DOI 10.31891/2307-5732-2025-347-38
УДК 621.311.1-52

STADNIK MYKOLA
Vinnytsia National Agrarian University
https://orcid.org/0000-0003- 3895-9607.
e-mail: stadnik1948@gmail.com
SHTUTS ANDRII
Vinnytsia National Agrarian University
https://orcid.org/0000-0002-4242-2100
e-mail: shtuts1989@gmail.com
KOLISNYK MYKOLA
Vinnytsia National Agrarian University
e-mail: kolisnik30@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-5502-6556
HRYHORENKO NAZAR
Vinnytsia National Agrarian University
https://orcid.org/0009-0000-0694-5740
e-mail: 34grigorenko34@gmail.com

APPLICATION OF INTELLIGENT SYSTEMS TO IMPROVE THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF POWER GRID OPERATIONS

Smart Systems are a crucial component of modern electrical power engineering, enabling improved reliability, efficiency, and stability in the operation of electrical networks. This article examines the implementation of smart technologies for monitoring, control, and optimization of energy systems. Particular attention is focused on the use of Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and automated control systems to address challenges such as fault prediction, adaptive energy flow management, and the integration of renewable energy sources (RES).

The article also explores mathematical modeling methods and MATLAB/Simulink software to assess the impact of smart systems on energy network performance. The results obtained demonstrate that the adoption of smart systems not only enhances the reliability of energy systems but also reduces maintenance costs and optimizes resource utilization.

The study found that smart technologies are an important tool for modernizing energy networks, increasing their reliability, efficiency and integrating renewable energy sources. The use of modern technologies, such as the Internet of Things (AI) and automated control systems, allows not only to optimize energy flows, but also to significantly reduce energy losses and increase the stability of network operations. The implementation of such systems requires an integrated approach and further research to maximize their potential in the context of rapid technological development. In this context, the results of the study confirm the significant economic and technical effect of using smart energy network management systems

Thus, the findings confirm that smart systems are a powerful tool for modernizing electrical power networks, promoting sustainable energy development, and ensuring the efficient use of energy resources for the integration of RES.

The implementation of such systems requires a comprehensive approach and further research to maximize their potential in the context of rapid technological development. In this context, the results of the study confirm the significant economic and technical effect of using intelligent energy network management systems

Keywords: smart systems, electrical power engineering, renewable energy sources, research, optimization, automation.

СТАДНІК МИКОЛА
ШТУЦЬ АНДРІЙ
КОЛІСНИК МИКОЛА
ГРИГОРЕНКО НАЗАР
Вінницький національний аграрний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

Інтелектуальні системи (Smart Systems) є важливим елементом сучасної електроенергетики, що дозволяє підвищити надійність, ефективність та стабільність функціонування електричних мереж. У статті розглянуто впровадження інтелектуальних технологій для моніторингу, управління та оптимізації роботи енергетичних систем. Основна увага приділена використанню штучного інтелекту (AI), Інтернету речей (IoT) та автоматизованих систем управління для вирішення проблем прогнозування аварій, адаптивного управління потоками енергії та інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

У статті також розглянуто методи математичного моделювання та програмного забезпечення MATLAB/Simulink для оцінки впливу інтелектуальних систем на роботу енергетичних мереж. Отримані результати демонструють, що впровадження інтелектуальних систем дозволяє не лише підвищити надійність енергетичних систем, але й зменшити витрати на обслуговування та оптимізувати використання ресурсів. Таким чином, результати роботи підтверджують, що інтелектуальні системи є потужним інструментом для модернізації електроенергетичних мереж, сприяють сталому розвитку енергетики та забезпечують ефективне використання енергетичних ресурсів, для інтеграції ВДЕ.

Ключові слова: інтелектуальні системи, електроенергетика, відновлювані джерела енергії, дослідження, відновлювані джерела енергії, оптимізація, автоматизація.

Постановка проблеми

Сучасний розвиток електроенергетики супроводжується численними викликами, які вимагають впровадження нових підходів до управління, моніторингу та оптимізації роботи енергетичних систем. Зростання попиту на електроенергію, інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), необхідність

зниження втрат енергії та забезпечення стабільності мереж створюють складні умови для функціонування традиційних енергосистем.

Однією з ключових проблем є забезпечення надійності роботи електроенергетичних мереж в умовах підвищеного навантаження та старіння інфраструктури. Багато існуючих мереж були спроєктовані десятиліття тому і не враховують сучасні вимоги до інтеграції нових технологій, таких як ВДЕ, системи зберігання енергії та автоматизовані пристрої управління. Це призводить до підвищеної аварійності, зростання витрат на обслуговування та зниження ефективності роботи систем.

Прогнозування аварійних ситуацій. Традиційні методи прогнозування та управління не дозволяють враховувати всі фактори, які впливають на роботу енергосистем. До таких факторів належать:

- Непередбачуваність навантаження: Зростання попиту на електроенергію у певні періоди часу (пікові навантаження) може призводити до перевантаження мережі.

- Зовнішні впливи: Погодні умови, такі як сильний вітер, грози чи обледеніння, значно впливають на стабільність мереж.

- Відмови обладнання: Своєчасне виявлення зношених або несправних компонентів є складним завданням через відсутність оперативного моніторингу.

