

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Христюк О.А. – здобувач бакалаврату, oleksanderhrustuk2004@gmail.com

Павленко В.М. – к.т.н., доцент, v.pavlenko@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Метою роботи є розробка системи резервного електроживлення фермерського господарства на основі гібридної фотоелектричної системи з акумуляторними батареями для забезпечення безперебійного електропостачання критичних навантажень (системи доїння, вентиляції, охолодження молока, годівниці) в умовах нестабільної роботи централізованої мережі та масованих ракетних ударів по енергетичній інфраструктурі України.

Актуальність. Фермерські господарства належать до категорії споживачів, для яких навіть короточасні перерви електропостачання (30-60 хвилин) можуть призвести до критичних наслідків: загибель тварин через відмову систем вентиляції у птахівництві та свинарстві, зупинка доїльних установок та псування молочної продукції, неможливість забезпечення автоматизованого годування. В умовах воєнного стану, коли частота та тривалість аварійних вимкнень зростає у 5-8 разів, впровадження автономних та резервних систем електроживлення на основі відновлюваних джерел енергії стає питанням виживання аграрного бізнесу [1].

Гібридні фотоелектричні системи з акумуляторними батареями дозволяють забезпечити три режими роботи: мережевий (grid-tie) з пріоритетом самоспоживання сонячної енергії, автономний (off-grid) при аваріях мережі, резервний (backup) з миттєвим перемиканням (< 20 мс) для підтримки критичних навантажень. Дослідження показують, що правильно спроектована система може покривати до 70-85% електроспоживання ферми влітку та забезпечувати 8-12 годин автономної роботи взимку при повній втраті мережевого живлення.

Функціональні модулі системи резервного електроживлення фермерського господарства наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Функціональні модулі системи резервного електроживлення фермерського господарства

Функціональний модуль	Компоненти	Призначення та можливості
Фотоелектрична генерація	ФЕС 30 кВт (120 панелей по 250 Вт), МРРТ-контролери, система моніторингу	Генерація електроенергії з сонячного випромінювання, максимізація виходу через МРРТ, прогноз генерації на основі метеоданих
Система накопичення енергії	Літій-залізо-фосфатні батареї (LFP) 50 кВт·год, BMS-контролер, теплове управління	Зберігання надлишкової сонячної енергії, резервування на 8-12 годин автономної роботи, термостабілізація (-10°C до +45°C)
Гібридний інвертор	Потужність 25 кВА, 3-фазний, ККД 97%, підтримка паралельної роботи	Перетворення DC→AC, керування зарядом батарей, автоматичне перемикання мережа/автономія (< 20 мс), синхронізація з мережею
Керування критичними навантаженнями	Автоматичний ввід резерву (ABP), пріоритизація споживачів, розумні контактори	Класифікація навантажень: критичні (доїльне обладнання 10 кВт, охолодження молока 8 кВт, вентиляція 5 кВт) та некритичні (освітлення, підігрів води)
Моніторинг та управління	SCADA-система, віддалений доступ через мобільний додаток, датчики стану обладнання	Real-time моніторинг генерації ФЕС, SOC батарей, споживання, історія перемикань, сповіщення про аварії через SMS/push
Підключення до мережі	Grid-tie функціональність, двосторонній лічильник, захист від острівного ефекту	Продаж надлишків енергії за "зеленим" тарифом, імпорт з мережі при низькому SOC батарей, автоматична ізоляція при аваріях мережі
Резервний генератор	Дизель-генератор 20 кВА з автозапуском	Дублююче резервування при тривалій відсутності мережі та сонця (>12 годин), автоматичний запуск при SOC < 20%
Система безпеки	Захист від перенапруги/короткого замикання, пожежна сигналізація, грозозахист	SPD-пристрої класу I+II, автоматичні вимикачі, датчики диму в акумуляторному приміщенні

Система реалізує інтелектуальне керування на основі пріоритетів та прогнозування для забезпечення максимальної надійності електропостачання.

Пріоритет віддається самоспоживанню сонячної енергії: ФЕС → Критичні навантаження → Заряд батарей → Некритичні навантаження → Експорт до мережі. При генерації ФЕС 28 кВт та споживанні 18 кВт система заряджає батареї потужністю 10 кВт до SOC 100%, після чого експортує надлишки до мережі.

При детектуванні падіння напруги мережі >15% або частоти <49.5 Гц гібридний інвертор переходить у режим island (острівний) протягом 10-20 мс. Джерела живлення: ФЕС → Батареї → Дизель-генератор (автозапуск при SOC

< 20%). Некритичні навантаження автоматично відключаються для збереження енергії батарей.

