

«ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

ПРОМЕЛЕКТРО

PROMELEKTRO.COM.UA



ISSN 2409-2924
91772409292003



АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ЗАЗЕМЛЕННЯ СИСТЕМИ
БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ПІДСТАНЦІЙ УКРАЇНИ **с. 18**



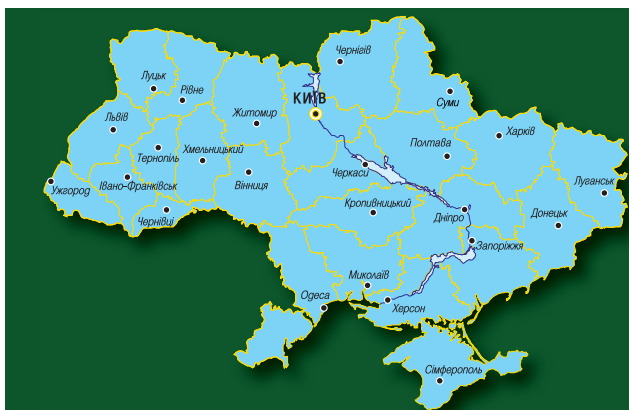
СИСТЕМИ ДІАГНОСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ
ТРАНСФОРМАТОРНИХ ВВОДІВ НАПРУГОЮ 110 кВ **с. 30**



СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
СТАНЦІЙ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ **с. 38**



SAGFIGHTER™ UST (США)
3-ФАЗНИЙ КОМПЕНСАТОР ПРОВАЛІВ НАПРУГИ **с. 45**



ТПФ
"ДонТехПром"

1-2
2022
червень

Відділення "Укрпошта" за каталогом ДП "Преса"
Періодичність – 4 номери на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію:
серія КВ, № 2079 від 16.07.1996 р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції:
серія ДК, № 5613 від 25.09.2017 р.



ВИДАВЕЦЬ ТОВ "ЕТІН"

ДИРЕКТОР

Любич Мар'ян Орестович

РЕДАКТОР

Козенко Олександр Миколайович
Директор ТОВ "ТПФ Донтехпром"

НАУКОВИЙ РЕДАКТОР

Буткевич Олександр Федотович, д.т.н.
Професор. Головний науковий співробітник
Інститут електродинаміки НАН України

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Денисюк Сергій Петрович, д.т.н.
Директор Інституту енергозбереження
та енергоменеджменту

Професор. Кафедра електропостачання
НТУУ "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського"

ВИПУСКАЮЧИЙ РЕДАКТОР

Облакевич Сергій Вікторович
Директор ТОВ "Альтіс-Енерго"
Корпорація Альтіс холдинг

ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР

Чижик Павліна Андріївна

ФОТОКОРЕСПОНДЕНТ

Зубова Ольга В'ячеславівна

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

ТОВ "ЕТІН"
03190, м. Київ, а/с № 15
www.promelektro.com.ua
promelektro.etin@gmail.com
+380 44 228 82 68

КОР. ПУНКТ м. ЗАПОРІЖЖА

ТОВ "ТПФ Донтехпром"
69118, м. Запоріжжя,
вул. Автозаводська, 50, оф. 147
kozenko@3g.ua
+380 50 470 18 38

ОРИГІНАЛ-МАКЕТ ТОВ "ДІА"

03022, м. Київ, вул. Васильківська, 45
dia_1997@ukr.net
+380 44 257 16 15

Рекомендовано до друку редакційною колегією,
протокол № 1 від 15.06.2022 р.

Підписано до друку 22.06.2022 р.
Дата виходу номеру 29.06.2022 р.

Формат 60 × 84 1/8. Ум. друк. арк. – 8,37.
Обл. вид. арк. – 8,54.

2022

№1-2
ИЖ-5

ЗМІСТ

6 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ

Манілов А.М., Товстюк С.А.

- 6 Застосування одножильних кабелів 6–35 кВ для підвищення надійності електропостачання електроприймачів, підключених до одного джерела живлення
- 7 Оптимізація режимів роботи трансформаторів
- 12 Щодо необхідності виконання двопроменевої схеми електропостачання електроприймачів першої категорії споруд і об'єктів цивільного призначення другої та третьої категорії
- 14 Щодо електропостачання електроприймачів другої категорії
- 16 Щодо можливості виконання однострансформаторних підстанцій для електропостачання електроприймачів першої категорії

18 БЛИСКАВКОЗАХИСТ ТА ЗАЗЕМЛЕННЯ

- 18 Коліушко Д.Г., Руденко С.С., Іщенко Ю.В., Кіпріч С.В., Кащев О.В.
Аналіз поточного стану заземлення системи блискавкозахисту підстанцій України
- 25 Коліушко Д.Г., Руденко С.С., Шкоп Ю.В., Кривич В.О.
Діагностика та модернізація систем заземлення та блискавкозахисту діючих енергетичних об'єктів

30 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

- 30 Бедерак Я.С., Богатирьов Ю.Л.
Управління активами підприємства: створення системи діагностичного моніторингу трансформаторних введів напругою 110 кВ і вище

38 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ


- 38 Балута С.М., Копилова Л.О., Куєвга Ю.В., Куєвга В.П.,
Чорний Ю.А., Зінькевич П.О.
Системи електрозабезпечення станцій зарядки електротранспорту
- 45 Михайлов В.П.
SAGFIGHTER™ UST (США) — 3-фазний компенсатор провалів напруги (використання та технічні характеристики)

56 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА

- 56 Орієнтовний перелік енергоефективного обладнання та/або матеріалів, які є складовими (комплектуючими) устаткування та матеріалів

**ТОВ "Український інститут сталевих
конструкцій ім. В. М. Шимановського"**
чекає на пропозиції, відгуки щодо проєкту

ДБН В.2.5-23:202Х
**"ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ
ОБ'ЄКТІВ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ"**

За достовірність інформації та реклами відповідальність несуть автори та рекламодавці.
Редакція може не поділяти точку зору авторів статей. Редакція зберігає за собою право редагувати і скорочувати зміст статей.
Надіслані матеріали не повертаються. Передрук та використання матеріалів можливе тільки з письмового дозволу редакції
Усі використані або згадані товарні знаки, марки належать їх законним власникам.
В оформленні використані інформаційні матеріали фірм-виробників, установ, підприємств.
Матеріали позначені знаком  друкуються на правах реклами.
Претензії щодо якості реклами, строків публікації не приймаються.