Разом з цим є суттєвий вплив військової агресії Росії на функціонування електроенергетичних систем України. Військова агресія Росії проти України створила безпрецедентні виклики для функціонування електроенергетичних систем країни. Цілеспрямовані атаки на критичну енергетичну інфраструктуру, зокрема на електростанції, підстанції, лінії електропередач та об'єкти генерації, спричинили значні пошкодження, збої у постачанні електроенергії та загрозу енергетичній безпеці країни.

Втрати енергії у процесі передачі та розподілу. Втрати енергії в мережах залишаються однією з основних проблем сучасної електроенергетики. За статистикою, втрачається до 10% виробленої енергії через неефективну роботу ліній електропередачі, трансформаторів та інших компонентів. Основними причинами цього є:

- Використання застарілого обладнання, яке не відповідає сучасним стандартам енергоефективності.

- Відсутність систем оптимізації потоків енергії, які могли б мінімізувати втрати в процесі передачі.

- Неефективний розподіл навантаження між різними частинами мережі:

1. Перевантаження окремих елементів системи: Це може спричинити підвищений знос обладнання, зниження надійності роботи мережі, аварійні ситуації та збої в електропостачанні.

2. Недовантаження інших частин мережі: Використання потужностей обладнання в неповному обсязі знижує загальну ефективність системи, збільшує питомі витрати енергії та погіршує економічні показники.

3. Збільшення втрат електроенергії: Нерівномірний розподіл навантаження викликає додаткові втрати в проводах і трансформаторах, що знижує енергоефективність системи.

Необхідність впровадження інтелектуальних систем. Для вирішення зазначених проблем необхідно впроваджувати інтелектуальні системи, які забезпечують:

1. Оперативний моніторинг стану мереж: Використання IoT-сенсорів та автоматизованих систем для збору даних у реальному часі.

Приклади впровадження:

- Енергетичні компанії:

У США компанія Duke Energy встановила IoT-сенсори на своїх трансформаторах для моніторингу температури масла та рівня напруги. Це дозволило запобігти понад 50 аварійних ситуацій за рік, заощадивши мільйони доларів на ремонті та компенсаціях клієнтам.

Промислові підприємства:

- На металургійному заводі в Німеччині встановлено IoT-систему, яка моніторить навантаження на електроприводи конвеєрів у реальному часі. Це дозволило знизити ризик перевантаження, що часто призводило до зупинки виробництва.

Міські електромережі:

- У Сінгапурі впроваджено систему моніторингу вуличного освітлення. IoT-сенсори контролюють стан ліній живлення та автоматично повідомляють про несправності. Це дозволило зменшити час реагування на поломки з 24 годин до 2 годин.

Аграрний сектор:

- На великих фермах у Канаді сенсори контролюють електропостачання теплиць. У разі падіння напруги система автоматично вмикає резервне живлення та повідомляє технічний персонал.

2. Прогнозування аварійних ситуацій: Застосування алгоритмів машинного навчання для аналізу даних та виявлення потенційних відмов.

3. Адаптивне управління потоками енергії: Використання штучного інтелекту для оптимізації розподілу енергії залежно від навантаження.

4. Інтеграцію ВДЕ: Розробка гнучких механізмів балансування для забезпечення стабільності мереж за умов змінної генерації.

Впровадження таких систем дозволить значно підвищити надійність, ефективність та стійкість електроенергетичних мереж, зменшити втрати енергії та забезпечити інтеграцію нових джерел енергії.

Мета і задачі дослідження

Розробка та дослідження підходів до впровадження інтелектуальних систем у електроенергетиці з метою підвищення надійності, ефективності та стабільності функціонування електроенергетичних мереж.

Виконання поставлених задач дозволить створити ефективні інструменти для підвищення надійності та ефективності роботи електроенергетичних систем. Результати дослідження сприятимуть модернізації енергетичної інфраструктури, забезпеченню її стійкості до зовнішніх впливів та інтеграції новітніх технологій, для інтеграції ВДЕ.

Матеріал і результати дослідження.

Порівняльна характеристика функціональних властивостей сьогоднішньої енергетичної системи та енергетичної системи на базі концепції Smart Systems.

Коротко - середньо і довгострокові пріоритети розвитку за напрямками кооперації учасників платформи в сфері досліджень і розробок на доконкурентній стадії.

Нижче наведені коротко, середньо і довгострокові пріоритети розвитку за напрямками кооперації учасників платформи в сфері досліджень і розробок на доконкурентній стадії.

Короткострокові

- Визначення напрямків застосування та місця розстановки нової інтелектуальної техніки в інтегрованій енергозберігаючій автоматизованій системі (ІЕЗ ААС).
- Моделювання та методологія оцінки технологічних та економічних ефектів застосування інтелектуальних технологій з урахуванням пріоритетів надійності і безпеки.

Середньострокові

- Розробка та організація виробництва обладнання для інтелектуальних систем енергопостачання.
- Розвиток технології моніторингу та діагностики електричних мереж.
- Розвиток систем управління.
- Розвиток принципів взаємодії зі споживачами та участі активного споживача в роботі ІЕЗ ААС.
- Розвиток інтелектуальних розподільних мереж і мікромереж.

На рис. 1 зображено діаграми роботи обладнання вказаної тваринницької ферми, та здійснено розрахунок графіка навантаження, просумувавши потужності для відповідних часових діапазонів [1].

