



УДК 621.313

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-2-15

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНОЇ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ**

Возняк Олександр Миколайович, к.н.т., доцент
Штуць Андрій Анатолійович, асистент
Вінницький національний аграрний університет
Булига Андрій Ігорович, магістр
Вінницький національний технічний університет

Oleksandr Voznyak, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Andrii Shtuts, Assistant
Vinnytsia National Agrarian University
Andrii Bulyha, Master
Vinnytsia National Technical University

Стаття присвячена дослідженню та аналізу роботи електромеханічної системи автономної фотоелектричної насосної станції. Фотоелектричні насосні станції є важливим елементом сталого розвитку, забезпечуючи ефективне використання сонячної енергії для незалежного живлення водних насосів.

Проведено докладний аналіз структури та принципу роботи фотоелектричної насосної станції. Були вивчені ключові компоненти системи, такі як сонячні панелі, електронні контролери, електромеханічні насоси та зберігання енергії. Зокрема, були досліджені різні методи максимізації виходу енергії з сонячних панелей та оптимізації ефективності насосних систем.

Результати дослідження показали, що ефективна робота фотоелектричної насосної станції залежить від точного збалансування електромеханічних компонентів, оптимального використання сонячної енергії та ефективного управління електронними системами. Висунуті рекомендації щодо покращення ефективності та надійності системи.

В рамках даної роботи було встановлено, що важливою складовою успішної функції фотоелектричної насосної станції є вибір оптимального типу сонячних панелей та їх розташування для забезпечення максимального збору сонячної енергії. Також була розглянута проблематика зберігання надлишкової енергії для забезпечення стабільності функціонування системи в періоди обмеженого сонячного випромінювання.

Окрім того, були виконані моделювання та експериментальні дослідження різних режимів роботи насосної станції, включаючи зміну навантаження та варіацію сонячної активності. Це дозволило отримати важливі дані щодо динаміки та відповідності роботи системи запланованим параметрам.

Важливим аспектом дослідження була оцінка ефективності та економічної доцільності фотоелектричної насосної станції порівняно з традиційними джерелами енергії для водопостачання. Виявлено, що в деяких випадках використання фотоелектричної енергії може бути економічно вигіднішим та екологічно чистішим рішенням.

Загалом, результати цієї наукової роботи мають важливе практичне значення для розвитку сталої енергетики та використання відновлювальних джерел енергії. Дослідження роботи електромеханічної системи автономної фотоелектричної насосної станції сприяє поглибленню розуміння технологічних, економічних та екологічних аспектів таких систем.

У підсумку, ця стаття допомагає глибше розібратися у принципах функціонування автономних фотоелектричних насосних станцій та може служити основою для подальших досліджень у галузі використання відновлювальних джерел енергії.

Ключові слова: фотоелектрична енергія, автономна насосна станція, електромеханічна систем, сонячні панелі, насосні системи, ефективність енергозабезпечення, відновлювальна енергія, енергоефективність, електронні контролери, зберігання енергії, стале водопостачання, моделювання роботи системи.

Ф. 1. Рис. 5. Таб. 1. Літ. 11.



1. Вступ

В сучасних умовах зростає важливість розробки та впровадження ефективних енергетичних рішень, спрямованих на використання відновлювальних джерел енергії. Однією з актуальних та перспективних галузей є розробка автономних фотоелектричних систем, зокрема насосних станцій, які забезпечують водопостачання та інші потреби у воді за допомогою сонячних панелей.

Однією з ключових складових таких систем є електромеханічна система, яка відповідає за взаємодію між фотоелектричним джерелом енергії та насосною установкою. Дослідження та оптимізація роботи цієї електромеханічної системи важливі для забезпечення ефективності та надійності всієї автономної фотоелектричної насосної станції.

У даному дослідженні ми зосередимося на аналізі та вдосконаленні роботи електромеханічної системи автономної фотоелектричної насосної станції. Метою нашої роботи є вдосконалення роботи цієї системи з метою підвищення її ефективності та стійкості до змінних умов навколишнього середовища. Для цього передбачається аналіз та оптимізація параметрів електромеханічної системи, розробка алгоритмів контролю та регулювання роботи, а також експериментальне вивчення її функціонування в різних умовах.

Це дослідження має велике значення для подальшого розвитку та впровадження відновлювальних енергетичних технологій, спроможних забезпечити стале та ефективне енергопостачання при мінімальному впливі на довкілля. Вивчення роботи електромеханічної системи автономної фотоелектричної насосної станції допоможе вдосконалити та розширити можливості використання таких систем у різних сферах, від аграрного сектора до побутових потреб.

Однією з ключових потреб людства є доступ до води. Виробництво продуктів харчування, побутові потреби, охорона здоров'я, електроенергія та екосистемне відновлення вимагають доступу до водних ресурсів. Суспільство потребує стійкого водозабезпечення для сталого соціального і економічного розвитку.

Забезпечення водою має довгу історію як важливе технічне завдання. Особливо в бідних, посушливих, сільських районах є велика потреба у сталому доступі до води. Висуваються автономні системи, як оптимальне рішення цього виклику.

Для зрошення сільськогосподарських культур, перекачування води для побуту та водопою худоби, необхідні насосні системи з відповідним джерелом живлення. Однак у сільських районах джерела енергії можуть бути далеко від джерел води, що збільшує вартість побудови інфраструктури.