УДК 621.311.153

Надійшла
Received 17.06.2022

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАНЦІЙ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ



С.М. Балута,
Д-р техн. наук,
професор,
завідувач
кафедри ЕПЕМ



Л.О. Копилова,
канд. техн. наук,
інженер
кафедри ТЕХТ



Ю.В. Куєвда,
канд. техн. наук,
доцент,
доцент
кафедри ЕПЕМ



В.П. Куєвда,
канд. техн. наук,
професор,
професор
кафедри ЕПЕМ



Ю.А. Чорний,
канд. техн. наук,
доцент,
доцент
кафедри ЕПЕМ



П.О. Зінкевич,
аспірант
кафедри ЕПЕМ



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра електропостачання і енергоменеджменту (ЕПЕМ);
кафедра теплоенергетики та холодильної техніки (ТЕХТ).
Тел.: (044) 287-93-73

В статті визначені особливості та підходи до синтезу систем електрозабезпечення станцій зарядки електромобілів з використанням ВДЕ та накопичувачів електричної енергії (мікрогрід) на основі ресурсної та технічної моделей систем електрозабезпечення станцій зарядки електромобілів.

Ключові слова: станція зарядки електротранспорту, відновлювальні джерела енергії, фотоелектрична станція, вітроелектрична станція, накопичувачі електричної енергії.

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТАНЦИЙ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА. В статье определены особенности и подходы к синтезу систем электрообеспечения станций зарядки электромобилей с использованием ВИЭ и накопителей электрической энергии (микрогрид) на основе ресурсной и технической моделей систем электрообеспечения станций зарядки электромобилей.

Ключевые слова: станция зарядки электротранспорта, возобновляемые источники энергии, фотоэлектрическая станция, ветроэлектрическая станция, накопители энергии.

ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS FOR ELECTRIC TRANSPORT CHARGING STATIONS. The article identifies features and approaches to the synthesis of power supply systems for charging stations of electric vehicles using RES and electrical energy storage (micro grid) based on resource and technical models of power supply systems for charging stations for electric vehicles.

Keywords: electric vehicle charging station, renewable energy sources, photovoltaic station, wind power station, electric energy storage devices.

ВСТУП

Проблема розробки систем електрозабезпечення станцій зарядки електротранспорту з використанням відновлювальних джерел енергії та накопичувачів енергії є актуальною, оскільки її вирішення дозволяє зменшити вплив на зовнішнє середовище та споживання електричної енергії з енергосистеми, забезпечити надійність електропостачання систем електрозабезпечення станцій зарядки електротранспорту.

Постановка завдань і дослідження. Завдання полягає у дослідженні ефективності систем електрозабезпечення станцій зарядки електротранспорту на основі відновлюваних джерел енергії та розробки методики оптимізації структури та параметрів системи електрозабезпечення зарядних станцій електротранспорту.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Одним з основних напрямків зменшення викидів CO₂ на сьогоднішній день є поступова заміна транспорту, що використовує двигуни внутрішнього згоряння, на електромобілі. Збільшення кількості електричних транспортних засобів обумовлює їх вплив на системи електропостачання як на регіональному рівні, так і на рівні всієї країни.

Таке стрімке зростання потребує відповідного розвитку інфраструктури зарядних станцій. За даними міністерства інфраструктури України станом на 1 листопада 2021 року українська зарядна мережа для електромобілів налічувала 3244 станції з 7661 терміналом. З них швидкісних (потужність понад 22 кВт) — 1835 од., тобто 24%, інші 5826 од. (76%) — звичайні термінали потужністю до 22 кВт.

Оскільки вже зараз системи швидкого зарядження ЕМ і «гібридів» достатньо поширені та будуть широко впроваджуватися в міських електромережах, тому доцільно провести певну модернізацію відповідних систем електропостачання (СЕР). Це обумовлюється тим, що нормальне (повільне) зарядження тягової акумуляторної батареї (АБ) ЕМ від мережі напругою 0,4/0,23 кВ при допустимому струмі до 30 А займає від 8 до 10 годин, а швидке зарядження здійснюється за 15–30 хвилин, проте вимагає підключення до окремого відгалуження мережі, розрахованого на потужності 100–200 кВт.

Питанням електрозабезпечення станцій зарядки електротранспорту з використанням ВДЕ присвячені ряд робіт [1–7]. Розглянемо деякі з них.

У [1] розглядаються питання використання сонячних панелей для енергопостачання зарядних станцій електромобілів. Визначені економічна ефективність, рентабельність зарядних станцій різної потужності та терміни їх окупності.

В роботі [2] проведено аналіз розвитку ринку відновлюваної енергетики та електромобілів в Україні та в світі, запропоновано дослідити ефективність роботи вітроелектричних та фотоелектричних систем в автономному режимі на зарядження акумуляторних батарей електромобілів.

