

САВЧЕНКО НАТАЛІА ПАНАСІВНА ✉ – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7046-0633>; e-mail: natali_a_savchenko@ukr.net.

ДОВГАЛЮК ОКСАНА МИКОЛАЇВНА – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1994-619X>; e-mail: Oksana.Dovhaliuk@khpi.edu.ua.

СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ З МІКРОГЕНЕРАЦІЄЮ ВІД МОБІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Стаття присвячена питанню розробки удосконаленої структури для системи резервного живлення споживачів промислових підприємств, що є дуже актуальним для сьогодення електроенергетичної галузі України. В умовах нестабільного електропостачання, пов'язаного з руйнуванням енергетичної інфраструктури країни, системи резервного живлення все частіше починають використовуватись для забезпечення гарантованого та безперебійного живлення різних груп споживачів електричної енергії. Найбільш критичним це питання є для промислових підприємств, оскільки воно потребує дієвого вирішення через тяжкі і небезпечні наслідки від вимушених перерв електропостачання. В статті обґрунтовано, що запобігання таких ситуацій сприяє впровадженню систем резервного живлення до наявних систем електропостачання промислових підприємств, яке додатково сприяє вирішенню питань спрощення інтеграції відновлюваних джерел розосередженої генерації в електричну мережу підприємства, а також забезпеченню резервування та покращенню балансування потужності у досліджуваних системах електропостачання. Проведений аналіз наявних та найбільш поширених на сьогоднішній день схем реалізації систем резервного живлення у складі систем електропостачання промислових підприємств. Спільне застосування систем резервного живлення та джерел альтернативної енергетики при інтелектуалізації процесу керування режимами таких об'єктів є основою реалізації технології мікромереж у електропостачанні сучасних промислових підприємств. Модернізація систем електропостачання за рахунок побудови мікромережевої структури підвищує надійність енергозабезпечення як окремих, так і групових споживачів промислового підприємства. На основі проведеного аналізу особливостей виконання систем резервного живлення авторами запропоновано виконання локальної мікромережевої сітки низької напруги 0,4 кВ з використанням якості джерел розосередженої генерації стаціонарних сонячних електростанцій та мобільних гібридних електростанцій з метою забезпечення додаткової мікрогенерації та балансування потужності у різних точках системи електропостачання промислового підприємства. Отримані результати дослідження режимів експлуатації розробленої гібридної системи резервного живлення з мікрогенерацією від мобільних електростанцій альтернативної енергетики показують доцільність та енергоефективність запропонованого рішення, що доводить перспективність подальшого розвитку та впровадження сучасних технологічних рішень при реалізації систем резервного живлення на промислових підприємствах.

Ключові слова: система електропостачання; система резервного живлення; мікромережа; відновлювані джерела енергії; сонячна електростанція; гібридна мобільна електростанція; режим роботи; генерація.

Вступ. При проектуванні систем електропостачання (СЕС) промислових підприємств головним завданням є забезпечення глибокого резервування електроживлення для окремих споживачів або груп споживачів відповідних категорій. Таке резервування вже передбачено у типових схемах за умови живлення підприємства від загальної енергосистеми як на рівні високовольтних магістральних мереж, так і на рівнях розподільчих та живильних мереж. Фактично це досягається наявністю резервних ліній живлення від енергосистеми до споживача, які можуть бути включені на паралельну роботу з основною лінією живлення, або підключатися тільки в режимах вимушених аварійних перемикачів при ушкодженні основної лінії електропередавання. Для перемикачів та комутації ліній живлення застосовуються пристрої автоматичного введення резервного джерела живлення (АВР). Проте на сьогоднішній день енергосистема України піддається постійному зумисному пошкодженню об'єктів через ворожі обстріли, внаслідок чого виникають аварійні відключення та повне знеструмування, що призводить до порушення працездатності та утворення критичного стану енергетичної інфраструктури. За таких умов для забезпечення надійного електропостачання промислових підприємств необхідним є рішення з комплексного впровадження сучасних систем резервного живлення одночасно з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) в якості розосередженої генерації [1, 2]. Основною

перевагою систем резервного живлення є те, що вони можуть бути встановлені на всіх рівнях СЕС промислового підприємства та мати різні технічні рішення в залежності від функціональних потреб та технологічних вимог кінцевого споживача. Також слід зазначити, що об'єднання у такому комплексі систем резервного живлення з різними джерелами альтернативної енергетики при інтелектуальному керуванні процесами генерації та споживання електроенергії [3] дозволить отримати новий вид СЕС, що буде складатися з об'єднаних локальних мікромереж.