Зараз існує багато джерел електроенергії на основі двигунів внутрішнього згорання, які можуть бути використані для автономних систем насосного водопостачання. Вони є портативними, простими у встановленні і не залежать від інфраструктури. Проте ці системи вимагають обслуговування та пального, та мають негативний вплив на довкілля. Використання відновлюваної енергії є привабливим варіантом для автономних систем водопостачання в сільських та пустельних районах.

Зокрема, генерація електроенергії за допомогою фотоелементів виглядає дуже привабливо для систем водопостачання. Фотоелектричні системи мають багато переваг, таких як легкість встановлення, низькі інфраструктурні вимоги, стабільність і безшумність. Вони можуть бути застосовані навіть у віддалених місцях і вимагають незначного обслуговування.

Застосування автономних фотоелектричних водяних насосних систем має сприяти покращенню життя в віддалених районах та збереженню довкілля.

2. Постановка проблеми

В сучасний період зростає неперервна потреба людства у енергії. Проте навіть у найближчі десятиліття виробники енергії зіткнуться з обмеженістю природних палив (нафти, газу, вугілля), а також з такими проблемами, як надмірне забруднення довкілля через викиди від спалювання цих паливних матеріалів та потенційна ризика ядерної енергетики. Отже, виникає необхідність отримання доступної енергії за допомогою відновлюваних джерел енергії, при цьому мінімізуючи вплив на навколишнє середовище. Саме тому «нетрадиційна» або «чиста» енергетика, яка базується на практично необмежених ресурсах, вже зараз набуває значного розвитку.

В даний період збільшується потреба суспільства в енергії, що не зупиняється. Проте вже у найближчі десятиліття постає виклик для виробників енергії, пов'язаний з обмеженими запасами природних палив, таких як нафта, газ і вугілля. Також виникає серйозна проблема екологічного забруднення через засмічення атмосфери при спалюванні цих видів пального. Потенційні ризики, пов'язані з ядерною енергетикою, також додають палки до вогню цієї проблеми. Саме тому, на



сучасному етапі виникає актуальна потреба у створенні дешевих енергетичних рішень на основі відновлюваних джерел енергії. Важливо, щоб такі рішення мали мінімальний вплив на екологію та природне середовище. Саме з цієї причини на сьогоднішній день особливо актуальним стає розвиток «чистої» енергетики. Ця форма енергетики ґрунтується на використанні практично необмежених ресурсів, таких як сонячна та вітрова енергія. Інноваційні технології, пов'язані з використанням цих джерел, розвиваються зі швидкістю, що дозволяє прогнозувати значний потенціал цього напрямку. Вирішення проблеми енергетичного забезпечення при рівновазі з екологічними вимогами стає однією з найважливіших викликів нашого часу.

3. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відновлювальні джерела енергії набувають все більшої популярності у світі, оскільки вони дозволяють отримувати енергію без використання природних палив та мають мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище. Серед цих джерел виділяються сонячна, вітрова, гідроенергетика, біопаливо та інші. Одним з напрямків їх використання є автоматизовані системи енергопостачання, які забезпечують необхідну енергію для різних потреб, використовуючи відновлювальні джерела [1].

Автоматизовані системи енергопостачання використовуються як для житлових будівель, так і для комерційних та промислових об'єктів. Однією з головних переваг таких систем є їх незалежність від централізованої мережі електропостачання. Вони можуть працювати в умовах віддалених та важкодоступних районів, де підключення до загальної мережі є недоцільним або неможливим [2, 3].

Основною складовою автоматизованих систем є використання сонячних панелей або вітрових турбін для виробництва електроенергії. Сонячні панелі перетворюють сонячне випромінювання в електроенергію за допомогою фотоелектричного ефекту, тоді як вітрові турбіни використовують кінетичну енергію вітру для генерації струму. Ці джерела можуть працювати в різних умовах та забезпечувати постійний потік енергії [4].

Для ефективної роботи таких систем необхідно використовувати спеціалізовані контролери та алгоритми управління. Вони дозволяють відстежувати виробництво та споживання енергії, оптимізувати роботу системи в залежності від зовнішніх умов та потреб користувача.

Такі системи мають ряд переваг, зокрема, зниження витрат на енергопостачання, зменшення викидів вуглецю, підвищення надійності та стійкості до відключень з централізованої мережі. Однак вони також мають свої виклики, зокрема, нестача енергії у нічний час або в умовах слабого вітру, а також необхідність управління та підтримки системи.

Зростання інтересу до автоматизованих систем енергопостачання спонукає до подальших досліджень та розробок у цій галузі. Розуміння принципів їх роботи та вдосконалення алгоритмів управління може сприяти більш широкому та ефективному використанню відновлювальних джерел енергії, що в свою чергу сприятиме збереженню ресурсів та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище [5-7].

Для забезпечення надійного та якісного електропостачання вимогливих споживачів знайшли своє застосування автономні (безперебійні) системи електропостачання (АСЕ), які включають кілька джерел електроенергії, таких як основне, резервні та аварійні джерела. Сприяючи цьому, надходять можливості використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), оскільки обмежені ресурси органічного палива та негативний екологічний вплив традиційних методів виробництва енергії роблять це актуальним.

Один з таких підходів - фотоелектрична система енергопостачання, включає компоненти, які взаємодіють між собою, щоб забезпечити ефективну доставку електроенергії від маленьких пристроїв до загальної навантаженості. Системи енергопостачання поділяються на три категорії: підключені до мережі, автономні та гібридні, включаючи в себе джерела як фотопанелі, дизельні генератори та вітрогенератори. І в тих і в інших системах можуть використовуватися засоби збереження, такі як батареї або суперконденсатори, для нічного періоду або часів недостатнього сонячного світла.