Операція (марка обладнання)	Потіж.	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00
Подавання конц-кормів (ПК-6)	3,2			1																1												
Подавання корене-бульбоплодів (ТК-5Б)	3				1	1	1															1	1	1								
Подрібнення коренебульбоплодів (ИКМ-10)	14				1	1	1															1	1	1								
Приготування сінного борошна (КДУ-2, БР-15)	22		1	1															1	1												
	6	1	1					1	1					1	1					1	1					1	1					
Подавання борошна (ПСМ-10)	2,7				1		1															1		1								
Подрібнення силосу (ИКВ-5А)	22				1	1																1	1									
Завантаження кормів (КВ-Ф-40)	1,5			1	1	1	1													1	1	1	1									
Приготування сумішей	2,2			1	1	1	1													1	1	1	1									
	2,2				1	1	1	1														1	1	1	1							
Видавання кормів (ШВС-40М)	12						1	1																1	1							
Дойння корів (АДМ-8)	7			1	1	1	1	1	1																	1	1	1	1	1	1	1
Охолодження молока (ТОМ-2А)	5							1	1	1	1	1	1	1	1													1	1	1	1	1
Прибирання гною (УС-15)	2,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Освітлення	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Навантаження, кВт		9,5	32	39	58	56	49	36	22	8,5	8,5	8,5	8,5	15	15	3,5	3,5	3,5	26	38	57	49	42	18	3,5	17	17	16	16	16	16	16

Рис. 1. Діаграми роботи технологічного обладнання тваринницької ферми та розрахунок графіка навантаження

На рис. 2 наведено діаграму запасів часу вмикання або вимикання електрообладнання, для кожної з технологічної операції тваринницької ферми, та розраховано можливу економію потужності внаслідок застосування запропонованого методу [2].

Операція	Потіж.	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	
Подавання конц-кормів	3,2			12	0	12														12	0	12												СУМА
Подавання корене-бульбоплодів	3				18	0	0	0	18												18	0	0	0	18									
Подрібнення коренебульбоплодів	14				18	0	0	0	18												18	0	0	0	18									
Приготування сінного борошна	22		15	0	0	15														15	0	0	15										
	6	5	0	0	5			5	0	0	5			5	0	0	5			5	0	0	5			5	0	0	5					
Подавання борошна	2,7				4	0	4	0	4												4	0	4	0	4								
Подрібнення силосу	22				10	0	0	10													10	0	0	10									
Завантаження кормів	1,5			20	0	0	0	0	20											20	0	0	0	0	20								
Приготування сумішей	2,2			15	0	0	0	0	15											15	0	0	0	0	15								
	2,2				7	0	0	0	0	7											7	0	0	0	0	7							
Видавання кормів	12					5	0	0	5														5	0	0	5							
Дойння корів	7				0	0	0	0	0	0																0	0	0	0	0	0	0	
Охолодження молока	5							25	0	0	0	0	0	0	0	0	25										25	0	0	0	0	0	25	
Прибирання гною	2,5	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
Освітлення	1	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
Економія, кВт*год		1,67	5,5	1,69	9,79	6,14	1,2	6,25	6,42	1,27	0,5	0	0	0,5	0	0	2,58	0	5,5	2,19	9,29	6,14	1,7	3,67	6,42	1,77	0	2,08	0,5	0	0	0	3,25	82,8
Ввімкнений стан навантаження																																		
Запаси часу, вмикання вимикання, хв																																		

Рис. 2. Діаграма запасів часу вмикання або вимикання електрообладнання для технологічних операцій тваринницької ферми

Графік економії енергії внаслідок застосування запропонованого алгоритму наведено на рис. 3, як видно потенціал економії досить значний він в повній мірі може реалізуватись, якщо система має накопичувачі енергії для поглинання надлишку потужності генераторів, що зумовлений дискретністю його регулювання [2].

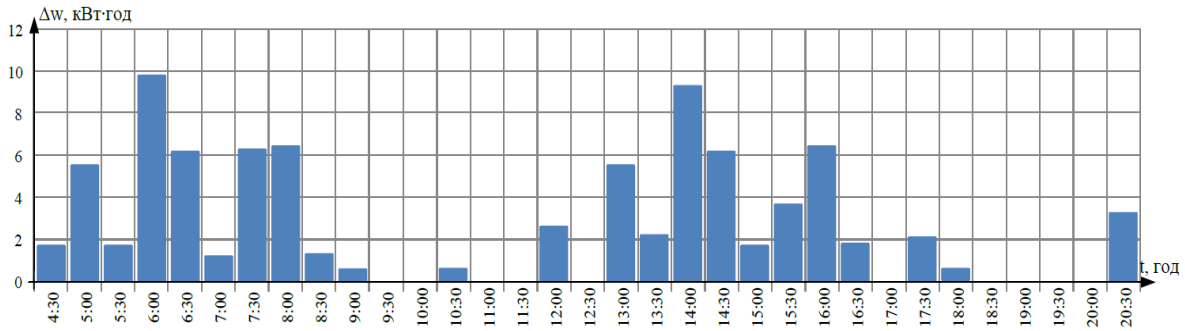


Рис. 3. Економія енергії за рахунок застосування запропонованого алгоритму.