Таким чином, аналіз та дослідження конфігурації систем резервного живлення у складі мікромережевої сітки СЕС промислового підприємства дозволить зробити висновки про можливість її вдосконалення з метою підвищення енергоефективності та надійності енергозабезпечення споживачів.

Дослідження та вдосконалення систем резервного живлення останнім часом привертає все більше уваги. Значна частина досліджень присвячена моделюванню систем резервного живлення та аналізу показників їх роботи з метою подальшого покращення як конструкції, так і ефективності їх роботи [4, 5]. Вагомими є розробки, що представлені у роботах, які пов'язані з впровадженням інтелектуальних елементів у складі систем резервного живлення або систем керування [6, 7]. Питання оптимізації структурного виконання при проектуванні та експлуатації



таких систем також знайшли різні аспекти рішень, що відображені в роботах [8, 9].

Особливої важливості останніми роками набувають питання удосконалення систем резервного живлення для промислових підприємств, що потребує вирішення для забезпечення надійного електропостачання споживачів в умовах короткотривалих та довготривалих відключень електричної енергії [10]. Як показують аналітичні дослідження, порушення живлення споживачів промислових підприємств через ворожі атаки на енергетичний сектор України має великі негативні наслідки як місцевого характеру, так і у загальнодержавному вимірі [11]. Збитки промислових підприємств через знеструмлення під час війни викликає зупинку виробничих процесів, унеможливує нормальну роботу та змушує терміново шукати альтернативні джерела живлення (ДЖ).

Також слід зазначити, що впровадження та поступове збільшення частки відновлюваної енергетики у складі СЕП потребує наявності резервних ДЖ. Бурхливий розвиток інтелектуалізації електричних мереж та створення локальних мікромереж з розосередженими джерелами альтернативної енергетики у поєднанні з системами резервного живлення можуть повністю змінити підходи до побудови СЕП промислових підприємств.

Здебільшого питання резервування живлення розглядалося окремо у двох напрямках, таких як застосування власних електростанцій з джерелами альтернативної енергетики, що відображено у роботах [12, 13], або застосування акумуляторних систем накопичення енергії (СНЕ) великої ємності, як показано у роботах [14, 15]. Але з появою технології локальних мереж, які поєднують у собі попередні два підходи, маємо третій напрямок, що відображено та розглядається у наукових роботах [16, 17].

Проведений аналіз наукових досліджень і технічних рішень щодо створення систем резервного живлення в складі СЕП промислових підприємств показав, що їх побудова зазвичай здійснюється за типовими схемами. До таких схем можуть входити різноманітні компоненти:

- додаткове ДЖ, що за типом є або традиційним (дизельна, бензинова або газова електростанція), або відновлюваним (сонячна або вітрова електростанція);
- пристрій АВР;
- джерело безперебійного живлення (ДБЖ);
- СНЕ, яка входить до складу ДБЖ або встановлюється окремо.

Потужність систем резервного живлення може коливатися у досить великому діапазоні залежно від функціонального призначення та характеристик споживачів. Водночас недоліком таких типових систем резервного живлення є їх обмежена здатність до оперативної модифікації схем електропостачання у відповідь на зміну пікових навантажень, які можуть виникати навіть унаслідок невеликих коректив у технологічному процесі, як-от зниження або збільшення кількості задіяного обладнання.

Тому дослідження стосовно вдосконалення технічної реалізації систем резервного живлення на сьогодні є досить важливим та життєво необхідним для

вирішення питанням, що сприятиме підвищенню надійності електропостачання промислових підприємств та зменшенню фінансових втрат при їх експлуатації.

Мета статті полягає в обґрунтуванні структурного рішення щодо створення системи резервного живлення для споживачів промислових підприємств на основі застосування сучасних технологій локальних мікромереж з додатковою генерацією від мобільних електростанцій (МЕС) альтернативної енергетики.

Матеріали дослідження. Важливими вимогами до СЕП промислових підприємств є забезпечення: надійності електропостачання як окремих споживачів, так і підприємства в цілому; необхідного рівня якості електричної енергії при підключенні різних типів ДЖ; мінімальних втрат електричної енергії при функціонуванні; мінімального впливу на оточення та навколишнє середовище.

Навіть за умов стабільного функціонування загальної енергосистеми, для певних споживачів промислового підприємства, зокрема тих, що належать до першої категорії за надійністю електропостачання, передбачається застосування додаткових незалежних ДЖ. Тим більше в умовах сьогоденної енергетичної кризи, що супроводжується аварійними та стабілізаційними відключеннями, для промислових підприємств критично важливо впроваджувати системи резервного енергопостачання.