Фотопанелі в автономних системах напряму живлять навантаження, незалежно від комунальної мережі. Автономні системи є особливо економічно вигідними для впровадження фотоелектричної енергії, особливо в сільській місцевості з інтенсивним сонячним випромінюванням та обмеженим доступом до електричних мереж. Це може бути використано для систем зв'язку, водопостачання, навігації, аварійних служб або військових об'єктів, які вимагають додаткового джерела енергії.



Автономні системи мають вади, такі як низька потужність накопичувачів, акумулятори з обмеженою ємністю, що може призводити до втрати збереженої енергії. Додатково, вони мають важливі особливості, такі як потребу у накопичувачах для нічних годин, коли відсутнє сонячне світло, а також налаштування експлуатаційної потужності відповідно до навантаження [8-11].

4. Мета досліджень

Мета даної дослідницької роботи полягає у створенні незалежної фотоелектричної насосної системи для дифузійного апарату. Перший етап включає розробку концепції проекту, визначення ключових контрольних, регулювальних та сигнальних параметрів. Подальший розвиток включає розробку фотоелектростанції у цілому, вибір відповідних пристроїв і засобів для керування та регулювання, які забезпечують контроль над робочим процесом та дослідження функціонування електромеханічної системи. Автоматизація фотоелектричної станції позитивно позначиться на умовах праці, збереженні енергії та матеріалів, а також підвищить продуктивність виробництва.

5. Виклад основного матеріалу

Системи електропривода в сучасному технічному середовищі є ключовими компонентами, забезпечуючи керування та контроль руху механізмів та устаткування. Від правильної структури та організації системи електропривода залежить ефективність роботи технічних пристроїв, їх точність, надійність та економічність. Дослідження та розробка структурної схеми системи електропривода є актуальною та важливою задачею у галузі технічних наук, оскільки дозволяє вирішувати ряд завдань, пов'язаних з підвищенням продуктивності, якості та надійності роботи промислових систем.

Однією з головних метою даного дослідження є дослідження та аналіз різних структурних схем систем електропривода. Кожна схема має свої переваги та обмеження, тому обґрунтована вибірка оптимальної структури є важливим завданням. Для цього виконуються такі кроки:

1. аналіз функціональних вимог: Спочатку визначаються вимоги до системи електропривода, такі як точність позиціонування, швидкість реакції, навантаження, економічні параметри тощо;
2. вибір типу електродвигуна: залежно від вимог вибирається тип електродвигуна: постійного струму, змінного струму, крокового тощо;
3. вибір структури системи: Розглядаються можливі структурні схеми системи електропривода, такі як прямий, зі зворотним зв'язком, зі зворотнім зв'язком та регулятором, з використанням перетворювачів тощо;
4. моделювання та аналіз: здійснюється математичне моделювання системи з врахуванням вибраної структури та параметрів. Аналізуються показники якості, такі як точність регулювання, стійкість, відхилення від заданої траєкторії тощо;
5. оптимізація та налаштування: проводиться оптимізація параметрів системи електропривода для досягнення найкращих показників якості роботи. Налаштовуються регулятори, контролери та інші компоненти.

Математичне моделювання дозволило дослідити динамічні характеристики системи для різних структур та параметрів, забезпечивши можливість вибору оптимальної конфігурації з урахуванням поставлених вимог.

Виявлено, що вибір типу електродвигуна має важливе значення для досягнення бажаних показників продуктивності та точності системи електропривода.

Використання зворотного зв'язку та регуляторів дозволяє підвищити стійкість системи, зменшити відхилення від заданої траєкторії руху та забезпечити кращу реакцію на зміни навантаження.

Результати дослідження підтвердили важливість налаштування параметрів системи для досягнення оптимальної продуктивності. Налаштування регуляторів та контролерів дозволило досягти більш точного регулювання та знизити відхилення.

Обрано оптимальну структуру системи електропривода, яка відповідає вимогам до точності та ефективності роботи. Виявлено, що використання перетворювачів може зменшити втрати потужності та забезпечити більш гнучкий режим роботи.

Важливим кроком є вивчення впливу перешкод та навантаження на систему. Аналіз реакції системи на зміни навантаження та робочі умови дозволили розробити адекватні заходи для забезпечення стійкості та надійності.



Виявлено, що впровадження додаткових засобів контролю та діагностики може покращити виявлення несправностей та запобігти можливим поломкам. Моніторинг стану системи дозволяє здійснювати своєчасні заходи з обслуговування та ремонту.

Отримані результати свідчать про те, що дослідження та розробка структурної схеми системи електропривода є важливим етапом у вдосконаленні промислових технологій та підвищенні ефективності виробництва.

Дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем електропривода різних технічних пристроїв, що сприятиме покращенню їх якості, надійності та продуктивності.

Дослідження та розробка структурної схеми системи електропривода є ключовим аспектом в процесі вдосконалення електротехнічних систем. Ця тема зосереджується на аналізі та визначенні оптимальних компонентів та зв'язків, які забезпечують ефективний та надійний передачу енергії в системі. Дослідження охоплює вивчення різних варіантів структурних рішень для забезпечення потреб електропривода, а розробка включає в себе створення концептуальних та практичних моделей для реалізації вибраних структурних рішень. Важливим аспектом є забезпечення оптимальної координації між різними компонентами системи електропривода для досягнення максимальної продуктивності та ефективності. У результаті дослідження та розробки структурної схеми системи електропривода можна досягти покращення якості та надійності роботи електротехнічних систем у різних сферах застосування, від промисловості до побутових пристроїв.

