

ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

DOI 10.33099/2786-7714-2025-2-9-64-70

УДК 620.91:621.311.25:355.45

¹Курочкін Валерій Вікторович
<https://orcid.org/0009-0005-7536-4399>

²Іванов Василь Іванович
<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

²Целіщев Юрій Павлович (кандидат технічних наук, доцент)
<https://orcid.org/0000-0002-6308-4024>

¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси, Україна

²Національний університет оборони України, Київ, Україна

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В КОНТЕКСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ЧАСТИНАХ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

З початком повномасштабного вторгнення російської федерації в Україну перед Повітряними Силами Збройних Сил України постали критичні виклики в електропостачанні озброєння та військової техніки, спричинені атаками на енергетичну інфраструктуру.

В статті досліджується потенціал розвитку та впровадження альтернативних або відновлюваних джерел енергії. Розглянуті основні напрямки освоєння відновлювальних джерел енергії в Україні, а саме вітрову, сонячну, геотермальну енергію, енергію малих річок та біомаси. Ці джерела мають значний технічно-досяжний електроенергетичний потенціал. Зазначено переваги та недоліки кожного виду відновлювальних джерел енергії, такі як невичерпність та екологічність сонячної енергії, відсутність витрат на паливо, можливість використання відходів для біогазових установок та стабільність мікро гідроелектростанцій. Водночас враховано такі недоліки, як низька густина потужності, залежність від погодних умов, високі капіталовкладення та потенційний вплив на навколишнє середовище.

Мета статті – на основі аналізу альтернативних джерел електричної енергії визначити актуальність їх використання для частин Повітряних Сил Збройних Сил України в польових та стаціонарних умовах в якості як резервних джерел живлення, так і основних.

За результатами аналізу альтернативних джерел електричної енергії запропоновано їх використання для військових частин Повітряних Сил Збройних Сил України, як резервні джерела живлення, що доповнюють традиційні, через їхню залежність від зовнішніх умов.

Ключові слова: альтернативні джерела електричної енергії, відновлювальні джерела електричної енергії, електропостачання, енергоозброєність.

Вступ

Від початку повномасштабного вторгнення російської федерації в Україну електропостачання озброєння та військової техніки (ОВТ) в Збройних Силах України стоїть перед низкою критичних викликів, що зумовлюють нагальну потребу в розвитку та впровадженні альтернативних, або відновлюваних, джерел енергії (ВДЕ). Це насамперед пов'язано з постійними атаками ворога на об'єкти енергетики України, що вплинуло на стабільність і якість електропостачання від проммереж об'єктів Сил оборони України. Крім того, зростання кількості електроспоживачів призводять до виснаження резервів наявних систем живлення.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває дослідження можливостей використання альтернативних джерел електричної енергії (АДЕЕ) для енергозабезпечення об'єктів Повітряних Сил Збройних Сил України. Основними напрямками розвитку АДЕЕ в Україні є сонячна, вітрова,

геотермальна енергетика, мікро гідроелектростанції, а також біоенергетика – зокрема, використання біомаси.

До ключових переваг ВДЕ належать їх невичерпність, екологічність, а також потенційна автономність, що надзвичайно важливо в умовах агресії російської федерації. Основними електротехнічними характеристиками, які визначають якість виробленої енергії, є потужність, напруга та частота. За цими параметрами електроенергія з ВДЕ відповідає державним стандартам. У той же час, технічні характеристики окремих типів установок суттєво відрізняються між собою залежно від конструкції та принципу дії, що слід враховувати при їх інтеграції в існуючу енергосистему військових об'єктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показує, що сучасні концепції розвитку військової електроенергетики спрямовані на створення нових, більш ефективних засобів електропостачання, що відповідають тенденціям функціонування військових

частин (підрозділів).