Робота [3] присвячена дослідженню можливості використання ВЕУ для зарядження електромобілів. Визначена генерація електричної енергії вітроелек-

тричною установкою (ВЕУ) та кількість електроенергії, що споживається одним електромобілем за рік.

В роботі [4] розглядаються питання енергозабезпечення зарядної станції за допомогою ВЕУ потужністю 900 Вт, ФЕС потужністю 980 Вт та акумуляторної батареї. Представлені характеристики цієї станції. Проаналізовано можливості використання таких станцій для зарядження електромобілів.

Робота [5] присвячена розробці експериментальної портативної сонячної зарядної станції для зарядження електромобілі. Виконаний підбір обладнання та сконструйована експериментальна модель такої станції. Розглядається можливість зарядки ЕТ як безпосередньо від зарядної станції, так і від акумуляторної батареї.

У [6] запропоновано математичне описання енергії заряду акумуляторної батареї при врахуванні специфіки непостійного навантаження від електромобілів.

В роботі [7] запропоновано математичний опис системи автономної зарядної станції електромобілів з використанням вітроелектричних установок. Обґрунтовано необхідну енергоємність буферного акумулятора енергії для реалізації автономних зарядних станцій електромобілів з використанням вітроелектричних установок як генераторів електричної енергії.

Наведений аналітичний огляд показує, що у більшості робіт основна увага переважно приділяється одному типу відновлюваних джерел енергії (або енергії сонця, або енергії вітру). В розглянутих роботах практично не розглядаються питання оптимізації складу та параметрів обладнання. Крім того, недостатньо уваги приділяється дослідженню режимів роботи станцій.

У зв'язку з викладеним вище актуальною є розробка методики оптимізації структури та параметрів системи електрозабезпечення станцій підзарядки електротранспорту з використанням відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) та систем накопичення енергії (СНЕ). Така методика повинна ґрунтуватися на математичних моделях та значень про наявні ресурси відновлювальної енергії.

Постановка задачі оптимізації. Вибір оптимального складу джерел та накопичувачів ЕТК є задачею нелінійного програмування. Математично задачу оптимізації можна описати виразом (1):

$$\{f_1(\vec{X}), f_2(\vec{X}), \dots, f_k(\vec{X})\} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де:

$f_i(\vec{X})$ — цільова функція, $i \in [1, k]$;
 k — число параметрів ЕТК, що оптимізуються;
 \vec{X} — вектор рішення, а також нерівностями (2), що характеризують накладені обмеження:

$$g_1(\vec{X}) \leq A; \quad g_2(\vec{X}) \leq B; \quad \dots; \quad g_m(\vec{X}) \leq C, \quad (2)$$

де:

$g_i(\vec{X})$ — обмеження, задане у вигляді нерівності, $i \in [1, m]$;

m — кількість обмежень;

A, B, C — граничні значення параметрів.

Насправді, зазвичай, одні показники, які у ролі цільових функцій, можна покращити лише з погіршенням інших.

Відповідно до теорії прийняття рішень обираємо головний критерій, у той час як інші або задаються у вигляді обмежень, або отримують свої вагові коефіцієнти і вводяться до одного узагальненого критерія.

Для вирішення задачі оптимізації доцільно використати метод координатного спуску.

Критерії оптимізації. Ключові критерії оптимізації складу джерел генерації та накопичувачів електроенергії в системі електрозабезпечення зарядки електротранспорту (СЕЗЕ) можна розділити на чотири групи — економічні, технічні, екологічні та соціальні [8]. Деякі критерії оптимізації представлені у таблиці 1.

Таблиця 1. Деякі критерії оптимізації складу ЕТК

Група критеріїв	Найменування критерію і його позначення	
Економічні	Капітальні витрати	CAPEX
	Чиста приведена вартість	NPC
	Термін окупності	PB
	Вартість життєвого циклу	LCC
	Нормована собівартість електроенергії	LCOE
Технічні	Ймовірна втрата живлення	LPSP
	Величина непокритої потужності	—
Екологічні	Викиди забруднюючих речовин	—
Соціальні	Кількість створених робочих місць	—

При виборі структури МГ визначаються наступні економічні показники. Чиста приведена вартість (NPC) — це загальні дисконтовані витрати на інвестиції, обслуговування, експлуатацію та заміну обладнання протягом усього терміну служби системи. Нормована собівартість електроенергії (LCOE) — це відношення витрат до сумарного значення електроенергії, спожитого навантаження. Термін окупності (PB) — це термін, протягом якого NPC базового і аналізованого варіантів стають рівними.

Для розробки системи енергоживлення станції зарядки електротранспорту необхідно використати відповідні математичні моделі окремих елементів та системи вцілому.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ СИНТЕЗУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ

Для розробки системи електрозабезпечення станції зарядки ЕТ з використанням ВДЕ та НЕ доцільно використати такі моделі: структурно-функціональну модель системи електрозабезпечення станції зарядки електротранспорту (СЕСЗЕТ); динамічну модель енергоресурсів СЕСЗЕТ; модель функціонування окремих елементів системи; загальну модель СЕСЗЕТ.

Структурно-функціональна модель СЕСЗЕТ наведена на рис. 1.