Фотопанель є інтерфейсом, спроможним перетворювати світло на електричну енергію. Для моделювання цього пристрою необхідно мати дані про погодні умови, такі як опромінення та температура, як вхідні змінні. Вихідними параметрами можуть бути струм, напруга або потужність. Будь-яка зміна вхідних значень призводить до зміни результатів, тому важливо використовувати адекватну модель для фотопанелі. В цій моделі слід враховувати вплив опромінення та температури на параметри фотоелектричного модуля. Одна з моделей базується на використанні діодної моделі з послідовними та паралельними резисторами для більш точних результатів.

Чим більш точна структурна модель, тим більше невідомих параметрів вона містить. Часто технічні характеристики виробників надають недостатньо інформації про параметри, які залежать від погодних умов. Таким чином, для встановлення математичної моделі фотопанелі необхідно робити припущення щодо фізичної природи її поведінки.

Головною метою досліджуваної моделі є досягнення максимальної потужності в будь-який час, близької до експериментальних значень. Зовнішня характеристика фотопанелі $I(V)$ є нелінійним рівнянням з безліччю параметрів, які можна класифікувати як конструкторські, відомі константи та ті, які потрібно обчислити. У деяких випадках використовують спрощені методи, де деякі невідомі параметри розглядають як постійні. Такі припущення допомагають зменшити складність моделювання. Однак є також дослідники, які враховують значення всіх внутрішніх параметрів для більш точних результатів.

Фотопанель є значущим компонентом в системах відновлюваної енергії, і розробка відповідних моделей допомагає досягти більшої ефективності та точності її функціонування.

В результаті дослідження та розробки структурної схеми системи електропривода були отримані наступні результати:

1. проведений аналіз різних структурних схем системи електропривода вказав на їх переваги та обмеження у контексті вимог до продуктивності та якості роботи;
2. математичне моделювання дозволило дослідити динамічні характеристики системи для різних структур та параметрів, забезпечивши можливість вибору.

Зовнішня характеристика панелі $I(V)$ – це нелінійне рівняння з безліччю параметрів, класифікованих наступним чином: ті, що надаються конструктором, ті, що відомі як константи, і ті, які необхідно обчислити. Іноді розробляються спрощені методи, у яких деякі невідомі параметри не можуть бути розрахованими. Таким чином вони вважаються постійними. Наприклад, був включений послідовний опір R_s , без паралельного для моделі помірної складності. Те саме припущення прийнято в роботах, вважаючи паралельний опір дуже великим. Інші автори нехтують, як паралельним так і послідовним опорами, вважаючи, що послідовний опір дуже малий, а паралельний дуже великий. З іншого боку в літературі є й інші статті, в яких ці дві внутрішні характеристики фотоелектричного модуля вважаються дуже важливими і повинні бути врахованими більш точно. Крім опорів слід визначити ще й інші параметри, а саме фотострум (I_{ph}), струм насичення (I_0), та коефіцієнт ідеальності (A).

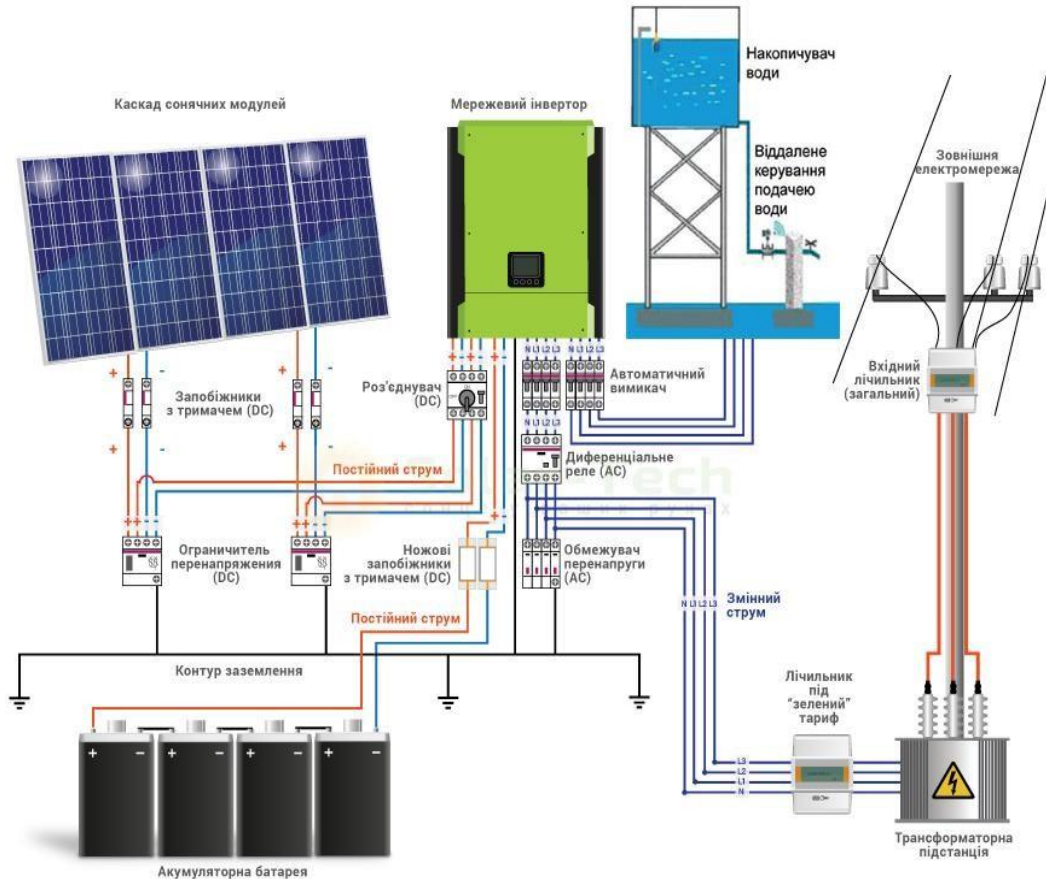


Рис. 1. Схема моделі досліджуваної системи

Враховуючи розраховане вище значення потужності здійснимо вибір фотопанелі АХМ144-9-166-470, з технічними характеристиками, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики фотопанелі АХМ144-9-166-470

