математичною моделлю накопичення пошкоджень дозволяє оцінити ступінь деградації ізоляції та прогнозувати її залишковий ресурс. Такий підхід сприяє своєчасному виявленню небезпечного стану кабелю та обґрунтованому визначенню необхідності його подальшої експлуатації або заміни.

Список використаних джерел

1. IEC 60270:2025. High-voltage test techniques – Partial discharge measurements. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2025.

2. IEEE Std 400.2-2024. IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1 Hz). New York : Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2024.

Abstract. *The paper examines the key mathematical relationships used to assess the aging of cross-linked polyethylene (XLPE) power cable insulation. Formulas are presented for evaluating thermal and electrical effects, the accumulation of insulation damage, and the prediction of remaining service life. The practical application of these relationships for assessing the technical condition of the cable is demonstrated.*

Keywords: *power cable, insulation aging, diagnostics, thermal effect, electrical aging, damage accumulation, remaining service life.*

Науковий керівник:

Руденко А.Ю.

асистент

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 621.311.243:631.371

ГІБРИДНІ СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З СИСТЕМАМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ЯК ЗАСІБ ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНОСТІ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Роман СТРЕЛЬЦОВ, Олег СЛОБОДЕНЮК

Здобувачі вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія»

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Досліджено можливість автономного живлення відповідальних технологічних споживачів сільськогосподарського підприємства від сонячної станції з акумуляторним накопичувачем. Зіставлено два способи інтеграції батареї у схему станції, отримано розрахункову залежність для попереднього визначення енергоємності батареї та виконано числову оцінку для господарства Миколаївщини.*

Ключові слова: *сонячна станція, акумуляторний накопичувач, автономне живлення, відповідальні споживачі, сільськогосподарське підприємство.*

Відключення електроенергії, спричинені пошкодженням енергосистеми у 2022–2025 рр., для аграрного виробника означають не лише незручність, а й прямі збитки: без живлення зупиняються полив, сушіння зерна, холодильне зберігання та доїння. Резервні дизельні агрегати вирішують проблему лише частково, адже їхня робота залежить від наявності та ціни пального. Звідси випливає потреба у власній генерації на території господарства, доповненій запасом енергії на години без сонця [1, 2].

Мета дослідження – визначити раціональну конфігурацію сонячної станції з акумуляторним накопичувачем для сільськогосподарського підприємства та отримати інженерну залежність для попереднього вибору енергоємності батареї.

Від звичайної мережевої станції гібридна відрізняється здатністю після зникнення зовнішньої напруги продовжувати живлення споживачів від модулів і батареї. Інтегрувати батарею в схему станції можна двома шляхами [1]. Перший (AC) полягає у встановленні окремого двонаправленого перетворювача, підключеного до шин 0,4 кВ; при цьому вже змонтовані мережеві інвертори залишаються в роботі, що робить цей шлях зручним для дооснащення. Другий (DC) передбачає використання гібридного інвертора, батарея якого заряджається безпосередньо з кола постійного струму модулів. Відсутність проміжного перетворення постійного струму в змінний і навпаки

забезпечує, за оцінкою [1], додаткові 1–4 % корисно використаної енергії, тому для нових об’єктів цей шлях є пріоритетним.

Економічно невиправдано розраховувати батарею на повне навантаження господарства. Доцільніше сформувати перелік відповідальних споживачів, знеструмлення яких призводить до втрати продукції або загрожує тваринам, і гарантувати їм живлення протягом заданого інтервалу. Виходячи з балансу енергії з урахуванням втрат і допустимого розряду, потрібну енергоємність батареї визначаємо як

$$E_{bat} = P_{cr} \cdot t_a / (DoD \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_b), \quad (1)$$

де P_{cr} – сумарна потужність відповідальних споживачів, кВт; t_a – нормований час автономії, год; DoD – допустима глибина розряду, для батарей типу $LiFePO_4$ 0,8–0,9; η_{inv}, η_b – ККД інвертора і батареї відповідно.