Тенденції розвитку ОВТ Повітряних Сил Збройних Сил України передбачають підвищення їхньої енергоозброєності, а окремі військові об'єкти потребують підвищення надійності електропостачання та незалежності від зовнішніх джерел [1]. Разом з тим, незважаючи на розгляд загальних вимог до автономних джерел енергії в [2] висвітлено питання застосування саме мобільних альтернативних джерел живлення підрозділами поза пунктами постійної дислокації.

Частина досліджень [3], присвячена аналізу досвіду провідних армій світу, зокрема США, Ізраїлю та ФРН, у впровадженні АДЕЕ на основі фотоелектричних перетворювачів. Проте, як зазначається у [4], інформація про розробку та випробування таких систем є обмеженою і переважно базується на даних з виставок та інтернет-публікацій, оскільки ці проєкти перебувають на початкових етапах реалізації. Це свідчить про необхідність подальших досліджень для адаптації та прийняття на озброєння подібних систем у Збройних Силах України.

Окремий напрямок досліджень [2] стосується технічних та економічних аспектів застосування АДЕЕ безпосередньо в умовах України. Науковці аналізують вітровий та сонячний потенціал різних регіонів країни та пропонують конкретні рішення, такі як мобільні сонячні електростанції розробки Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Водночас автори наголошують, що наявні АДЕЕ, через залежність їхньої потужності від умов навколишнього середовища та складності дотримання вимог живучості та прихованості, не можуть вважатися основними джерелами для комплексів озброєння.

До того ж, безперерйність постачання електричної енергії на об'єкти критичної інфраструктури військового призначення, такі як бази, склади, арсенали зберігання засобів ураження, ремонтні підприємства (підрозділи) тощо має критично важливе значення для підтримання їх живучості, бойової готовності та забезпечення захисту від виникнення надзвичайних ситуацій [5-9].

Таким чином, незважаючи на значний інтерес до теми, залишається актуальною проблема розробки пропозицій щодо можливостей застосування АДЕЕ для підвищення надійності електропостачання та енергетичної незалежності військових.

Матеріали та методи

Дослідження АДЕЕ щодо можливості їх використання в польових та стаціонарних умовах як в якості основних, так і резервних джерел живлення в частинах Повітряних Сил Збройних Сил України проведено методами аналізу та порівняння.

Результати

Станом на 2024 рік річний технічно-досяжний електроенергетичний потенціал ВДЕ в Україні становив:

енергія Сонця: 82768 МВт встановленої потужності, 99323 млн кВт·год/рік середньорічного виробітку;

енергія вітру (з урахуванням територіальних вод та внутрішніх водойм): 688000 МВт встановленої потужності, 2173770 млн кВт·год/рік середньорічного виробітку;

енергія малих річок: 376 МВт встановленої потужності, 1272 млн кВт·год/рік середньорічного

виробітку;

Геотермальна енергія: 10810 МВт встановленої потужності, 80494 млн кВт·год/рік середньорічного виробітку;

Енергія біомаси: 92078 МВт встановленої потужності, 362161 млн кВт·год/рік середньорічного виробітку.

Всього: 874 тис. МВт встановленої потужності, 2717 млрд кВт·год/рік середньорічного виробітку [10].

Розглянемо детальніше кожен вид АДЕЕ.

Сонячна енергія є одним із найдоступніших і практично невичерпних відновлюваних енергетичних ресурсів, ефективне використання якого можливе у більшості регіонів світу. Завдяки різним технологіям її можна безпосередньо перетворювати на електричну енергію – за допомогою фотоелектричних установок, або на теплову енергію – за допомогою сонячних колекторів. Також можливе комбіноване виробництво електричної та теплової енергії в єдиній системі.

Сьогодні розрізняють два основних методи перетворення сонячної енергії:

фототермічний (тепловий);

фотоелектричний (електричний).

У фототермічному методі, який вважається технологічно простішим, теплоносієм (найчастіше вода або антифриз) нагрівається в сонячному колекторі до заданої температури, після чого використовується для опалення або гарячого водопостачання.