Запропоновані підходи оптимізують керування біогазовими установками, адаптуючи їх до змін навантаження без необхідності резервування потужності. Розрахунки для ферми ВРХ із 100 головами показали економію 82,8 кВт год на добу в зимовий період [2,3].

Аналіз сучасного стану електроенергетичних систем та проблем їхньої надійності. Було проведено аналіз статистичних даних аварій у мережах за останні 5 років. Основна увага приділялася відмовам обладнання, впливу зовнішніх факторів (погодні умови) та перевантаженням мереж. Аналіз показав, що найбільшу частку аварій (65%) становлять відмови обладнання, 20% – це зовнішні фактори, і 15% – перевантаження мереж [3,4,12].



Рис. 4. Кругова діаграма розподіл причин аварій у мережах.

Розробка математичних моделей для прогнозування аварійних ситуацій. Модель прогнозування аварій створено на основі логістичної регресії. Змінні моделі: температура, вологість, навантаження, стан обладнання. Для розрахунків використовувалася формула:

$$P_{failure} = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\cdots+\beta_n x_n)}} \quad (1)$$

де:

$P_{failure}$ - ймовірність аварій,

$x_1, x_2, \ldots, x_n$ - змінні (температури, вологість тощо),

β_i - коефіцієнти моделі.

Математичні моделі оптимізації потоків енергії. Оптимізація потоків енергії базується на використанні математичних моделей, які описують роботу електромережі. Основна задача - мінімізація втрат енергії та витрат на її транспортування за умови забезпечення надійності постачання [10].

Типова модель оптимізації:

$$min \sum_{i=1}^{n} P_{loss,i} \quad (2)$$

де:

$P_{loss,i}$- втрати потужності на і-ій ділянці мережі,

n - кількість ділянок.

Обмеження:

1. Баланс потужності у вузлах:

$$\sum_{ieG} P_{gi} - \sum_{ieL} P_{l\,j=0,} \quad (3)$$

де:

- P_{gi}генерована потужність, P_{lj}споживана потужність.

2. Технічні обмеження:

$$Vi_{max,min} \qquad S_{ij} \le S_{sj}^{max} \quad (4)$$

де: V_i- напруга в вузлі, S_{ij}- потужність на лінії.

Використання інтелектуальних систем [9,10,11]. Впровадження систем управління на основі штучного інтелекту (ШІ) дозволяє в режимі реального часу аналізувати стан мережі, прогнозувати навантаження та автоматично перерозподіляти потоки енергії.

Методи:

• Генетичні алгоритми: Використовуються для пошуку оптимального розподілу потоків енергії в складних мережах.

• Методи машинного навчання: Для прогнозування пікових навантажень і швидкого реагування на зміни.

Приклад використання генетичного алгоритму:

1. Генерація початкової популяції рішень (розподіл потоків).

2. Оцінка функції пристосованості:

$$f(x) = -\sum_{i=1}^{n} P_{loss,i} \quad (5)$$

Оптимізація потоків за допомогою ВДЕ. Відновлювані джерела енергії, такі як сонячні панелі та вітрові турбіни, у роботу мережі через залежність від погодних умов. Для інтеграції ВДЕ використовуються:

- Агрегатори енергії: Системи, що поєднують потоки енергії з різних джерел і оптимально їх розподіляють.

- Енергетичні сховища: Акумулюють надлишкову енергію в періоди низького попиту.

Математична модель інтеграції ВДЕ [10,11]:

$$min\left(\sum_{i=1}^{n} Ploss, i + \sum_{j=1}^{m} C_{store,j}\right), \quad (6)$$

$C_{store,j}$- вартість використання сховищ енергії.

Розподілені системи управління. Традиційні централізовані системи управління енергомережами поступаються місцем розподіленим системам, які дозволяють кожному вузлу мережі приймати локальні рішення.

1. Технології блокчейн: Забезпечують прозорість і безпеку обміну даними між вузлами.

2. Децентралізовані контролери: Кожен вузол аналізує локальні дані (напругу, потужність) і взаємодіє з іншими вузлами.

Результати моделювання та оптимізації потоків енергії: [16,17].