Вказана схема отримана в результаті аналізу структури та принципів роботи існуючих на сьогоднішній день зарядних станцій (як мережевих, так і

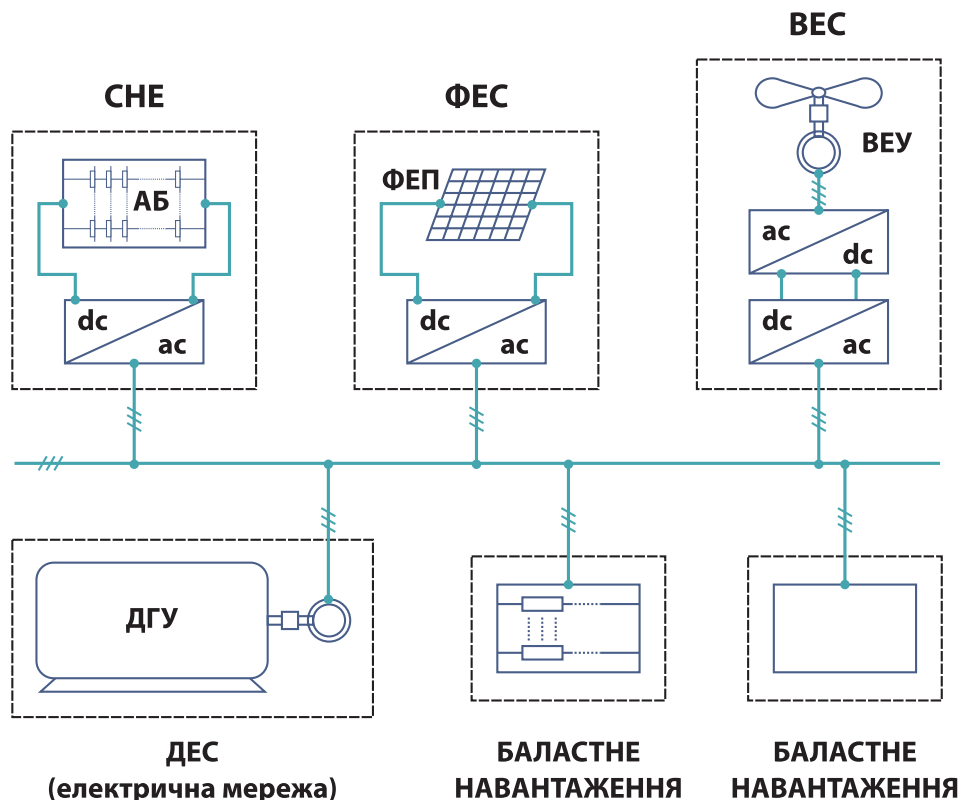


Рис. 1. Структурно-функціональна схема СЕСЗЕТ: ФЕС — фотоелектрична станція; ВЕС — вітро-електрична станція; ДЕС — дизель-електрична станція; ВЕУ — вітро-електрична установка; СНЕ — система накопичення електричної енергії; АКБ — акумуляторні батареї; ФЕП — фотоелектричні перетворювачі

працюючих від ВДЕ), та актуальна для СЕСЗЕТ, що включають один із цих типів станцій підзарядки.

При складанні схеми основними генеруючими елементами прийняті установки на основі ВДЕ. Оскільки генерація електричної енергії від таких установок носить стохастичний характер, тому для забезпечення гарантованого електропостачання в схемі передбачено встановлення акумуляторних батарей та живлення від енергосистеми або дизель генератора. Наявність в системі акумуляторних батарей дозволить оптимізувати оплату за електричну енергію за рахунок накопичення енергії від ВДЕ у АБ та використання диференційованих тарифів на електричну енергію.

Для створення **ресурсної моделі** використовуються перелічені нижче елементи.

Дані про середньомісячні, середньодобові та середньогодинні значення приходу сонячного випромінювання (СВ) на горизонтальний майданчик ($R_{\Sigma}^{\downarrow}(i)$) та швидкості вітру на висоті 10 м ($V_h(i)$) за період на 1 рік представлених у відповідних базах даних метеослужб (метеорологічна база даних NASA [9], швейцарської бази даних (БД) про місцеві ресурси під назвою "Meteonorm" [10] і т.д.).

Методика розрахунку сумарного находження сонячного випромінювання на приймальну площину, розташовану під оптимальним кутом нахилу до горизонту [11] та методика перерахунку швидкості вітру на висоті башти вітро-електричної установки (ВЕУ) [12].

Моделі окремих елементів СЕЗЕ, що відображають залежність вихідної потужності окремих установок ВДЕ від потужності вхідного (ресурсного) потоку, а також враховують технічні рішення побудови окремих установок.

Потужність виробітку ФЕС визначається за формулою (3) [11]:

$$P_{PV} = m_{PV} \cdot A_{PV} \cdot G_t \cdot \eta_{PV} (1 - P_H), \quad (3)$$

де:

- m_{PV} — кількість ФЕП;
- A_{PV} — площа ФЕП, м²;
- G_t — сумарна сонячна радіація, Вт/м²;
- η_{PV} — ККД ФЕП, %;
- P_H — коефіцієнт зниження вироблення ФЕП в результаті нагрівання, %.

Потужність виробітку ЕЕ на ВЕУ обчислюється за формулою (4) [12]:

$$P_{ВЕС} = \begin{cases} 0 & V < V_{вкл} \\ m_{ВЕУ} \cdot \eta_{ВЕУ} \cdot P_{н.ВЕУ} \cdot \left(\frac{V^3 - V_{вкл}^3}{V_{ном}^3 - V_{вкл}^3} \right) & V_{вкл} < V < V_{ном} \\ m_{ВЕУ} \cdot \eta_{ВЕУ} \cdot P_{н.ВЕУ} & V_{вкл} < V < V_{ном} \\ 0 & V > V_{вкл} \end{cases}, \quad (4)$$

де:

- $m_{ВЕУ}$ — кількість ВЕУ;
- V — фактична швидкість вітру на висоті щогли, м/с;
- $V_{вкл}$ — початкова швидкість вітру (включення ВЕУ), м/с;

$V_{відк}$ — гранична швидкість вітру (відключення ВЕУ), м/с;

$V_{ном}$ — номінальна швидкість вітру, м/с;

$P_{н.ВЕУ}$ — номінальна потужність ВЕУ, кВт;

$\eta_{ВЕУ}$ — електричний ККД ВЕУ, прийнятий рівним 0,9.