Вихідна потужність Pmax, Вт	470
Напруга Pmax Vm, В	41.44
Струм Pmax Im, А	10.87
Напруга холостого ходу Voc, В	50.16
Струм КЗ Isc, А	11.48
Температурний коефіцієнт (Pmax), γ, % / °С	-0.365
Температурний коефіцієнт (Voc), βvoc, % / °С	-0.285
Температурний коефіцієнт (Isc), αisc, % / °С	-0.055
Максимальна напруга системи Vmax, В	1000
Робоча температура, °С	-40~85

За допомогою даної моделі здійснено два дослідження. А саме, дослідження динамічних та статичних характеристик при номінальній та зниженій вхідній напрузі фотопанелі. У двох наступних дослідженнях відбудеться зменшення моменту навантаження на валу двигуна насоса на 10 Нм в 1 с. Насос в даній моделі поданий у вигляді наступного рівняння:

$$K = \frac{M_n}{\omega_n^2} = \frac{72}{152.6^2} = 0.00292 \quad (1)$$

Функціональна схема пристрою плавного пуску представлена на рисунку 2.



Промодельовавши систему, отримано графіки перехідних процесів, на яких видно чітке відпрацювання пов'язаних між собою компонентів системи. Дослід здійснено при значенні вихідної напруги фотопанелі 490 В.

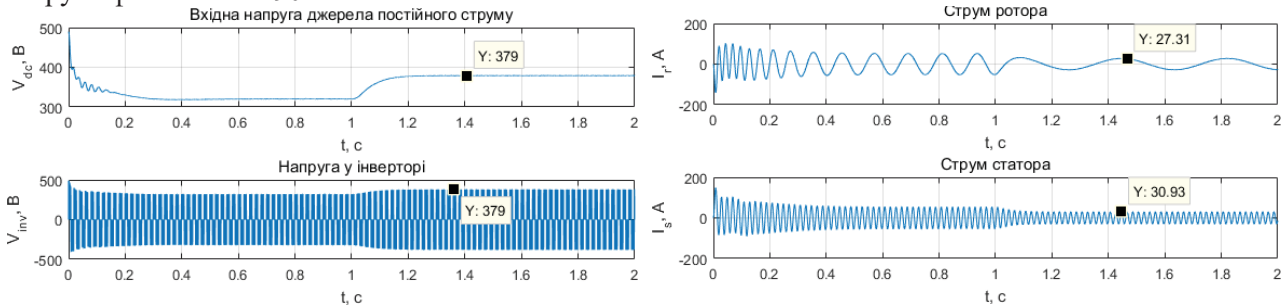


Рис. 2. Перехідні процеси двигуна при номінальній вхідній напрузі U_{dc} 490 В

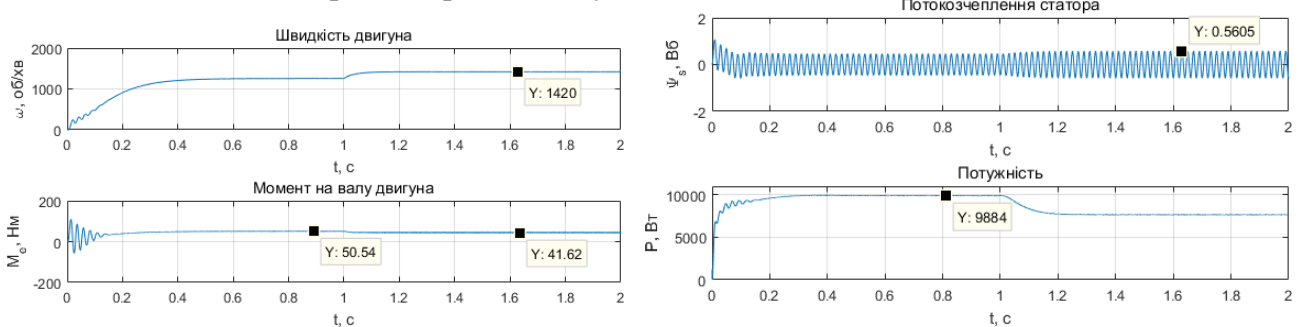


Рис. 3. Перехідні процеси двигуна при номінальній вхідній напрузі U_{dc} 490 В

У результаті моделювання системи при номінальній вхідній напрузі були отримані перехідні процеси, які можна побачити на рисунках 2 та 3. В першому випадку, напруга протягом фази накидання навантаження на двигун поступово збільшується до номінального значення 380 В. Під час зміни навантаження як на роторі, так і на статорі, струми стають меншими і наближаються до номінальних значень двигуна, як це видно на рисунку 2. Розглядаючи рисунок 3, можна спостерігати, що двигун досягає заданої швидкості за 1.1 секунди. Момент на валу двигуна також наближається до номінального значення.

Отже, при номінальній вхідній напрузі дана система продемонструвала працездатність, що відповідає очікуваному результату. Це підтверджує, що розглядувана система здатна працювати стабільно та ефективно при номінальних умовах.