У фотоелектричному методі сонячне випромінювання перетворюється на електроенергію за допомогою фотоелементів, об'єднаних у фотоелектричні панелі. Цей принцип широко застосовується для живлення окремих об'єктів або в складі автономних і гібридних систем енергопостачання.

Потужність сонячної панелі вимірюється за формулою

$$P = EA\eta \quad (1)$$

де P – вихідна потужність сонячної панелі (Вт);

E – інтенсивність сонячного випромінювання (інсоляція), що падає на поверхню панелі (Вт/м²);

A – площа поверхні сонячної панелі (м²);

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) фотоелектричних елементів (зазвичай 15-22%).

Зазначена формула прямо пов'язана з недоліками сонячної енергетики, а саме низькою питомою потужністю на одиницю площі та залежністю від погодних умов (змінна інтенсивність випромінювання). Тепер стає зрозуміло, що для досягнення значної потужності потрібні великі площі, що є критичним фактором для військових об'єктів з огляду на вимоги до скритності та живучості.

Переваги сонячної енергетики:

практично невичерпне джерело енергії;
екологічна чистота (відсутність викидів шкідливих речовин);
відсутність витрат на паливо;
можливість автономного застосування в польових умовах.

Недоліки сонячної енергетики:
низька питома потужність (на одиницю площі);
залежність від погодних умов і зміни інтенсивності сонячного випромінювання;
високі витрати на накопичення та зберігання енергії (акумулятори, буферні ємності);
значні капітальні витрати на створення інфраструктури.

Вітрова турбіна (ВТУ) — це електротехнічний пристрій, призначений для перетворення кінетичної енергії повітряних мас у механічну, а далі — в електричну енергію. Вона є основним елементом вітрової електростанції та належить до відновлюваних джерел енергії, оскільки вітер як природне явище відновлюється без людського втручання.

Існуючі ВТУ класифікуються за конструктивними ознаками, зокрема за положенням вітрового колеса у повітряному потоці. Розглянемо їх основні види.

Крильчаті ВТУ, до цього класу належать турбіни, в яких вісь обертання вітрового колеса розташована паралельно до напрямку вітру. Площина обертання вітрового колеса — вертикальна, тобто перпендикулярна до вітрового потоку. Такі турбіни мають високу ефективність за умов постійного напрямку і швидкості вітру та здебільшого використовуються в промислових установках.

ВТУ з вертикальною віссю обертання. У цьому класі турбін вісь обертання розташована вертикально, а самі турбіни менш чутливі до змін напрямку вітру. До підгруп цього класу належать:

карусельні ВТУ, в яких лопаті можуть бути частково захищені екраном або орієнтовані ребром проти вітру;

ВТУ з ротором Савоніуса, що використовують переважно силу лобового опору для обертання.

Вертикальні конструкції зручні для встановлення у міських умовах та на дахах будівель, однак мають нижчий коефіцієнт корисної дії порівняно з крилатими турбінами.

Барабанні ВТУ. Ці турбіни функціонують за принципом водяного млина: вісь обертання горизонтальна та перпендикулярна до напрямку вітру. Вони відзначаються простотою конструкції, але поступаються іншим класам за енергоефективністю. Барабанні турбіни застосовуються переважно в малопотужних установках.

В [14-19] наведені комплексні технічні вимоги та аспекти безпеки вітроенергетичних установок. Критично важливими питаннями є наявність незалежних систем керування та захисту, що забезпечують безпечне функціонування та автоматичне зупинення установки в аварійних ситуаціях.

Серед основних переваг використання вітрових турбін варто зазначити:

відсутність шкідливих викидів та забруднень;
відсутність витрат на паливо;
низький рівень експлуатаційних витрат після встановлення обладнання.