Резервування електроживлення поділяється на системи гарантованого електроживлення та системи безперебійного електроживлення. Системи гарантованого резервного електроживлення зазвичай оснащені власними автономними джерелами генерування енергії, такими як дизельні електростанції (ДЕС) або установки, що працюють на основі ВДЕ. Структура такої системи наведена на рис. 1.

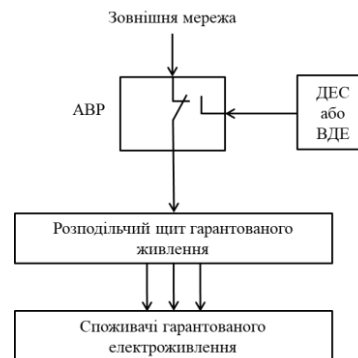


Рисунок 1 – Структура системи гарантованого резервного електроживлення

Гарантоване електроживлення здійснює подачу електроенергії споживачам першої категорії за відсутності напруги в основній мережі [18]. Таку систему резервування має сенс запроваджувати в умовах частого зникнення або істотного за величиною зниження рівня напруги на об'єкті, де наявні споживачі першої категорії за надійністю електропостачання.

Система безперебійного живлення формується на базі ДБЖ, яке безперервно контролює напругу в електричній мережі та за умови її зникнення автоматично перемикається на живлення від СНЕ, забезпечуючи безперебійну роботу підключеного обладнання [14]. Структура такої системи наведена на рис. 2.

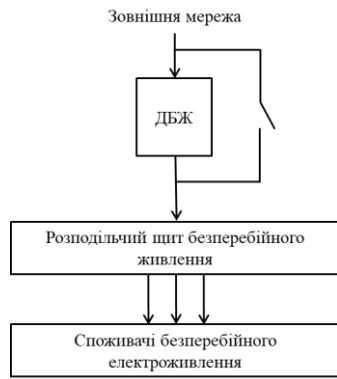


Рисунок 2 – Структура системи безперебійного живлення

Систему безперебійного електроживлення доцільно запроваджувати у випадках нечастих та короткочасних відключень живлення на об'єктах, споживачі яких включають особливу групу першої категорії за надійністю електропостачання та є чутливими до показників якості електричної енергії.

Для забезпечення підвищеної надійності електроживлення комбінують системи гарантованого та безперебійного живлення. Структурна схема такої комбінованої системи наведена на рис. 3.

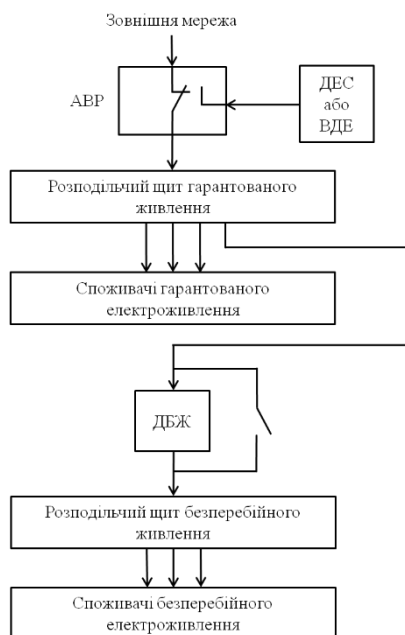


Рисунок 3 – Структура системи гарантованого та безперебійного живлення

Наведені вище структурні схеми систем резервного живлення є типовими і вибір кожного конкретного варіанту їх реалізації залежить від технічних вимог споживачів, що заживлюються з їх використанням, до надійності електропостачання і чутливості до якості електричної енергії, а також від фінансової спроможності промислового підприємства задля реалізації відповідних СЕП.

Основним недоліком розглянутих схем є фіксованість гарантованої потужності та неможливість швидкої перебудови схеми у випадку змін у технологічному процесі промислового підприємства або навіть незначних змін навантаження при модернізації

навного чи встановлення додаткового нового обладнання. Також в СЕП промислового підприємства можуть мати місце непередбачувані втрати електричної енергії, що збільшує навантаження на систему в цілому.

Усунення вищезазначених недоліків можливе за рахунок застосування нових сучасних підходів до резервування електроживлення промислових споживачів, а саме: впровадження технології комбінованих локальних мікромереж низької напруги з джерелами розосередженої генерації та СНЕ [19]; застосування гібридних МЕС з метою мікрогенерації у різних вузлах мікромережі [20].

На рис. 4 наведена структура локальної мікромережі з резервуванням живлення від сонячної електростанції (СЕС) з СНЕ на акумуляторних батареях (АКБ) та гібридною вітро-сонячною МЕС для мікрогенерації, що може бути підключена у різних вузлах мікромережі. Високу якість електричної енергії у системі забезпечують інвертори постійного (DC) та змінного (AC) струму.