При аналізі перехідних процесів при зниженні вхідної напруги в системі було виявлено цікаві залежності та характеристики, які можна проілюструвати рисунками та детально проаналізувати.

Зниження вхідної напруги призвело до зміни динаміки системи. Перехідний процес показав, що при спаді вхідної напруги напруга на виході постачання стала зменшуватись. В перші моменти спостерігався значний спад напруги, що свідчить про те, що система відреагувала на це зниження досить швидко. Потім, згідно з графіком, напруга на виході стабілізувалась на певному значенні, показуючи, що система досягла нового стану рівноваги.

Спостерігаючи зміну струмів в системі, можна відзначити, що вони також зменшились у відповідь на знижену напругу. Спочатку спостерігався короткочасний пік струму, який був обумовлений реакцією системи на внезапне зміну умов. Однак згодом струми стали спадати і, аналогічно напрузі, стабілізувались на новому значенні.

Зміни в перехідних процесах також відобразилися на характеристиках ефективності системи. Виявилось, що при зниженні вхідної напруги ефективність системи спочатку дещо зменшилась. Однак згодом, коли система досягла нового стану рівноваги, ефективність стабілізувалась на певному рівні.

Проведений аналіз перехідних процесів підтверджує, що зниження вхідної напруги має значний вплив на роботу системи. Відображені зміни в напрузі, струмах та ефективності показують, як система адаптується до нових умов та забезпечує стабільну роботу. Детальний аналіз цих процесів є важливим кроком у вдосконаленні та оптимізації роботи системи електропривода.

Паралельно з аналізом динаміки напруги та струму, варто врахувати і вплив зниження вхідної напруги на інші параметри системи.

Зокрема, важливим аспектом є зміна швидкості реакції системи на зниження напруги. З графіків видно, що спостерігається певна затримка перед тим, як система починає адаптуватись до нових умов. Це може мати важливе значення при оцінці реакційної здатності системи на непередбачувані зміни в умовах живлення.



Крім того, перехідні процеси можуть впливати на механічну стійкість системи. Зниження вхідної напруги може спричинити зміну моменту та швидкості обертання системи, що, в свою чергу, може вплинути на її стабільність та робочі характеристики.

Також важливо зазначити, що зниження вхідної напруги може призвести до збільшення навантаження на елементи системи, такі як двигун. Це може вплинути на тривалість їх роботи, знос та загальну надійність системи.

Аналіз перехідних процесів при зниженні вхідної напруги може також допомогти виявити можливі обмеження та ризики в роботі системи. Наприклад, якщо спостерігається дуже повільна реакція на зміну напруги, це може вказувати на проблеми з реакційною здатністю або недостатньою потужністю елементів системи.

У підсумку, аналіз перехідних процесів при зниженні вхідної напруги надає багато важливої інформації про роботу системи в умовах зміни вхідних параметрів. Цей аналіз є ключовим для забезпечення стабільності, ефективності та надійності системи електропривода у різних умовах.

Функціональна схема пристрою плавного пуску представлена на рисунку.

Так як в реальних умовах системи, в яких використовуються фотопанелі, можуть піддаватись зміні погодних умов, а саме зміні температури і опроміненні, то і вихідна напруга може змінюватись. В якості прикладу в досліді вихідну напругу фотопанелі буде зменшено на 100 В.