Фундаментальною для розуміння потенціалу вітроенергетики є формула потужності ВТУ

$$P = 0,5\rho AV^3 C_p \quad (2)$$

де P — потужність, що генерується турбіною (Вт);

ρ — густина повітря (приблизно 1.225 кг/м³ на рівні моря);

A — площа, яку охоплюють лопаті ротора (м²), розраховується як $A = \pi R^2$, де R — радіус лопаті;

V — швидкість вітру (м/с);

коефіцієнт потужності (або коефіцієнт використання енергії вітру),

C_p — безрозмірна величина, що показує ефективність турбіни (теоретична межа становить 0,593 — межа Беца).

Ця формула демонструє ключову залежність потужності від швидкості вітру (у кубічній залежності), що підкреслює один із головних недоліків вітроенергетики — нестабільність генерації. Також вона демонструє, чому для військових об'єктів важливий ретельний аналіз вітрового потенціалу конкретної місцевості

Отже галузь вітроенергетики має низку недоліків:

низька питома потужність;
нестабільність генерації через змінну швидкість вітру;

необхідність дорогих систем акумулювання енергії;

прояв екрануючого ефекту, що впливає на рух повітря біля земної поверхні;

порушення режиму випаровування вологі;
ризиків для птахів, особливо перелітних, та комах;

можливі локальні кліматичні зміни;

шумовий вплив та низькочастотні коливання;

візуальне навантаження на ландшафт, що викликає відторгнення у мешканців;

електромагнітні перешкоди для радіо- і телесигналів;

відчуження сільськогосподарських земель.

Енергія біомаси є найдавнішим джерелом енергії, що використовується людиною. Поки промислова революція не спонукала до переходу на викопне паливо в середині 18 століття, енергія біомаси була домінуючим у світі джерелом палива. Використовувалося пряме спалювання твердої біомаси для забезпечення енергією для опалення, приготування їжі та навіть вироблення електроенергії. Найпоширенішим джерелом прямого горіння є деревина, але енергія також може генеруватися спалюванням гною тварин (гною), трав'янистої рослинної сировини (недеревного), торфу (частково розкладеної рослинної та

тваринної тканини) або переробленої біомаси тощо. [11]

З огляду на сприятливе географічне розташування, значний агропромисловий потенціал та доступність біомасової сировини, Україна має передумови для активного розвитку біоенергетики. Щорічно земна поверхня поглинає $5,2 \cdot 10^{23}$ Дж сонячної енергії. Усі створені людиною енергосистеми використовують незначну частину цієї енергії. [12]

Останнім часом в Україні починає активно застосовуватись газифікація твердого палива, зокрема деревної біомаси. Для отримання генераторного газу використовують автономні газогенераторні установки, сировиною для яких можуть бути відходи деревини, пелети, тріска тощо. [13]

Можливо відмітити наступні переваги біогазових електростанцій:

- максимальне використання відходів життєдіяльності військової частини;
- відносно швидка окупність капітальних вкладень.

Одним із невирішених питань технології газифікації є проблема утилізації конденсату, який містить шкідливі для оточуючого середовища органічні речовини. Такий конденсат потрібно очищувати перед його викидом у водоймища або водотоки. Зазвичай промислові стоки спочатку очищуються фізико-хімічними, а потім, за необхідності, й біологічними способами. Це потребує значних капітальних вкладень, пов'язаних із будівництвом та функціонуванням очисних споруд і не забезпечує необхідного ступеню очистки. [13]

Як показують розрахунки, в Україні є велика кількість річок з витратою води $2 \text{ м}^3/\text{с}$, що є достатнім для роботи турбін, на яких можна встановити каскад мікро гідроелектростанцій.

Мікро гідроелектростанції (мікро ГЕС) могли б забезпечувати електроенергією військові частини, що знаходяться в гірських місцевостях, і інші видалені точкові об'єкти.

Впровадження енергозберігаючих заходів може дозволити скоротити на 25-80% споживання електричної енергії на існуючих інженерних військових об'єктах, що розташовані в гірських місцевостях України та поліпшити там екологічну обстановку.

Виробництво мікро ГЕС в Україні було налагоджено на Харківському підприємстві "Турбоатом".