Представлена на рис. 4 локальна мікромережа може функціонувати як у гібридному режимі, тобто одночасно із зовнішньою мережею, так і у повністю автономному режимі. При цьому слід зазначити, що такі локальні мікромережі у подальшому можуть об'єднуватися, формуючи СЕП промислового підприємства. Процеси генерації, розподілення та споживання енергії в системі угоджуються мікроконтролерним керуванням (МК).

Головною особливістю СЕП такого типу є її повна децентралізація та інтелектуалізація, а також острівний принцип структурної організації [21].

Для додаткової мікрогенерації у такій СЕП промислових підприємств, із структурою реалізованою відповідно до рис. 4, доцільним є застосування МЕС. Як приклад такої електростанції пропонується використовувати гібридну вітро-сонячну мобільну установку, конструкція якої показана на рис. 5 [22].

Істотними перевагами використання пропонованих гібридних МЕС є можливість додаткового впливу на структуру СЕП завдяки швидкому переміщенню, розгортанню та підключенню у різних вузлах локальної мікромережі, а також навіть між мікромережами СЕП промислового підприємства. Підключення таких гібридних МЕС дає можливість регулювання потоків потужності в електричній мережі промислового підприємства, а також відповідно графіків навантаження як окремих споживачів, так і підприємства в цілому.

Математично режими роботи гібридної МЕС можна представити таким чином [22]:

- максимальна генерація без застосування АКБ:

$$\begin{cases} P_G = P_{VG} + P_{TP} + P_{MP} - \Delta P; \\ P_{AKB} \geq 0,95P_3; \\ P_G \geq P_H. \end{cases} \quad (1)$$

де P_G – загальна потужність генерації МЕС;

P_{VG} – потужність, що виробляється за допомогою вітрогенератора;

P_{TP} – потужність, що забезпечується генерацією тонкоплівкових сонячних панелей;

P_{MP} – потужність, що генерується монокристалічними сонячними панелями;

ΔP – втрати потужності в обладнанні гібридної електростанції;

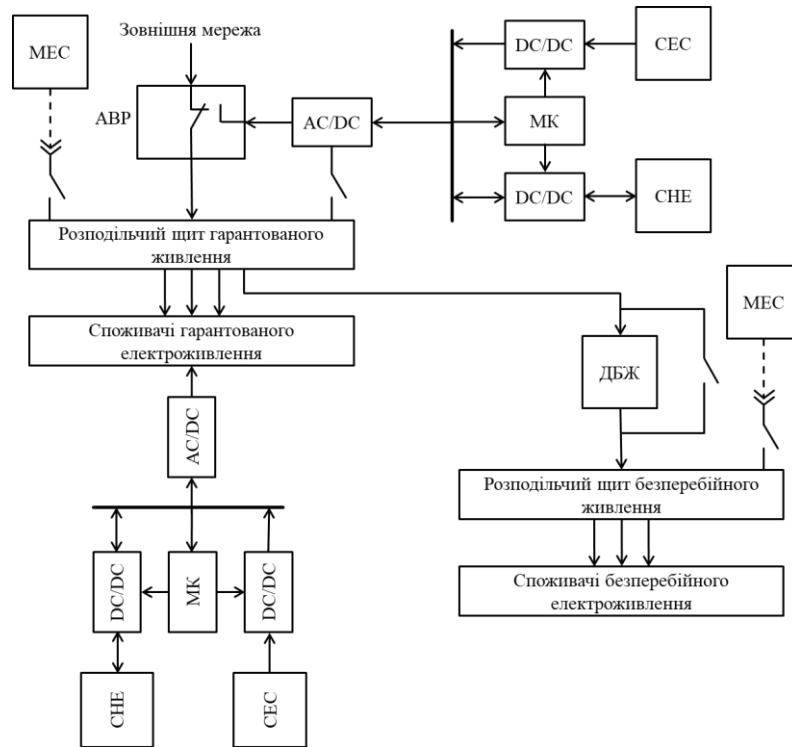


Рисунок 4 – Структура локальної мікромережі з системою резервного живлення

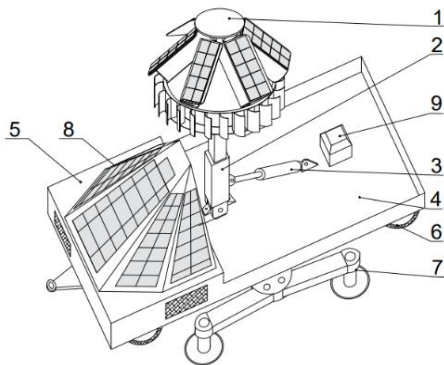


Рисунок 5 – Гібридна вітро-сонячна МЕС:

- 1 – вітрогенератор з тонкоплівковими фотомодулями;
- 2 – телескопічна стійка; 3 – розкос;
- 4 – автоприцеп; 5 – закритий блок; 6 – колісна база;
- 7 – розсувні опори-лапи; 8 – фотоелектрична установка;
- 9 – фіксатор положення вітрогенератору

$P_{АКБ}$ – потужність АКБ;
 P_3 – потужність заряду АКБ;
 P_H – потужність навантаження;

- максимальна генерація з АКБ:

$$\begin{cases} P_G = P_{вг} + P_{тп} + P_{мп} + P_{АКБ} - \Delta P; \\ 0,3P_3 \leq P_{АКБ} \leq 0,95P_3; \\ P_G \geq P_H. \end{cases} \quad (2)$$

- генерація з обраними параметрами:

$$\begin{cases} P_G = P_{вг} + P_{тп} - \Delta P; \\ P_{мп} = P_{АКБ}; \\ P_G \geq P_H. \end{cases} \quad (3)$$

- генерація з використанням резервної потужності АКБ:

$$\begin{cases} P_G = 0; \\ P_{АКБ} \geq P_H; \\ P_{АКБ} \geq 0,3P_3. \end{cases} \quad (4)$$

Аналіз особливостей роботи гібридної МЕС у складі СЕП промислового підприємства був виконаний із застосуванням програмного середовища DigSILENT PowerFactory [23]. Аналіз отриманих результатів показав, що за рахунок підключення гібридної МЕС до мікромережі з системою резервування живлення вирішуються наступні задачі щодо підвищення надійності роботи СЕП підприємства:

1. в режимі роботи з максимальною генерцією в залежності від вузла підключення гібридної МЕС до локальної мікромережі змінюється розподіл потоків потужностей по ділянках електричної мережі;
2. за рахунок наявності потужностей АКБ у складі МЕС забезпечується збільшення загального резерву електричної енергії у локальній мікромережі;
3. МЕС може підключатись для енергозабезпечення як окремого споживача, так і групи споживачів;
4. при зростаннях навантаження у локальній мережі, пов'язаних зі змінами технологічного процесу підприємства або встановленням нового обладнання, МЕС забезпечить тимчасове покриття цього додаткового навантаження;
5. за рахунок наявності у складі МЕС двох джерел альтернативної енергетики процес генерації електричної енергії буде більш ефективним і безперервним, що підвищує рівень надійності енергозабезпечення споживачів;

6. МЕС може бути також підключена безпосередньо до групових ДБЖ, що забезпечують живлення декількох груп споживачів, або до окремого ДБЖ, що призначене для живлення одного досить потужного споживача.

Таким чином, розроблена система резервного живлення для промислового підприємства, що реалізується з використанням технології мікромереж та застосуванням в її складі гібридних МЕС, забезпечує енергонезалежність промислового підприємства.

Висновки. За результатами виконаного аналізу типових схем реалізації систем резервного живлення споживачів промислових підприємств була запропонована вдосконалена схема резервування живлення з застосуванням технології локальної мікромережевої сітки низької напруги 0,4 кВ з використанням у якості джерел розосередженої генерації стаціонарних СЕС та гібридних МЕС з метою мікрогенерації та балансування потужності у різних точках СЕП промислового підприємства. Розроблена математична модель режимів роботи гібридної МЕС, використання якої дозволило дослідити умови функціонування запропонованої системи резервного живлення. Отримані результати підтвердили доцільність та енергоефективність розробленого рішення.