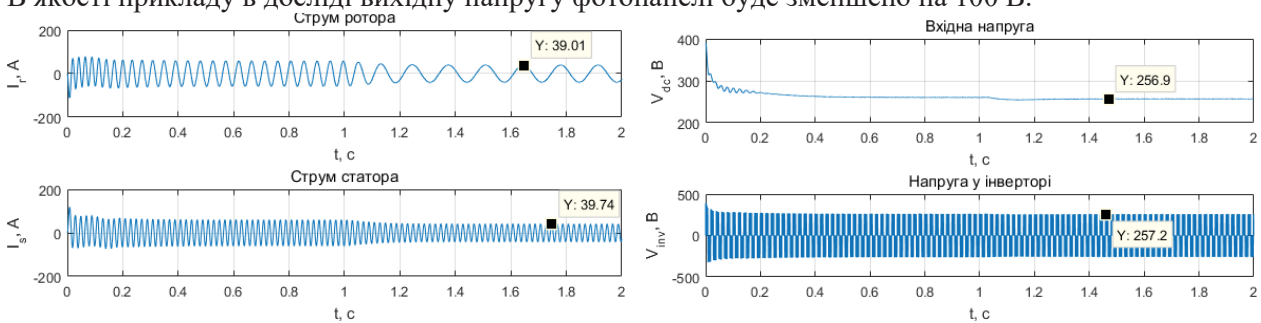


Рис. 4. Перехідні процеси двигуна при зниженій вхідній напрузі U_{dc} 390

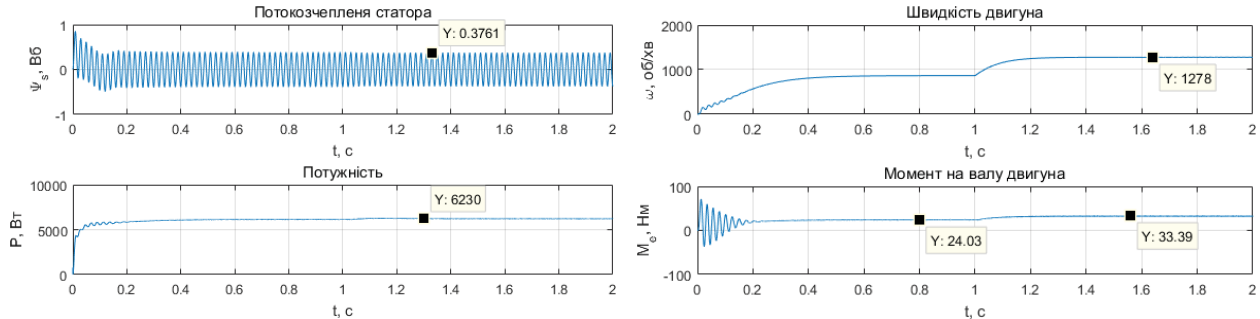


Рис. 5. Перехідні процеси двигуна при зниженій вхідній напрузі U_{dc} 390 В

Розглянувши перехідні процеси отримані в результаті другого досліді слід підмітити, що потужність знизилась, за рахунок меншого значення вхідної напруги. За рахунок чого відбулись зміни в струмах і моменті на валу двигуна.

6. Висновки

В даному дослідженні було розглянуто аспекти створення автономного джерела водопостачання на основі фотоелектричного відновлюваного джерела живлення, яке спільно працює з електроприводом, що базується на асинхронному двигуні з автономним інвертором. З врахуванням проведених експериментів та аналізу отримані наступні висновки.

1. Згідно із результатами докладного аналізу науково-технічної літератури, ефективність фотоелектричної станції можна значно підвищити, використовуючи алгоритми МРРТ для максимізації видобутку потужності з фотопанелі. Ця стратегія допомагає забезпечити оптимальний режим роботи фотоелектричної системи.

2. Продемонстровано, що поєднання фотопанелі з електроприводом для повороту панелі може відзначитися збільшенням вироблення електроенергії. Правильний кут повороту панелі сприяє максимізації опромінення і температурних параметрів, що мають ключовий вплив на вироблену потужність.



3. досліджено різні методи керування електроприводом, і виявлено, що у випадку взаємодії асинхронного двигуна з насосом, найбільш ефективним є використання частотного керування. Ця стратегія дозволяє досягти оптимального співвідношення між виробленою енергією та потребою.

4. моделювання системи автономного водопостачання в середовищі MATLAB/Simulink підтвердило відповідність розробленої системи заданим вимогам. Графіки перехідних процесів вказують на стабільність та адекватність роботи системи в умовах реального застосування.

5. отже, здійснене дослідження вказує на те, що реалізація автономної системи водопостачання на основі фотоелектричного джерела живлення та асинхронного електропривода є перспективним і ефективним підходом для забезпечення надійного та стійкого водопостачання в умовах віддалених регіонів.

Список використаних джерел

1. Стаднік М. І., Видмиш А. А., Штуць А. А., Колісник М. А. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навч. посіб. Вінниця: ТОВ "ТВОРИ", 2020. 332 с.
2. Возняк О. М., Штуць А. А., Колісник М. А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика. Частина 1. Навчальний посібник. Вінниця: ТВОРИ, 2021. 280 с.
3. Возняк О. М., Штуць А. А. Розрахунок нестандартних W-параметрів чотириполосника на біполярному транзисторі. *Техніка, енергетика, транспорт*. 2020. № 2 (109). С. 122–128.
4. Видмиш А. А. Штуць А. А. Дослідження динамічних характеристик замкненої системи електропривода гравітаційного бетонозмішувача шляхом комп'ютерного моделювання. *Вісник ХНУ. Серія: Технічні науки*. 2021. №1 (293). С. 113–125.
5. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В. Основи електропривода. Теорія та практика : навчальний посібник. Ч. 1. Вінниця: ВНАУ, 2020. 388 с.
6. Грабко В. В., Розводюк М. П., Левицький С. М., Казак М. О. Експериментальні дослідження електричних машин. Асинхронні машини : навчальний посібник. Частина III. Вінниця. ВНТУ, 2007. 197 с.
7. Теряєв В. І., Федорос Ю. М. Взаємозв'язана система електроприводів автономної фотоелектричної насосної станції. *Міжнародний науково-технічний журнал. «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики»*. 2020. С. 308–311.
8. Єгорова О. Ю. Комплексне забезпечення надійності і якості електропостачання у сільських розподільних мережах. *Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК*. 2016. № 2. С. 41–43.
9. Савченко В. В. Синявський О. Ю. Вплив якості електричної енергії на технологічні процеси в рослинництві. *Енергетика і автоматика*. 2015. № 3. С. 47–54.
10. Синявський О. Ю. Вплив відхилення показників якості електроенергії на технологічну складову збитку в тваринництві. *Енергетика та автоматика*. 2016. № 1. С. 59–67.
11. Калінчик В. П., Сунко С. А. Способи побудови енергетичних комплексів за участю комбінованих систем електропостачання. *Матеріали IV Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'17»*. Київ. 2017. С. 31–32.