Математична модель дизель-генераторної базується на емпіричній формулі, що пов'язує витрати пального, номінальну потужність та коефіцієнт завантаження ДГУ [13]:

$$F_{ДГУ}(t) = a_1 \cdot P_{ндгу} + a_2 \cdot P_{дгу}(t), \quad (5)$$

де:

$F_{ДГУ}(t)$ — споживання ДГУ за інтервал часу t, л/год.;

$P_{ндгу}$ — номінальна потужність ДГУ, кВт;

$P_{дгу}$ — поточна потужність навантаження ДГУ кВт;

a_1, a_2 — емпіричні коефіцієнти, л/кВт·год.

СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ (СНЕ)

Оскільки при аналізі режимів роботи СЕЗЕ використовується рівняння енергетичного балансу, тому доцільно ємність, швидкість розряду та заряду АБ представити у вигляді енергетичних характеристик: ємність (А·год) перераховують в енергоемність (кВт·год), а струми розряду та заряду (А) — у потужність розряду та заряду (кВт).

Позначимо запас енергії всіх АБ СЕЗЕ на початку годинного інтервалу $W_{поч}$, а в кінці годинного інтервалу $W_{кін}$. Залежно від запасу енергії АБ $W_{поч}$ та різниці потужності навантаження та потужності вироблення ВДЕ ($P_H - P_{ФЕС} - P_{ВЕС}$) визначається величина розряду W_p або заряду W_3 АБ за інтервал. Можливі величини розряду, заряду АБ, а також значення енергії, що накопичується в АБ розраховуються за формулами, наведеними у **таблиці 2**.

Модель споживання електричної енергії базується на добових графіка попиту енергії на підзарядку акумуляторів електротранспорту і власні потреби (ВП) станцій зарядки електротранспорту, представлених в проектах ChargePoint America та The EV Project (США) впровадження інфраструктури зарядки електротранспорту [14].

На основі узагальнення даних за добу про кількість електромобілів, що обслуговуються на станціях підзарядки, розташованих в різних місцях міста і працюючих за різними розкладами (**рис. 2**), були побудовані залежності кількості електромобілів, що заряджаються, від часу доби.

Аналіз отриманих залежностей дозволив виділити такі **типи станцій підзарядки ЕТ** [14]:

- **нічна зарядна станція.** Станції цього типу передбачається розміщувати на громадських чи приватних автостоянках, розташованих неподалік житлових будинків та нічних закладів (бари, клуби та ін.). Пік попиту на підзарядку на станціях цього типу припадає на вечірньо-нічний час;
- **денна зарядна станція.** Передбачається, що станції цього типу розміщуються на громадських автостоянках неподалік муніципальних установ (поліклініки, лікарні, школи, університети та ін.), торгових центрів, зон відпочинку (парки, зоопар-

Таблиця 2. Формули для визначення параметрів АБ величини розряду у годинному інтервалі

Умова	Формула*	Опис
Розряд W_p	0	Глибина розряду максимальна або розряд не потрібен
	$W_{\text{поч}} - W_{\text{кін}}$	Розряд до мінімальної ємності
	$P_L - P_V - P_W$	Розряд не до мінімальної ємності
	$W_{\text{р.доп}}$	Розряд з максимуму до мінімуму за ємністю
Заряд W_z	0	АБ розряджена на 100% або заряд неможливий
	$W_{\text{max}} - W_{\text{поч}}$	Заряд до 100% ємності
	$P_V + P_W - P_L$	Заряд не до 100% ємності
	$W_{\text{з.доп}}$	Заряд від мінімальної ємності до максимуму ємності
Година	$W_{\text{р.доп}} = m_b \cdot W_{\text{р.ном}}$	Допустиме значення енергії, що запасає АБ за годину
Година	$W_{\text{max}} = m_b \cdot W_{1\text{max}}$	Максимальна кількість енергії (енергоємність), що запасає АБ за годину
Година	$W_{\text{min}} = m_b \cdot W_{1\text{min}} = m_b \cdot W_{\text{max}} \cdot k_{\text{min}}$	Мінімальна кількість енергії, що запасає АБ за годину
Часовий інтервал	$W_{\text{кін}} = W_{\text{поч}} - W_p + W_z$	Кількість запасеної енергії, що накопичується до кінця розглянутого часового інтервалу

* k_{min} — максимальна глибина розряду, що визначається виробником; P_L — потужність (енергія) навантаження; P_{PV} — потужність (енергія) ФЕС; P_W — потужність (енергія) ВЕУ; m_b — кількість АБ; $W_{1\text{max}}$ — максимальна енергія 1-го АБ.