Список літератури

1. Стасів А., Сисак І. Забезпечення безперебійного електропостачання житлових та малих промислових споживачів у період блекаутів. *Вісник Хмельницького національного університету Серія: «Технічні науки»*. 2025. № 4 (355). С. 593–601. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-355-83>.
2. Савченко Н. П., Довгалюк О. М. Принципи формування оптимальної структури електроенергетичної системи з комплексним використанням джерел розосередженої генерації. *Енергобереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2024. № 9-10 (187-188). С. 36–53. DOI: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2023.09.02>.
3. Довгалюк О. М., Савченко Н. П., Трет'як А. В. Інтелектуальне управління в локальних електричних мережах. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024*, м. Харків, 22–24 трав. 2024 р. Харків, 2024. С. 110.
4. Дворніков О. О., Коваленко І. В. Моделювання роботи систем безперебійного живлення з використанням мікроконтролерів. *Моделі та методи обчислень*. 2021. № 1 (20). С. 89–97.
5. Optimization of the design and control system of a backup power system based on batteries and generator set / I. Aramendia et al. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, no. 5. 2313. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17052313>.
6. Петров В. О., Руденко С. А. Інтелектуальні рішення для систем безперебійного живлення. *Системи та засоби автоматизації*. 2022. № 2. С. 102–110.
7. Smart power management system for uninterrupted power supplies (UPS) with priorities / M. Mattada et al. *Global Transitions Proceedings*. 2022. Vol. 3, no. 1. P. 38–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2022.04.007>.
8. Миндюк В. Д., Ващишак І. Р. Особливості проектування систем енергозабезпечення споживачів на базі фотовольтаїки. *Нафтогазова енергетика*. 2025. № 1(43). С. 126–137. DOI: [10.31471/1993-9868-2025-1\(43\)-126-137](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2025-1(43)-126-137).
9. Airobaman A. E., Apeh S. T., Sanusi U. A. Design and simulation of an effective backup power supply for academic institutions in Nigeria: A case study of NDA postgraduate school. *Journal of Advances in Science and Engineering*. 2022. Vol. 6, no. 1. P. 13–19. DOI: <https://doi.org/10.37121/jase.v6i1.179>.
10. Бібік Т. В., Остапенко І. А., Фещенко Д. С. Енергоживлення комплексу інженерно-технічних засобів системи фізичного захисту в умовах довготривалих знеструмлень. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2024. № 3. С. 87–93. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2024.314610>.
11. Косарецький Є., Сотник В., Слосаренко А. Дослідження впливу воєнних дій на національну економіку України: фактичні збитки та втрати. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ імені Івана Черняхівського*. 2023. № 2 (78). С. 74–79. DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2023-2-78/74-79>.
12. Федорів М. Й., Гладь І. В., Бацала Я. В. Актуальні питання впровадження резервних джерел живлення. *SW-US Conference Proceedings*. 2024. No. usc22-01. С. 24–27.
13. Hirsch A., Parag Y., Guerrero I. Microgrids: a review of technologies, key drivers, and outstanding issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 90. P. 402–411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>.
14. Uninterrupted power supply system for network equipment / V. O. Nebesniuk et al. *Journal of Nano- And Electronic Physics*. 2024. Vol. 16, no. 6. 06027. DOI: [https://doi.org/10.21272/jnep.16\(6\).06027](https://doi.org/10.21272/jnep.16(6).06027).
15. Application of energy storage systems to enhance power system resilience: a critical review / M. U. Aslam et al. *Energies*. 2025. Vol. 18, no. 14. 3883. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18143883>.
16. Опришко В. П. Регулювання режимів електропостачання в локальних системах. *Технічна електродинаміка*. 2016. Т. 4. С. 77–79. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.077>.
17. Features of smart grid technologies introduction in the energy industry / V. Y. Lobodzinskiy et al. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2022. No. 4. P. 160–166. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/24>.
18. Гаєвський О. Ю., Гаєвська Г. М., Іванчук В. Ю. Резервна фотоелектрична станція в умовах періодичних відключень споживачів від електромережі. *Відновлювана енергетика*. 2023. № 1(72). С. 27–36. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1\(72\).27-36](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1(72).27-36).
19. Савченко Н. П., Довгалюк О. М., Трет'як А. В. Автономна Microgrid система для побутових споживачів на базі енергоефективних технологій з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*. 2025. № 1(10). С. 121–126. DOI: [https://doi.org/10.20998/erec.2025.1\(10\).332574](https://doi.org/10.20998/erec.2025.1(10).332574).
20. Савченко Н. П., Довгалюк О. М., Трет'як А. В. Побудова мікромереж з додатковою генерацією від мобільних електростанцій на базі відновлюваних джерел енергії. *Оптимальне керування електроустановками (OKEV-2025): збірник наукових праць VI Міжнародної науково-технічної конференції*, м. Вінниця, 22–23 жовт. 2025 р. Вінниця, 2025. С. 192–193.
21. Савченко Н. П., Трет'як А. В., Довгалюк О. М. Перспективи застосування мобільних електростанцій як джерел розосередженої генерації у локальних електричних мережах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2023. Т. 4, № 74. С. 63–66. DOI: <https://doi.org/10.26906/sunz.2023.4.063>.
22. Savchenko N., Dovgalyuk O., Tretiak A. Improving the energy efficiency of industrial enterprise's power supply system by relocating movable local microgrid based on mobile power plant. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. Cham, 2025. P. 533–544. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-84228-3_46.
23. Savchenko N., Dovgalyuk O., Tretiak A. Algorithms for controlling the modes of a highly efficient hybrid mobile power complex. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham, 2025. P. 473–485. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-94845-9_39.