References

- [1] Stadnik, M.I., Vydmysh, A.A., Shtucz, A.A., Kolisnyk, M.A. (2020). *Intelektualni systemy v elektroenergetyци. Teoriya ta praktyka: navch. posib*. Vinnytsya: TOV "TVORY". [in Ukrainian].
- [2] Vozniak, O.M., Shtuts, A.A., Kolisnyk, M.A. (2021). *Suchasni systemy elektropryvodiv. Teoriia ta praktyka: navchalnyi posibnyk*. Chastyna 1. Vinnytsia: TOV "TVORY". [in Ukrainian].
- [3] Vozniak, O.M., Shtuts A.A. (2020). Rozrakhunok nestandardnykh W-parametriv chotyrypoliusnyka na bipoliarnomu tranzystori. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK, 2 (109)*, 122–128. [in Ukrainian].
- [4] Vidmish, A.A. Shtuc', A.A. (2021). Doslidzhennja dinamichnih harakteristik zamkненої sistemi elektroprivoda gravitacijnogo betonomishuvacha shljahom komp'juternogo modeljuvannja. *Visnik HNU. Serija: Tehnichni nauki, 1 (293)*, 113–125. [in Ukrainian].
- [5] Vydmysh, A.A., Yaroshenko, L.V. (2020). *Fundamentals of electric drive. Theory and practice : navchalnyi posibnyk*. Chastyna 1. Vinnytsia: VNAU. [Ukraine]
- [6] Grabko, V.V., Rozvodyuk, M.P., Levitsky, S.M., Kazak, M.A. (2007). *Experimental studies of electric machines. Asynchronous machines: navchalnyi posibnyk. Part III*. Vinnytsia. VNTU. [in Ukrainian].
- [7] Teriayev, V.I., Fedoros, Yu.M. (2020). Vzaemozv'yazana sistema elektroprivodiv avtonomnoyi fotoelektrychnoyi nasosnoyi stantsiyi. *Mizhnarodnyy naukovo-tekhnichnyy zhurnal. "Suchasni problemy elektroenerhotekhniki ta avtomatyky*. 308–311. [in Ukrainian].
- [8] Yehorova, O. Yu. (2016). Kompleksne zabezpechennja nadiynosti i yakosti elektropostachannja u sil'skykh rozpodil'nykh merezhakh. *Enerhetyka ta komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi v APK, 2*, 41– 43. [in Ukrainian].
- [9] Savchenko, V.V., Synyavskyy, O.Y. (2015). Vplyv yakosti elektrychnoyi enerhiyi na tekhnolohichni



- protsesty v roslynnytstvi. *Enerhetyka i avtomatyka*, 3, 47–54. [in Ukrainian].
- [10] Synyavskyy, O.Y. (2016). Vplyv vidkhyleniya pokaznykiv yakosti elektroenerhiyi na tekhnolohichnu skladovu zbytku v tvarynnitstvi. *Enerhetyka ta avtomatyka*. 2016, 1, 59–67. [in Ukrainian].
- [11] Kalinchyk, V.P., Sun'ko, S.A. (2017). Sposoby pobudovy enerhetychnykh kompleksiv za uchastiyu kombinovanykh system elektropostachannya. *Materialy IV Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi ta navchal'no-metodychnoyi konferentsiyi «Enerhetychnyy menedzhment: stan ta perspektyvy rozvytku – PEMS'17»*. Kyiv. 31–32. [in Ukrainian].

RESEARCH ON THE OPERATION OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF AN AUTONOMOUS PHOTOELECTRIC PUMPING STATION

The work is dedicated to the investigation and analysis of the operation of the electromechanical system of an autonomous photovoltaic pumping station. Photovoltaic pumping stations are essential components of sustainable development, enabling efficient utilization of solar energy for independent water pumping.

The study provides a detailed analysis of the structure and operation principles of the photovoltaic pumping station. Key components of the system, such as solar panels, electronic controllers, electromechanical pumps, and energy storage, were studied. Various methods for maximizing energy output from solar panels and optimizing the efficiency of pumping systems were examined.

The research results revealed that the effective functioning of the photovoltaic pumping station depends on the precise balance of electromechanical components, optimal utilization of solar energy, and efficient management of electronic systems. Recommendations were put forth for improving the system's efficiency and reliability.

Within the study, it was established that a crucial factor in the successful function of the photovoltaic pumping station is the selection of the optimal type of solar panels and their positioning to ensure maximum solar energy collection. The issue of storing excess energy to maintain system stability during periods of limited solar irradiation was also addressed.

Moreover, the study included modeling and experimental research of various operational modes of the pumping station, including load variation and solar activity fluctuations. This provided crucial data regarding the dynamics and compliance of system operation with planned parameters.

An important aspect of the research was evaluating the efficiency and economic viability of the photovoltaic pumping station in comparison with traditional energy sources for water supply. It was found that in some cases, the use of photovoltaic energy could be a more economically advantageous and environmentally cleaner solution.

Overall, the results of this scientific work hold significant practical value for sustainable energy development and the utilization of renewable energy sources. The investigation of the operation of the electromechanical system of an autonomous photovoltaic pumping station contributes to a deeper understanding of the technological, economic, and environmental aspects of such systems.

In conclusion, this research provides a deeper insight into the functioning principles of autonomous photovoltaic pumping stations and can serve as a foundation for further studies in the field of renewable energy utilization.

Key words: *photovoltaic energy, autonomous pumping station, electromechanical system, solar panels, pumping systems, energy supply efficiency, renewable energy, energy efficiency, electronic controllers, energy storage, sustainable water supply, system operation modeling.*

F. 1. Fig. 5. Table. 1. Ref. 11.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Возняк Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: alex.voz1966@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0986-6869>).

Штуць Андрій Анатолійович – асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Булига Андрі Ігорович – магістр Вінницького національного технічного університету (Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна, email: anbuluga@ukr.net).

Oleksandr Voznyak – candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: alex.voz1966@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0986-6869>).

Andrii Shtuts – Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechna str., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Andrii Bulyha – Master, Vinnitsya National Technical University (Khmelnyske Shosse, 95, Vinnitsya, 21021, Ukraine, email: anbuluga@ukr.net).