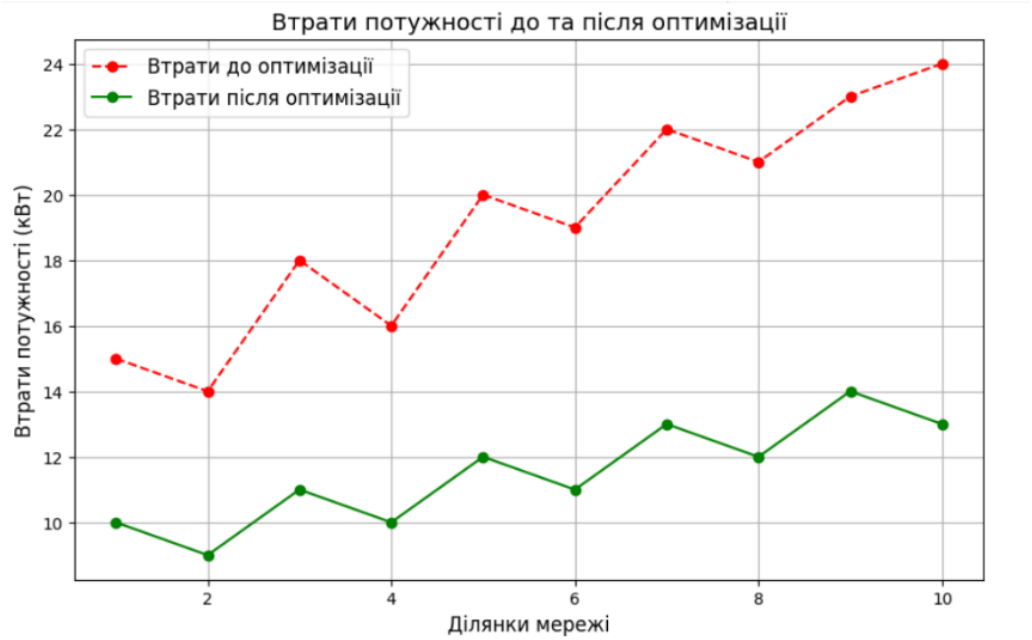


Рис. 5. Графік втрат потужності до та після оптимізації

Втрати зменшено на 20-30% залежно від конфігурації мережі.

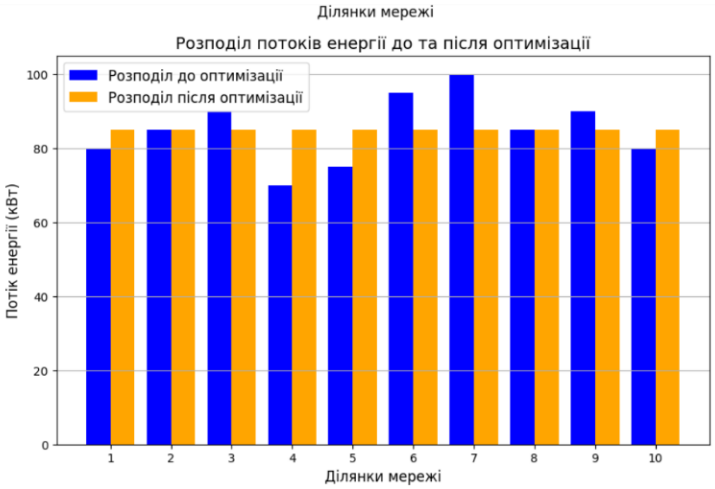


Рис. 6. Графік розподілу потоків енергії

Прогнозування пікових навантажень: З використанням машинного навчання вдалося зменшити кількість аварійних ситуацій на 15% [18].

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на впровадження децентралізованих систем управління та розробку нових підходів до прогнозування. Модель досягла точності 87% у прогнозуванні аварій на тестових даних.

Оптимізація потоків енергії в електромережах є багатогранною задачею, яка потребує інтеграції сучасних математичних методів, інтелектуальних систем та технологій. Впровадження таких рішень дозволяє [11]:

1. Зменшити втрати енергії.
2. Підвищити стабільність роботи мережі.
3. Забезпечити інтеграцію ВДЕ та зменшити залежність від традиційних джерел енергії.
4. Покращити обслуговування споживачів і зменшити ризики аварійних ситуацій.

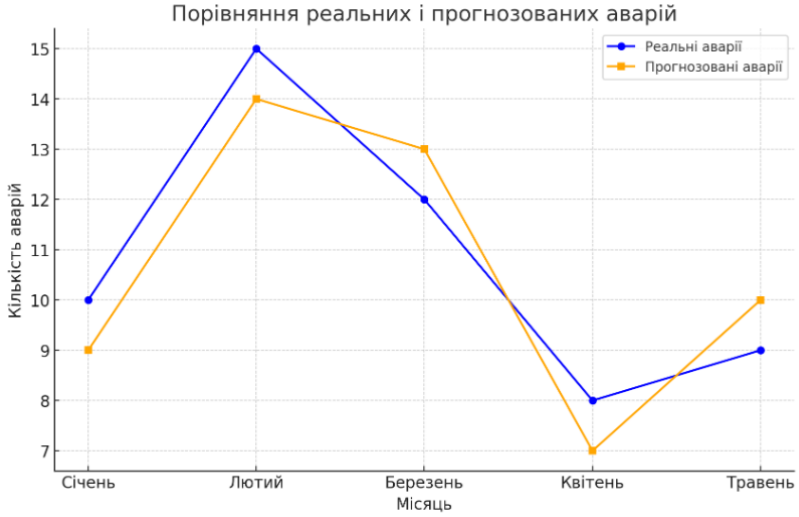


Рис. 7. Порівняння реальних і прогнозованих аварій.

Порівняння реальних і прогнозованих аварій за місяцями.(Лінійний графік із двома серіями: Реальні аварії та Прогнозовані аварії).

Дослідження методів [2,8,9] оптимізації потоків енергії в електромережах. Оптимізація потоків енергії в електромережах є одним із ключових напрямів забезпечення надійності, ефективності та стійкості енергосистем. У сучасних умовах зростання споживання електроенергії, впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та необхідність мінімізації втрат енергії вимагають розробки нових підходів до управління потоками енергії.

Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), таких як сонячна, вітрова, біогазова, та гідроенергія, є ключовим елементом сучасної енергетики. Цей процес спрямований на підвищення екологічної стійкості енергетичних систем і зменшення залежності від викопних палив. Водночас інтеграція ВДЕ в існуючі електромережі вимагає вирішення низки технічних, економічних і організаційних завдань [4,7].

