної мережі. Вихідна залежність потужності від часу.

Аналіз говорить, що побудована модель має наближені властивості до реального сонячного стенду. А отже справедливе її використання при дослідженні процесів в стенді «Фотоелектрична станція».

Висновки. В представленій роботі виконаний аналіз етапів побудови стенду «Фотоелектрична станція», що здійснювалась в лабораторії ДонНТУ. Наведено метод обрання та параметри основних елементів установки, структурні схеми, електричні схеми та моделі розроблених конструкцій. Розроблено математичну модель стенду та проведено її моделювання в програмному пакеті Matlab. Отримані результати дозволили, зробити висновок, що математична модель має ті ж властивості, що і реальна фотоелектрична станція та може використовуватися в подальшому для моделювання аварійних та перед аварійних випадків в електричній мережі. Також був зроблений висновок, що необхідно в наступних роботах приділити увагу архітектурі та методу тренування нейронної мережі.

Список використаних джерел

1. Міністерство енергетики України - Інформація про роботу електроенергетичного комплексу за серпень 2020 року - фактичні дані. URL посилання: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245474568&cat_id=245183225 (Дата звернення – 11.10.2020).
2. Анализ рынка солнечных батарей и солнечной энергетики в Украине. URL посилання: <https://inventure.com.ua/analytics/investments/analiz-rynka-solnechnyh-batarej-i-solnechnoj-energetiki-v-ukraine> (Дата звернення – 14.10.2020).
3. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" - Солнечная электростанция на крыше 22

корпуса. URL посилання: <https://kpi.ua/ru/node/17828> (Дата звернення – 14.10.2020).

4. Кафедра електропостачання ім. проф. В.М. Синькова - Навчальні лабораторії. URL посилання: <https://nubip.edu.ua/node/1466/3> (Дата звернення – 15.10.2020).

5. Остренко Д.О., та Колларов О.Ю. «Пошук екстремуму потужності фотоелектричного елемента шляхом методики розпізнавання образів штучними нейронними мережами», збірник «Наукові праці ДонНТУ, серія: електротехніка і енергетика» №1(21)'2019, м. Покровськ, с 42-46;

6. Остренко Д.О., та Колларов О.Ю. «Розробка нейронної мережі з характеристиками МРРТ контролера», збірник «Наукові праці ДонНТУ, серія: електротехніка і енергетика» №1(19) – 2(20)'2018, м. Покровськ, с. 23-27;

7. Остренко Д.О., Колларов О.Ю., «Обґрунтування топології штучних нейронних мереж для прогнозування аварійних режимів енергосистем» Всеукраїнська науково-практична Інтернет конференція молодих учених та студентів «Електромеханічні та інформаційні системи», 21 квітня 2020 року, м. Київ), с 78-80.

8. Миличко В.А. Солнечная фотовольтаика: современное состояние и тенденции развития / В.А. Миличко // Успехи физических наук. – 2016. – Т.186, №.8. – С.801–852.

9. А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун, «Аналіз схем сонячних електростанцій на фотоелектричних модулях для зарядних станцій електромобілів», Автомобильный транспорт, вып. 41, 2017 с. 163-169.

10. Денисюк С. П. Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією / Денисюк С.П., Дерев'янку Д.Г., Колесник П.С. // Зб. пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. Спец. вип. – 2011. – С. 30–37.