References

1. A. Stasiv and I. Sysak, "Ensuring uninterrupted power supply to residential and small industrial consumers during blackouts," *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, no. 4 (355), pp. 593–601, Aug. 2025, doi: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-355-83>
2. N. Savchenko and O. Dovgaluk, "Principles of forming the optimal structure of the electric power system with the integrated use of distributed generation sources," *Energy Saving. Power Engineering. Energy Audit*, no. 9-10 (187-188), pp. 36–53, 2023, doi: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2023.09.02> (in Ukrainian)
3. O. M. Dovhaliuk, N. P. Savchenko, and A. V. Tretiak, "Інтелектуальне управління в локальних електричних мережах [Intelligent control in local electrical networks]," in *Information technologies: science, engineering, technology, education, health*, Kharkiv, Ukraine, May 22–24, 2024. Kharkiv: NTU «KhPI», 2024, p. 110. (in Ukrainian)
4. O. O. Dvornikov and I. V. Kovalenko, "Modeliuvannya roboty system bezperebiinoho zhyvlennia z vykorystanniam mikrokontroleriv [Modelling the operation of uninterruptible power supply systems using microcontrollers]," *Models and calculation methods*, no. 1(20), pp. 89–97, 2021. (in Ukrainian)
5. I. Aramendia, E. Zulueta, J. M. Lopez-Guede, D. Teso-Fz-Betoño, and U. Fernandez-Gamiz, "Optimization of the design and control system of a backup power system based on batteries and generator set," *Sustainability*, vol. 17, no. 5, Mar. 2025, Art. no. 2313, doi: <https://doi.org/10.3390/su17052313>
6. V. O. Petrov and S. A. Rudenko, "Інтелектуальні рішення для систем безперебійного живлення [Intelligent solutions for uninterruptible power supply systems]," *Automation systems and tools*, no. 2, pp. 102–110, 2022. (in Ukrainian)

7. M. Mattada, S. Fatima, V. Viswanatha, K. Rasika, and P. Vishwanath, "Smart power management system for uninterrupted power supplies (UPS) with priorities," *Global Transitions Proceedings*, vol. 3, no. 1, pp. 38–42, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2022.04.007>
8. V. D. Myndiuk and I. R. Vashchysyak, "The designing features for consumer energy supply systems based on photovoltaics," *Oil and Gas Power Engineering*, no. 1(43), pp. 126–137, Jun. 2025, doi: [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2025-1\(43\)-126-137](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2025-1(43)-126-137) (in Ukrainian)
9. A. E. Airobaman, S. T. Apeh, and U. A. Sanusi, "Design and simulation of an effective backup power supply for academic institutions in Nigeria: A case study of NDA postgraduate school," *Journal of Advances in Science and Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 13–19, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.37121/jase.v6i1.179>
10. T. V. Bibik, I. A. Ostapenko, and D. S. Feshchenko, "Power supply of the complex of engineering and technical means of the physical protection system in conditions of longterm power outages," *Power Engineering: Economics, Technique, Ecology*, no. 3, pp. 87–93, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2024.314610> (in Ukrainian)
11. Ye. Kosaretskyi, V. Sotnyk, and A. Sliusarenko, "Study of the impact of military actions on the national economy of Ukraine: Actual damage and loss," *Collection of Scientific Papers of the Center for Military and Strategic Studies of the National Defense University of Ukraine*, no. 2 (78), pp. 74–79, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2023-2-78/74-79> (in Ukrainian)
12. M. Y. Fedoriv, I. V. Hlad, and Y. V. Batsala, "Topical issues of implementation of backup power sources," *SW-US Conf. Proc.*, no. usc22-01, pp. 24–27, 2024. (in Ukrainian)
13. A. Hirsch, Y. Parag, and J. Guerrero, "Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 402–411, Jul. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>
14. V. O. Nebesniuk, O. Y. Nebesniuk, Z. A. Nikonova, and A. A. Nikonova, "Uninterrupted power supply system for network equipment," *Journal of Nano- And Electronic Physics*, vol. 16, no. 6, 2024, Art. no. 06027, doi: [https://doi.org/10.21272/jnep.16\(6\).06027](https://doi.org/10.21272/jnep.16(6).06027)
15. M. U. Aslam, M. S. Miah, B. M. R. Amin, R. Shah, and N. Amjady, "Application of energy storage systems to enhance power system resilience: A critical review," *Energies*, vol. 18, no. 14, Jul. 2025, Art. no. 3883, doi: <https://doi.org/10.3390/en18143883>
16. V. P. Opryshko, "Power supply mode control in the local microgrid system," *Tekhnichna Elektrodynamika*, no. 4, pp. 77–79, Jun. 2016, doi: <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.077> (in Ukrainian)
17. V. Y. Lobodzinskiy, M. P. Buryk, L. Y. Spinul, V. I. Chybelis, and O. A. Illina, "Features of smart grid technologies introduction in the energy industry," *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, no. 4, pp. 160–166, 2022, doi: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/24>
18. O. Gaevskii, A. Gaevska, and V. Ivanchuk, "Backup PV plant for periodic consumers power outages from grid," *Vidnovluvana energetika*, no. 1(72), pp. 27–36, Apr. 2023, doi: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1\(72\).27-36](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1(72).27-36) (in Ukrainian)
19. N. Savchenko, O. Dovgalyuk, and A. Tretiak, "Autonomous Microgrid system for domestic consumers based on energy-efficient technologies with renewable energy sources," *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, no. 1(10), pp. 121–126, Jul. 2025, doi: [https://doi.org/10.20998/erec.2025.1\(10\).332574](https://doi.org/10.20998/erec.2025.1(10).332574) (in Ukrainian)
20. N. P. Savchenko, O. M. Dovhaliuk, and A. V. Tretiak, "Pobudova mikromerezh z dodatkovoiu heneratsiieiu vid mobilnykh elektrostantsii na bazi vidnovliuvanykh dzherel enerhii [Construction of microgrids with additional generation from mobile power stations based on renewable energy sources]," in *Optimal Control of Electrical Installations*, Vinnytsia, Ukraine, Oct. 22–23, 2025. Vinnytsia: VNTU, 2025, pp. 192–193. (in Ukrainian)
21. N. Savchenko, A. Tretiak, and O. Dovgalyuk, "Perspectives of application of mobile power plants as sources of distributed generation in local electrical networks," *Control, Navigation and Communication Systems*, vol. 4, no. 74, pp. 63–66, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.26906/sunz.2023.4.063> (in Ukrainian)
22. N. Savchenko, O. Dovgalyuk, and A. Tretiak, "Improving the energy efficiency of industrial enterprise's power supply system by relocating movable local microgrid based on mobile power plant," in *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. Cham: Springer Nat. Switz., 2025, pp. 533–544, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-84228-3_46
23. N. Savchenko, O. Dovgalyuk, and A. Tretiak, "Algorithms for controlling the modes of a highly efficient hybrid mobile power complex," in *Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham: Springer Nat. Switz., 2025, pp. 473–485, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-94845-9_39