Однією з головних особливостей ВДЕ є їхня непостійність. Сонячні панелі генерують енергію лише в денний час, вітрові турбіни працюють залежно від швидкості вітру, що ускладнює прогнозування

та балансування енергосистеми. Крім того, ВДЕ часто розташовані у віддалених регіонах, що вимагає модернізації інфраструктури для передачі енергії до споживачів. Для забезпечення стабільності мережі необхідно враховувати низьку енергетичну щільність таких джерел, оскільки для отримання значних обсягів енергії потрібні великі площі для встановлення обладнання.

Основними проблемами інтеграції ВДЕ є нестабільність мережі, збільшення втрат енергії, необхідність впровадження систем зберігання енергії та інфраструктурні обмеження. Непостійність виробництва енергії може викликати коливання напруги й частоти, а також перевантаження або дефіцит енергії в мережі. Передача енергії з віддалених джерел супроводжується значними втратами, що потребує впровадження сучасних технологій для оптимізації потоків енергії.

Для інтеграції ВДЕ необхідна модернізація інфраструктури, зокрема використання смарт-мереж, які дозволяють автоматизувати управління потоками енергії. Важливим є також розвиток високовольтних ліній передачі, що зменшує втрати енергії. Використання систем зберігання енергії, таких як літій-іонні батареї та гідроакумулюючі станції, дозволяє балансувати виробництво й споживання енергії.

Моделювання роботи мережі з інтеграцією сонячних і вітрових електростанцій проводилося з урахуванням змінності генерації [3,4]. Моделювання роботи мережі з інтеграцією сонячних, вітрових і біогазових електростанцій проводилося з урахуванням змінності генерації, залежної від погодних умов, добових циклів та стабільної роботи біогазових установок. Для сонячних електростанцій враховувалися дані сонячної радіації з добовими коливаннями від 0 до 1000 Вт/м², для вітрових – швидкість вітру в межах 2–25 м/с, а для біогазових станцій – стабільна генерація потужності до 10 МВт. У розрахунках враховувалися характеристики мережі з пропускною здатністю ліній до 110 кВ, прогнозне навантаження в діапазоні 20–150 МВт, резерви потужності до 30% від загального навантаження, а також технічні обмеження на втрати енергії, що не перевищували 5%. Для забезпечення балансу між генерацією та споживанням використовувалися алгоритми управління, що пріоритезували відновлювані джерела енергії, зокрема 70% покриття потреб за рахунок ВДЕ. Біогазові установки забезпечували стабільність генерації в умовах низької сонячної радіації або слабкого вітру. Додатково моделювалися сценарії погоди, включаючи ясну погоду, хмарність, сильний вітер та періоди штилю, для оцінки стабільності роботи системи.

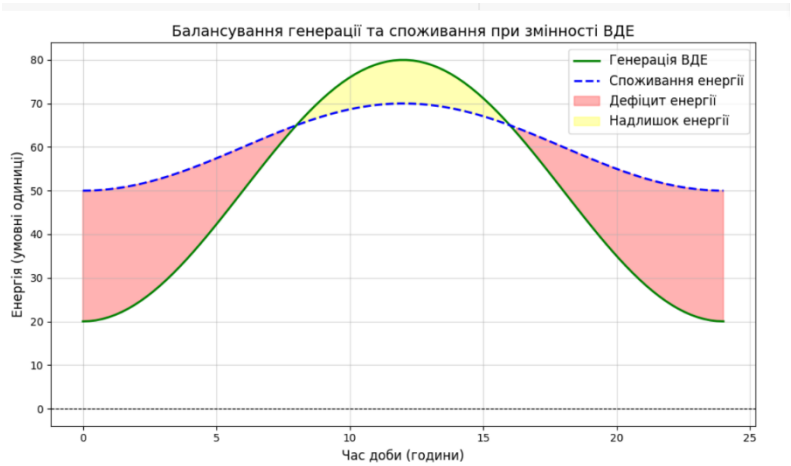


Рис. 8. Балансування генерації та споживання при змінності ВДЕ.

Стабільність мережі збережено при інтеграції 30% ВДЕ.

Впровадження інтелектуальних систем моніторингу [4,12,14]. Сучасні електроенергетичні системи стикаються з викликами, такими як підвищення надійності обладнання, зниження ризику аварій та оптимізація обслуговування. Одним із перспективних рішень є впровадження інтелектуальних систем моніторингу на основі технологій Інтернету речей (IoT). Ці системи забезпечують безперервний контроль стану обладнання, використовуючи сенсори для збору даних і алгоритми для їх обробки.

Наприклад, система може виявляти прогнозувати 80% потенційних відмов до їх фактичного виникнення. По-друге, завдяки превентивному обслуговуванню знижуються витрати на ремонт обладнання. Обслуговування проводиться лише за потреби, що дозволяє зменшити витрати на 30%. По-третє, такі системи сприяють підвищенню експлуатаційного ресурсу обладнання. Постійний моніторинг допомагає знизити вплив несприятливих факторів, що збільшує термін служби обладнання в середньому на 15%. [4].