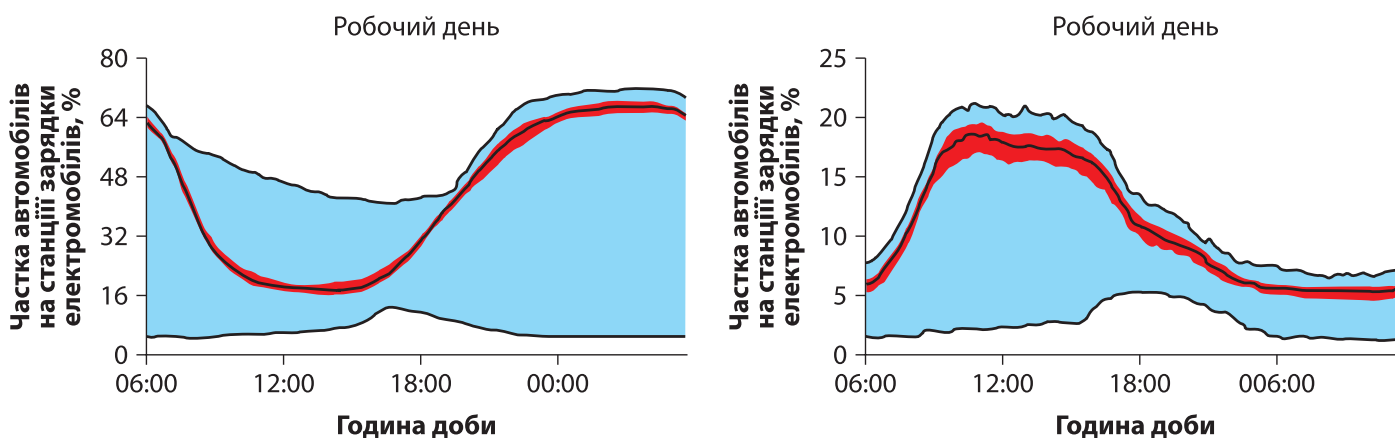


Рис. 2. Частка електромобілів, що заряджаються, на нічний (ліворуч) і денний (праворуч) зарядної станції в залежності від часу доби

ки, парки розваг та ін.), аеропортів, вокзалів і т.д. Найбільшим попит на підзарядку на цих станціях є у денний час;

- **комерційна зарядна станція.** Станції цього типу можуть входити до складу звичайних автозаправних станцій (АЗС) або розміщуватися на приватних автостоянках поблизу офісних центрів. Пік попиту на підзарядку електромобіля у цьому випадку також припадає на денний час.

На основі математичних моделей елементів СЕЗЕ сформована узагальнена математична модель СЕЗЕ, що дозволяє аналізувати режими роботи ГЕК.

Режими роботи СЕЗЕ в залежно від наявної кількості АБ ($n_{\text{АБ}}$) у складі СЕЗЕ визначаються потужністю, що споживається від мережі ($P_{\text{мер}}$).

За відсутності АБ ($n_{\text{АБ}}=0$), потужність, що споживається буде дорівнювати:

$$P_{\text{мер}}(t) = \begin{cases} P_{\text{СЗ}}(t) - P_{\text{ВДЕ}}(t) \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{інв}} & \text{при } \frac{P_{\text{СЗ}}(t)}{\eta_{\text{інв}}} > P_{\text{ВДЕ}}(t) \cdot \eta_{\text{пер}}; \\ 0 & \text{при } \frac{P_{\text{СЗ}}(t)}{\eta_{\text{інв}}} \leq P_{\text{ВДЕ}}(t) \cdot \eta_{\text{пер}} \end{cases} \quad (6)$$

де:

- $P_{\text{СЗ}}$ — потужність навантаження станції зарядки ЕТ;
- $P_{\text{ВДЕ}}$ — потужність, отримана від ВДЕ;
- $\eta_{\text{пер}}$ — ККД перетворювача;
- $\eta_{\text{інв}}$ — ККД інвертора.

За наявності АБ ($n_{\text{АБ}} > 0$), потужність із мережі буде визначатися наступним чином:

- у випадку, коли потужність ВДЕ є недостатньою для забезпечення балансу потужності в системі, тобто коли виконується умова

тоді:

$$\frac{P_{C3}(t)}{\eta_{інв}} > P_{ВДЕ}(t) \cdot \eta_{пер}, \quad (7)$$

$$P_{мер}(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } P_{АКБ}^{розр} \geq \frac{P_{C3}(t)}{\eta_{інв}} - P_{ВДЕ}(t) \cdot \eta_{пер} \\ P_{C3}(t) - (P_{ВДЕ}(t) \cdot \eta_{пер} + P_{АКБ}^{розр}(t) \cdot \eta_{інв}) & \text{при } P_{АКБ}^{розр} \leq \frac{P_{C3}(t)}{\eta_{інв}} \\ -P_{ВДЕ}(t) \cdot \eta_{пер} & \end{cases} \quad (8)$$

де:
 $P_{АКБ}^{розр}$ — потужність, яку може видати АКБ (розраховується на основі потужності АКБ для різних станів його зарядки);

- у випадку, коли потужність ВДЕ є достатньою для забезпечення балансу потужності в системі, тобто коли виконується умова

$$\frac{P_{C3}(t)}{\eta_{інв}} \leq P_{ВДЕ} \cdot \eta_{пер}, \quad (9)$$

тоді

$$P_{мер}(t) = 0. \quad (10)$$

ВИБІР РЕЖИМІВ РОБОТИ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Під час вирішення завдання оптимізації складу розподілених джерел енергії необхідно враховувати особливості алгоритмів управління елементами МГ. Це дозволяє встановити величину потужності, що генерує окремий елемент системи.

Алгоритми керування ВЕС та ФЕС для автономних ЕТК, що включають ДГУ, як правило, є схожими. Основна ідея керування полягає у тому, що з метою зниження витрат на електропостачання доцільно використати максимум можливої енергії, що виробляється ВДЕ. При виникненні надлишку електроенергії від ВДЕ навіть при відключенні енергоустановок, що працюють на викопному паливі, і вичерпання можливостей з накопичення енергії в СНЕ і збільшення потужності споживання за рахунок управління попитом на електроенергію, необхідно зменшити потужність генерації ВДЕ.

Алгоритм керування ДГУ. Приймаємо стратегію керування ДГУ різної встановленої потужності [15]. Перемикання ДГУ відбувається при досягненні потужністю навантаження величини, при якій питомі витрати пального до перемикання та після нього рівні.