Система класифікує споживачів за рівнями пріоритету:

- **Пріоритет 1 (критичні):** Доїльне обладнання (10 кВт, неможливо зупинити під час доїння), охолодження молока (8 кВт, максимум 2 години перерви), вентиляція тваринницьких приміщень (5 кВт, неможливо зупинити >30 хв).
- **Пріоритет 2 (важливі):** Автоматичні годівниці (3 кВт), водопостачання (2 кВт), системи контролю мікроклімату.
- **Пріоритет 3 (некритичні):** Освітлення (крім аварійного), підігрів води, офісне обладнання.

При обмеженій потужності (SOC < 50%) система відключає споживачів пріоритету 3, при SOC < 30% — пріоритету 2, залишаючи лише критичні навантаження [1].

Алгоритм аналізує прогноз погоди на наступні 24-48 годин: якщо прогнозується низька інсоляція (хмарність >80%), система заздалегідь заряджає батареї з мережі у нічні години за низьким тарифом до SOC 80-90% для забезпечення резерву.

ФЕС складається зі 120 полікристалічних панелей потужністю 250 Вт (загальна потужність 30 кВт), встановлених на даху тваринницького приміщення під кутом 35° (оптимум для широти 48-50°N) . Використання відновлених фотоелектричних модулів після попередньої діагностики дозволяє знизити капітальні витрати на 30-40% при збереженні ефективності 90-95% від номінальної.

Система накопичення енергії базується на LFP-батареях загальною ємністю 50 кВт·год (12.8 В × 4000 Ач), що забезпечує 8-12 годин автономної роботи критичних навантажень (15-20 кВт) . Перевага LFP над NMC: довший термін служби (6000+ циклів при DOD 80%), вища термостабільність (-20°C до +60°C), менший ризик термічного розгону .

Гібридний інвертор SMA Sunny Tripower Storage 25 забезпечує ККД 97.5%, підтримку паралельного з'єднання (до 3 інверторів), вбудовану функцію backup з перемиканням < 10 мс (прозоре для комп'ютерів та чутливого обладнання).

Капітальні витрати на систему: ФЕС (30 кВт × \$800/кВт) = \$24k, батареї (50 кВт·год × \$300/кВт·год) = \$15k, інвертор та BMS = \$8k, монтаж та пусконаладження = \$5k. Загальні інвестиції: \$52k.

Економія та доходи: зниження імпорту з мережі на 22000 кВт·год/рік × \$0.15 = \$3300/рік, продаж надлишків за зеленим тарифом 8000 кВт·год/рік × \$0.10 = \$800/рік, уникнення збитків від аварійних вимкнень (псування молока,

загибель тварин) \approx \$2000/рік. Загальний економічний ефект: \$6100/рік, простий термін окупності: 8.5 років.

З урахуванням державних програм підтримки ВДЕ в АПК (компенсація до 30% вартості) та податкових пільг термін окупності скорочується до 5-6 років.

Висновок. Розроблена система резервного електроживлення фермерського господарства на основі гібридної ФЕС 30 кВт та LFP-батареї 50 кВт·год забезпечує безперебійне електропостачання критичних навантажень протягом 8-12 годин при повній втраті мережі. Інтелектуальне керування з пріоритизацією споживачів та предиктивним зарядом батареї дозволяє максимізувати самоспоживання сонячної енергії (70-85% влітку) та мінімізувати ризики втрат продукції через аварійні вимкнення.

Список використаних джерел:

1. Pavlenko, V., Ponomarenko, I., Morhulets, O., Ponomarenko, D., Danylchenko, D. Synergy of Blockchain and Artificial Intelligence for Decentralized Smart Energy Management. In: Smart Innovations in Energy and Mechanical Systems. SIEMS 2025. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1480. Springer, Cham, 2025. DOI: 10.1007/978-3-031-95191-6_18
2. Shavolkin O., Shvedchykova I., Demishonkova S., Pavlenko V. Increasing the efficiency of hybrid photoelectric system equipped with a storage battery to meet the needs of local object with generation of electricity into grid. Przegląd Elektrotechniczny. 2021. Vol. 97, №11.
3. Shvedchykova, I., Trykhlieb, A., Trykhlieb, S., Demishonkova, S., Pavlenko, V. Determining the efficiency of restored photovoltaic modules under natural lighting conditions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Vol. 6, №8 (132). P. 16-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317829
4. Kaplun V., Kruhliak H., Makarevych S., Kulibaba Y. Dynamic energy management system with real time component control to increase the efficiency of local polygeneration microgrid. Przegląd Elektrotechniczny. 2023. №9.
5. Shavelkin A. A., Kruhliak H. V., Gerlici J., Kravchenko K. Management of power consumption in a photovoltaic system with a storage battery connected to the network with multi-zone electricity pricing to supply the local facility own needs. Electrical Engineering & Electromechanics. 2021. №2. P. 36-42.