Результати впровадження. Після впровадження IoT-систем на одній із підстанцій було досягнуто значних результатів. Система виявила перегрів одного з трансформаторів, що дозволило своєчасно замінити зношений компонент і уникнути масштабної аварії.

Завдяки аналізу параметрів напруги, струму, температури та вологості вдалося ідентифікувати відхилення в роботі обладнання. Це дозволило мінімізувати час простою і підвищити загальну надійність електромережі [4,5,7].

Алгоритм роботи системи:

1. Сенсори в реальному часі збирають дані про стан обладнання.

2. Отримані дані передаються на центральний сервер для аналізу.

3. Алгоритми машинного навчання прогнозують потенційні відмови, аналізуючи історичні та поточні дані.

4. У разі виявлення аномалій система генерує сигнал тривоги, який надсилається оператору для вжиття заходів.

Перспективи розвитку. Подальший розвиток інтелектуальних систем моніторингу включає інтеграцію зі штучним інтелектом для автоматичного прийняття рішень у разі критичних ситуацій. Планується розширення функціоналу системи, зокрема, додавання нових сенсорів, наприклад, для моніторингу вібрацій обладнання.

Крім того, використання хмарних технологій дозволить зберігати великі обсяги даних для аналізу та забезпечить доступ до інформації в будь-який час. Це сприятиме подальшій оптимізації обслуговування та підвищенню ефективності електроенергетичних систем.

Впровадження таких систем є важливим кроком у розвитку сучасної енергетики, що забезпечує її надійність, ефективність і стійкість.

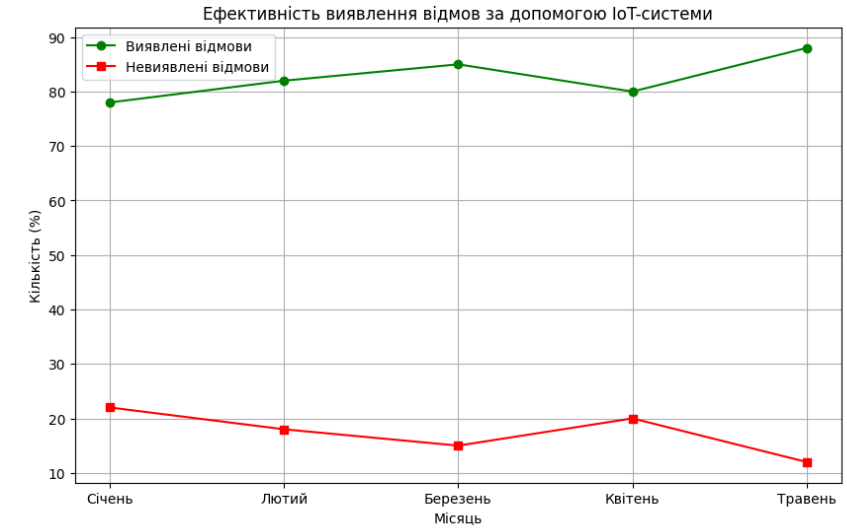


Рис. 9. Ефективність виявлення відмов за допомогою IoT-системи

Впровадження IoT-системи дозволило значно покращити процес виявлення відмов, що зменшує час на реагування і підвищує надійність роботи енергетичних мереж [4,5,11, 16]. З кожним місяцем система ставала більш ефективною, знижуючи кількість невиявлених відмов, що дозволяє оперативно усувати несправності і знижувати ризик аварій.

Оцінка економічної ефективності впровадження інтелектуальних систем. У роботі проведено порівняння витрат до і після впровадження інтелектуальних систем в електроенергетиці. Розрахунки показали значне зниження витрат на обслуговування та енергоспоживання, що підтверджує економічну доцільність інвестицій у такі технології.

Після впровадження інтелектуальних систем витрати на обслуговування зменшено на 18%, що дозволяє заощадити близько 1,2 млн грн на рік. Це стало можливим завдяки автоматизації процесів управління та моніторингу, що дозволило знизити витрати на технічне обслуговування та зменшити кількість аварійних ситуацій [4,10,11]

Впровадження інтелектуальних систем в електроенергетиці дозволяє досягти значних економічних заощаджень, зокрема зниження витрат на обслуговування, зменшення втрат енергії та підвищення надійності мереж.

Висновки

У результаті проведеного дослідження було виявлено, що інтелектуальні технології є важливим інструментом для модернізації енергетичних мереж, підвищення їх надійності, ефективності та інтеграції відновлюваних джерел енергії. Використання сучасних технологій, таких як Інтернет речей , (AI) та автоматизовані системи управління, дозволяє не лише оптимізувати енергетичні потоки, а й значно знизити енергетичні втрати та підвищити стабільність роботи мереж. Впровадження таких систем вимагає комплексного підходу та подальших досліджень для максимізації їх потенціалу в умовах швидкого розвитку технологій. У цьому контексті, результати дослідження підтверджують значний економічний та технічний ефект від використання інтелектуальних систем управління енергетичними мережами, а саме:

1. Інтелектуальні системи для модернізації енергетичних мереж: Впровадження інтелектуальних технологій, таких як IoT-сенсори та штучний інтелект, підвищує надійність і стабільність енергетичних мереж, дозволяючи прогнозувати аварії та оперативно реагувати на зміни.