Алгоритм керування АКБ [16] передбачає, що розряд АКБ відбувається за недостатньої потужності ВДЕ, а заряд — при перевищенні потужності ВДЕ потужності електричного навантаження.

У цьому режимі забезпечується економія ДП при помірній кількості циклів заряду-розряду АКБ. Слід зазначити, що стратегія керування АКБ може передбачати заряд АКБ не лише від ВДЕ, але й від інших джерел, наприклад, ДЕС або електричної мережі.

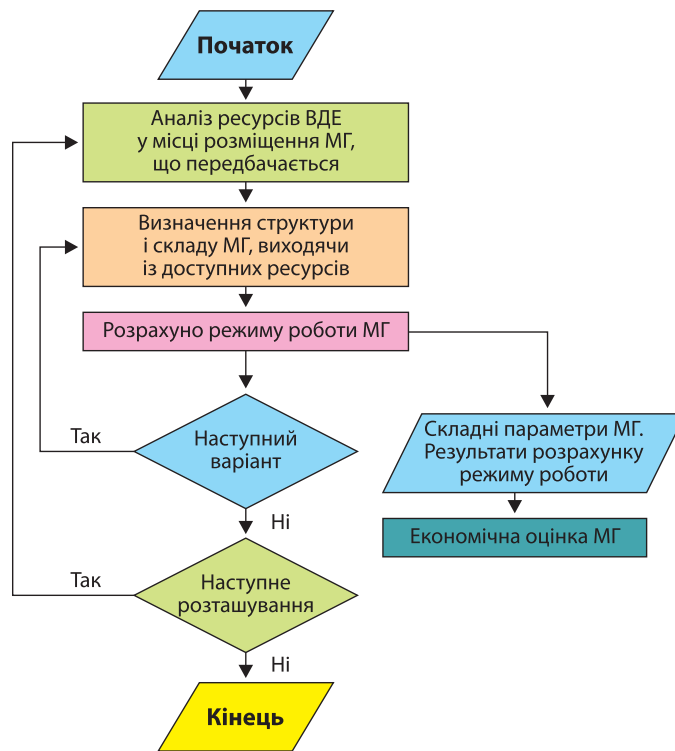


Рис. 3. Алгоритм вибору структури та параметрів МГ

Відповідно за допомогою в представлених математичних моделях визначається склад обладнання СЕЗЕ та проводяться розрахунки режимів роботи ДЕК та оцінки їх економічної ефективності. У цілому узагальнений процес розрахунку режимів роботи СЕЗЕ та його економічних показників можна представити за допомогою узагальненої блок-схеми (рис. 3).

Згідно з представлення алгоритмом було проведено розрахунок режимів роботи декількох СЕЗЕ з різним складом обладнання. Отримані результати дозволили оцінити вплив складу обладнання комплексу на енергоспоживання з мережі або вироблення дизельних електростанцій (ДЕС).

На рис. 4 представлені залежності, що відображають зміну енергоспоживання від мережі в залежності від типу та кількості генеруючих установок відновлюваної енергетики, кількості акумуляторних батарей і типу зарядної станції.

Ефективність кожного із розглянутих варіантів СЕЗЕ проводилася за допомогою економічних критеріїв, що представлені в таблиці 1. Під час дослідження СЕЗЕ, що мають підключення до електричної мережі, змінювалися тарифи на електроенергію від мережі, а для автономних СЕЗЕ змінювалася вартість дизельного палива. В результаті виявилось, що ефективність СЕЗЕ на основі ВДЕ в значній мірі залежить від тарифів на електричну енергію та вартості обладнання ВДЕ. Зокрема, встановлено, що комплекси на основі ВДЕ будуть більш ефективніші, ніж СЕЗЕ, що працюють лише від мережі, за умови, що тарифи на електроенергію зростуть більш ніж у 2 рази.

В той же час, за результатами розрахунків було встановлено, що автономні СЕЗЕ з живленням від вітроелектростанцій (ВЕС) можуть скласти конку-