Надійшло (received) 10.12.2025

UDC 621.311

NATALIA SAVCHENKO ✉ – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Associate Professor of the Department of Mechatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7046-0633>; e-mail: natali_a_savchenko@ukr.net.

OKSANA DOVGALYUK – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Professor of the Department of Electric Power Transmission, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1994-619X>; e-mail: Oksana.Dovhaliuk@khipti.edu.ua.

BACKUP POWER SUPPLY SYSTEMS FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES WITH MICROGENERATION FROM MOBILE POWER PLANTS USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

The article is devoted to the issue of developing an improved structure for the backup power supply system for industrial enterprises, which is very relevant for the current state of the electric power industry in Ukraine. In conditions of unstable power supply caused by the destruction of the country's energy infrastructure, backup power systems are increasingly being used to ensure guaranteed and uninterrupted power supply to various groups of electricity consumers. This issue is most critical for industrial enterprises, as it requires an effective solution due to the serious and dangerous consequences of forced power outages. The article substantiates that the introduction of backup power supply systems to existing power supply systems of industrial enterprises contributes to the prevention of such situations, which additionally facilitates the simplification of the integration of renewable sources of distributed generation into the enterprise's power grid, as well as ensuring redundancy and improving power balancing in the studied power supply systems. An analysis of the existing and most common schemes for implementing backup power supply systems as part of the power supply systems of industrial enterprises was conducted. The combined use of backup power systems and alternative energy sources in the intellectualisation of the control process for such facilities is the basis for the implementation of microgrid technology in the power supply of modern industrial enterprises. The modernisation of power supply systems through the construction of a microgrid structure increases the reliability of energy supply for both individual and group consumers of industrial enterprises. Based on the analysis of the characteristics of backup power supply systems, the authors propose the implementation of a local low-voltage 0.4 kV microgrid 4 kV local microgrid using stationary solar power plants and mobile hybrid power plants as distributed generation sources to provide additional microgeneration and power balancing at various points of the industrial enterprise's power supply system. The results of the research into the operating modes of the developed hybrid backup power supply system with microgeneration from mobile power plants using alternative energy sources demonstrate the feasibility and energy efficiency of the proposed solution, proving the prospects for further development and implementation of modern technological solutions in the implementation of backup power supply systems at industrial enterprises.

Keywords: power supply system; backup power system; microgrid; renewable energy sources; solar power plant; hybrid mobile power plant; operating mode; generation.