Числову оцінку виконано для умовного господарства Миколаївської області. До відповідальних споживачів віднесено холодильну камеру, свердловинний насос, вентиляцію, освітлення та засоби зв’язку сумарною потужністю 40 кВт; нормований час автономії – 4 год. За DoD = 0,9, η_{inv} = 0,96, η_b = 0,95 вираз (1) дає $E_{bat} \approx 195$ кВт·год. Для визначення потужності модулів враховано, що річна сума сонячної радіації на півдні країни перевищує 1400 кВт·год/м^2 [3]. За коефіцієнта продуктивності 0,8 кожен кіловат модулів забезпечує близько 1100 кВт·год на рік, а станція потужністю 100 кВт – близько 110 МВт·год. Такого обсягу вистачає для живлення технологічного обладнання в денний час, заряду батареї та зменшення купівлі електроенергії в години з найвищою ціною.

З виконаного аналізу випливає, що спосіб інтеграції батареї слід обирати залежно від стадії життєвого циклу об’єкта: для діючих станцій – AC, для нових – DC. Незалежно від способу необхідна система керування енергією (EMS), яка задає черговість живлення, керує режимами заряду та постійно утримує резерв ємності для відповідальних споживачів [1]. Уточнення співвідношення потужності модулів і ємності батареї потребує імітаційного моделювання за реальним графіком навантаження та тарифами [4]. З правового

погляду впровадження полегшує Закон № 2046-IX, що звільняє активного споживача від ліцензування установки зберігання енергії в межах договірної потужності [1, 5].

Сонячна станція з акумуляторним накопичувачем дозволяє сільськогосподарському підприємству зберігати безперервність відповідальних технологічних процесів під час знеструмлень, одночасно скорочуючи витрати на електроенергію й пальне. Отримана розрахункова залежність придатна для попереднього вибору батареї на етапі техніко-економічного обґрунтування.

Висновок: Визначено раціональну конфігурацію сонячної станції з акумуляторним накопичувачем для сільськогосподарського підприємства та отримано інженерну залежність для попереднього вибору енергоємності батареї. Для аграрних підприємств спосіб приєднання акумуляторного накопичувача доцільно обирати залежно від стану об’єкта: для діючих мережевих станцій раціональне дооснащення за схемою AC, для нових – схема DC, яка дає додатково 1–4 % корисно використаної енергії. Ємність батареї слід розраховувати не на повне навантаження господарства, а на потужність відповідальних споживачів і нормований час автономії. Для умовного господарства Миколаївщини з відповідальним навантаженням 40 кВт і часом автономії 4 год потрібна батарея енергоємністю близько 195 кВт·год, а станція потужністю 100 кВт виробляє за рік приблизно 110 МВт·год. Отримана розрахункова залежність придатна для попереднього вибору обладнання на етапі техніко-економічного обґрунтування проєкту.

Список використаних джерел

1. Гавриленко Я., Дерій В. Енергетичні комплекси на основі сонячних електростанцій та акумуляторних систем зберігання енергії. Системні дослідження в енергетиці. 2025. № 3(83). С. 17–30. DOI: https://doi.org/10.15407/srenergy2025.03.017.

2. Дерій В. О. Накопичувачі електричної енергії. Системні дослідження в енергетиці. 2023. № 1(72). С. 12–24. DOI: https://doi.org/10.15407/srenergy2023.01.012.

3. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 495 с.

4. Khezri R., Mahmoudi A., Whaley D. Optimal sizing and comparative analysis of rooftop PV and battery for grid-connected households with all-electric and gas-electricity utility. Energy. 2022. Vol. 251. 123876. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123876.

5. Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії : Закон України від 15.02.2022 № 2046-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2046-20 (дата звернення: 29.09.2026).

Abstract. *The possibility of autonomous supply of essential process loads of an agricultural enterprise from a solar plant with battery storage is investigated. Two ways of integrating the battery into the plant circuit are compared, a design relationship for preliminary determination of battery energy capacity is derived, and a numerical estimate for a farm in the Mykolaiv region is performed.*

Keywords: *solar plant, battery storage, autonomous power supply, essential loads, agricultural enterprise.*

Науковий керівник:

Кондратьєва А.А.

Асистентка кафедри агроінженерії

Миколаївський національний аграрний університет

УДК 621.311.1:620.91:631.371

МІКРОМЕРЕЖІ (MICROGRID) ДЛЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ СІЛЬСЬКИХ ГРОМАД

Володимир ПОПОВ, Ігор ГЛАЗУНОВ

Здобувачі вищої освіти спеціальності G3 «Електрична інженерія»

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Розглянуто побудову локальної мікромережі для живлення об’єктів критичної інфраструктури сільської громади від сонячних станцій та*