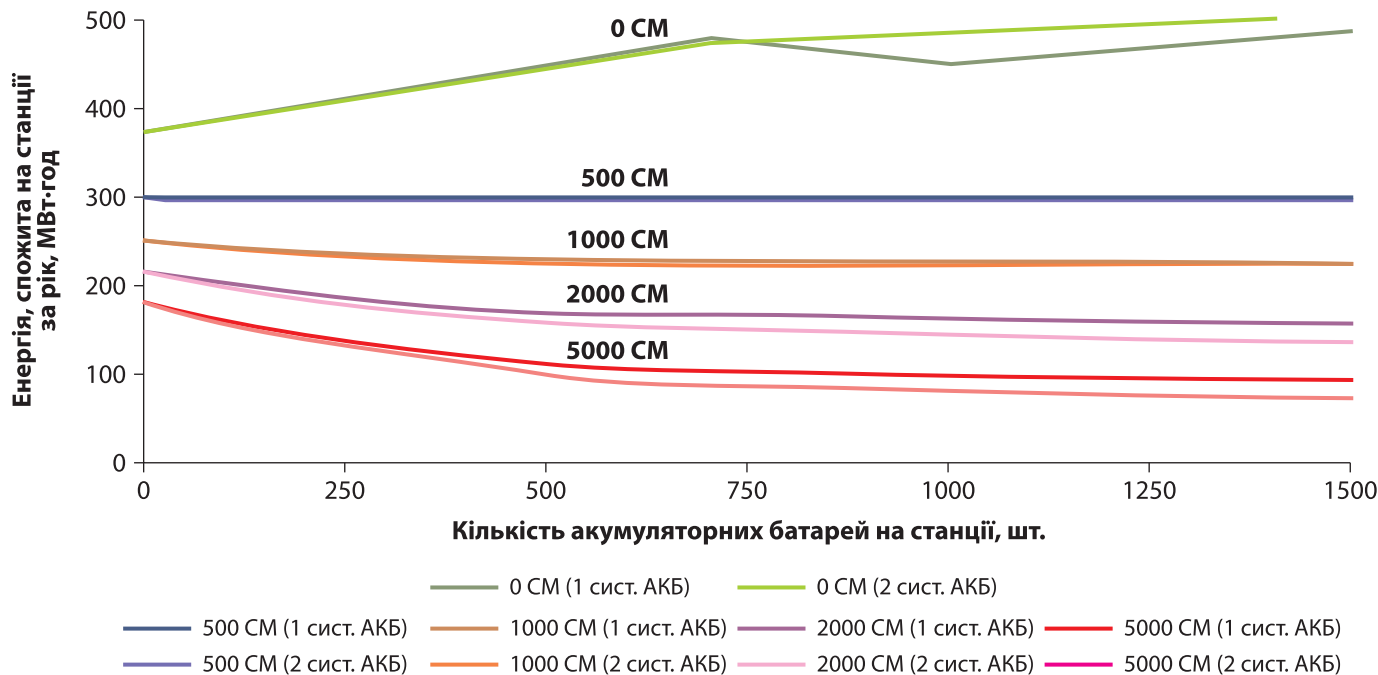


Рис. 4. Залежність енергії, спожитої комплексом з електричної мережі протягом року, від кількості сонячних модулів та АКБ (СЕЗЕ із денною станцією зарядки ЕТ з двома системами накопичення енергії)

ренцію ДЕК, енергопостачання яких здійснюється тільки від ДЕС, і навіть бути більшим ефективні.

ВИСНОВКИ

Особливості процесу зарядки електромобілів, великі відмінності в потужностях зарядних станцій, нерівномірність електричного навантаження протягом доби, обумовлюють при розробці системи електропостачання станцій зарядки необхідність використання накопичувачів енергії та відновлювальних джерел енергії.

Розроблена математична модель СЕЗЕ, що включає в себе генеруючі електроустановки на

основі сонячної та вітрової енергії, типові АБ або АБ електромобілів та зарядні станції з резервуванням енергопостачання від електричної мережі чи ДЕС, що дозволяє проводити вирішення оптимізаційної задачі вибору джерел живлення та накопичувачів енергії.

Запропонована методика визначення оптимальної структури СЕЗЕ на основі станцій підзарядки ЕТ та ВДЕ, що дозволяє оцінювати ефективність використання ВДЕ та СНЕ при визначенні місць розміщення станцій зарядки ЕТ за допомогою геоінформаційних систем при заданих значеннях ресурсів ВДЕ.

ЛІТЕРАТУРА

- Urban J., Bruckmann M., Welsch A. Evaluation of Solar DC/DC Charging Concepts in Off-Grid Operation // HS Regensburg. 2012.
- Будько В.І. Аналіз доцільності впровадження зарядних станцій електромобілів на основі відновлюваних джерел енергії в Україні / В.І. Будько // Відновлювана енергетика. — 2016. — № 4. — С. 32–41.
- Patten J., Christensen N., Srivastava S., Nola G. Wind Charged Plug-In Hybrid Electric Vehicle // Green Manufacturing Research Journal. 2011.
- Grove-Smith J. Charging Station for Electric Vehicles // Nordic Folkecenter for Renewable Energy. 2008.
- Tatar F. Experiment Station to Observe the Solar Charge Station Behavior for a Year Period // Izmir Institute of Technology. 2003.
- Будько В.І. Розроблення математичної моделі роботи автономної зарядної станції електромобілів від вітроелектричних установок / В.І. Будько // Відновлювана енергетика. — 2017. — № 3. — С. 6–13.
- Павлов В.Б. Особливості роботи автономних зарядних станцій електромобілів з використанням вітроелектричних установок та буферних акумуляторів енергії / В.Б. Павлов, С.О. Кудря, В.І. Будько, В.М. Кириленко, В.Ю. Іванчук // Технічна електродинаміка. — 2019. — № 4. — С. 70–76.
- Rivera-Niquepa J.D. Planning stand-alone electricity generation systems, a multiple objective optimization and fuzzy decision making approach / J.D. Rivera-Niquepa, P.M. De Oliveira-De Jesus, J.C. Castro-Galeano, D. Hernández-Torres // Heliyon. — 2020. — 6 (3).
- Метеорологічна база даних NASA: [Електронний ресурс] // URL: <http://eosweb.larc.nasa.gov>
- Метеорологічна база даних "Meteonorm": [Електронний ресурс] // URL: <http://meteonorm.com>
- Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник / С.О. Кудря. — Київ: Національний технічний університет України "КПІ", 2012. — 495 с.
- Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков. М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. — Д.: НГУ, 2015. — 335 с.
- Dufo-López R. Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV-wind-diesel systems with batteries storage / R. Dufo-López, J.L. Bernal-Agustín, J.M. Yusta-Loyo, et al. // Applied Energy. — 2011. — Vol. 88. — P. 4033–4041.
- EV Project Electric Vehicle Charging Infrastructure Summary Report // Idaho National Laboratory and ECOTality North America, 2012.
- Shayeghi H. Optimal management of renewable energy sources considering split-diesel and dump energy / H. Shayeghi, S. Asefi, E. Shahryari, R. Dadkhah Dolatabad // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering. — 2018. — Vol. 34 (1). — P. 34–40.
- Zhukovskiy Y.L. Energy demand side management in stand-alone power supply system with renewable energy sources / Y.L. Zhukovskiy, A.Y. Lavrik, A.D. Buldysko // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — 1753.