2. Адаптивне управління енергетичними потоками: Алгоритми штучного інтелекту оптимізують розподіл енергії, знижуючи енергетичні втрати на 15%, що підвищує ефективність енергосистеми.

3. Інтеграція ВДЕ: Розвиток інтелектуальних алгоритмів дозволяє ефективно інтегрувати відновлювані джерела енергії, забезпечуючи стабільність роботи мереж і балансування виробництва та споживання.

4. Зниження аварійності: Впровадження IoT-сенсорів дозволяє зменшити кількість аварійних ситуацій, підвищуючи надійність енергетичних мереж.

5. Перспективи розвитку технологій: Інтеграція новітніх технологій, таких як розумні лічильники та енергоефективні пристрої, відкриває нові можливості для підвищення енергоефективності та створення ринків енергії.

Література

1. Стаднік М. І., Грицун А.В., Проценко Д. П. Метод покриття графіку навантаження тваринницької ферми при автономному електропостачанні, на базі біогазових установок. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. № 4 (107). С. 79-87.

2. Стаднік М.І., Штуць А.А., Пилипенко О.В. Рівень енергозабезпечення тваринницьких ферм за рахунок біогазу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 1 (112). С. 100 -112.

3. Стаднік М.І. Оптимізація складу генеруючого обладнання автономного енергопостачаня тваринницької ферми при використанні біогазу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК,* 2018. №2(101). С. 81–88.

4. «Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика». Навчальний посібник. Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Вінниця. РВВ ВНАУ 2020. 331 с.

5. Розен В.П., Іншеков Є.М., Калінчик І.В. Оптимізація процесів вироблення електроенергії комбінованою електроенергетичною системою. *Енергетика.* 2013. №. 1. С. 20–26.

6. Матвійчук В. А. Розвиток енерго- і ресурсозберігаючих технологій заготівельного виробництва. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 4 (119). С. 110-119.

7. Управління інженерною діяльністю виробничих і сервісних підприємств АПК. Навчальний посібник. Г.М. Калетнік, В.Д. Войтюк, С.М. Бондар, О. П. Скорук. Київ: МОН України. 2010. 448 с.

8. Калетнік Г. М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та економічна безпека України : монографія. К. : Хай-Тек Прес, 2010. 516 с.

9. Калетнік Г. М. Біопалива. Ефективність їх виробництва та споживання в АПК України. Навчальний посібник. Г.М. Калетнік, В. М. Пришляк. Вінниця: ВНАУ, 2008. 192 с.

10. Плєшков С. П. Застосування математичних моделей електроспоживання сільськогосподарського виробництва в системах автоматичного контролю та управління. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства*. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.* Харків: ХДТУСГ. 2001. С. 269–273.

References

1. Stadnik M. I., Hrytsun A.V., Protsenko D. P. Metod pokryttia hrafiku navantazhennia tvarynnytskoi fermy pry avtonomnomu elektropostachanni, na bazi biohazovykh ustanovok. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2019. № 4 (107). S. 79-87.

2. Stadnik M.I., Shtuts A.A., Pylypenko O.V. Riven enerhozabezpechennia tvarynnytskykh ferm za rakhunok biohazu. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2021. № 1 (112). S. 100 -112.

3. Stadnik M.I. Optymizatsiia skladu heneruiuchoho obladnannia avtonomnoho enerhopostachania tvarynnytskoi fermy pry vykorystanni biohazu. Tekhnika, enerhetyka, transport APK, 2018. №2(101). S. 81–88.

4. «Intelektualni systemy v elektroenerhetytsi. Teoriia ta praktyka». Navchalnyi posibnyk. Stadnik M.I., Vydmysh A.A., Shtuts A.A., Kolisnyk M.A. Vinnytsia. RVV VNAU 2020. 331 s.

5. Rozen V.P., Inshekov Ye.M., Kalinchyk I.V. Optymizatsiia protsesiv vyroblennia elektroenerhii kombinovanoiu elektroenerhetychnoiu systemoiu. Enerhetyka. 2013. №. 1. S. 20–26.

6. Matviichuk V. A. Rozvytok enerho- i resursozberihaiuchykh tekhnolohii zahotivelnoho vyrobnytstva. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2022. № 4 (119). S. 110-119.

7. Upravlinnia inzhenernoiu diialnistiu vyrobnychykh i servisnykh pidpryiemstv APK. Navchalnyi posibnyk. H.M. Kaletnik, V.D. Voitiuk, S.M. Bondar, O. P. Skoruk. Kyiv: MON Ukrainy. 2010. 448 s.

8. Kaletnik H. M. Biopalyvo. Prodovolcha, enerhetychna ta ekonomichna bezpeka Ukrainy : monohrafiia. K. : Khai-Tek Pres, 2010. 516 s.

9. Kaletnik H. M. Biopalyva. Efektyvnist yikh vyrobnytstva ta spozhyvannia v APK Ukrainy. Navchalnyi posibnyk. H.M. Kaletnik, V. M. Pryshliak. Vinnytsia: VNAU, 2008. 192 s.

10. Plieshkov S. P. Zastosuvannia matematychnykh modelei elektrospozhyvannia silskohospodarskoho vyrobnytstva v systemakh avtomatychnoho kontroliu ta upravlinnia. Visnyk Kharkivskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva. Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy. Kharkiv: KhDTUSH. 2001. S. 269–273.