Потужність мікро ГЕС визначається за формулою

$$P = \eta \rho g Q H \quad (3)$$

- де P – потужність гідроелектростанції (Вт);
- η – ККД турбіни та генератора (зазвичай 0.7-0.9);
- ρ – густина води (приблизно $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$);
- g – прискорення вільного падіння ($\approx 9.81 \text{ м}/\text{с}^2$);
- Q – витрата води через турбіну ($\text{м}^3/\text{с}$);

H – напір (різниця висот між рівнями води, м).

Стає зрозумілим, що потужність мікро ГЕС залежить від відносно стабільних параметрів (витрати води та напору), що в свою чергу підтверджує стійку подачу електроенергії та практичну відсутність залежності від погоди та часу доби.

Переваги використання мікро ГЕС:

- відсутнє порушення природного ландшафту та навколишнього середовища в процесі будівництва та на етапі експлуатації;

- практично відсутня залежність від погодних умов та часу доби;

- забезпечується стійка подача електроенергії споживачеві в будь-яку пору року. [10]

Недоліки:

- в багатьох випадках віддаленість річок від зони розташування військових об'єктів;

- зменшується проточність та турбулентність води;

- скорочується водообмін;

- створення застійних зон;

- гідрохімічний склад води змінюється та утворюються сприятливі умови для зростання кількості водоростей;

- зміна циркуляції вод, поява регіональних і біологічних аномалій під впливом гідродинамічних і теплових збурень [10].

Геотермальна енергія – це теплова енергія, що виділяється в результаті природних процесів у надрах Землі. Використовується для опалення, гарячого водопостачання та виробництва електроенергії, часто за допомогою бінарного органічного циклу Ренкіна або циклу Каліні.

В Україні існують значні геотермальні ресурси, зокрема у Закарпатському прогині та вздовж узбережжя Чорного моря. Інститут відновлювальної енергетики Національної академії наук України створив електронну базу геотермальних об'єктів України, що налічує понад 600 вироблених або непродуктивних газових та нафтових свердловин у 12 областях, які можуть бути використані в геотермальній енергетиці.

На відміну від інших ВДЕ, темпи нарощування виробничих потужностей геотермальної енергетики в Україні значно повільніші, що пов'язано з додатковими початковими капітальними витратами [10].

Обговорення

В умовах розвитку Повітряних Сил Збройних Сил України спостерігається тенденція до нарощування енергетичного потенціалу та впровадження новітніх систем електропостачання. Забезпечення надійного постачання електроенергії для стаціонарних та польових об'єктів Повітряних Сил Збройних Сил України, зокрема арсеналів, баз, складів, пунктів управління є важливим фактором підтримання бойової готовності військ.

Військові об'єкти висувають особливі вимоги до енергозабезпечення, серед яких ключовими є: висока живучість систем;

захищеність від завад;
підвищена скритність.

Досягнення необхідного рівня цих характеристик вимагає впровадження комплексу спеціальних технічних і тактичних заходів.

Незважаючи на зацікавленість у впровадженні АДЄЕ, таких як вітрові чи сонячні електростанції, вони не можуть розглядатися як основні або гарантовані джерела електропостачання військових об'єктів через їх залежність від природних умов. Зокрема, змінна інтенсивність вітру або обмеження інсоляції у певних регіонах унеможливають стабільне та безперервне енергозабезпечення в умовах бойових дій.

Висновки

Перехід до децентралізованих відновлюваних джерел енергії є не просто бажаним екологічним чи економічним кроком, він забезпечить стійкість до атак, дозволить зменшити зовнішні залежності та значно підвищить ефективність та живучість частин та підрозділів Повітряних Сил Збройних Сил України. Оскільки багато поточних ініціатив України у сфері АДЄЕ реалізуються на цивільній критичній інфраструктурі, розробка пропозицій щодо застосування АДЄЕ на об'єктах Повітряних Сил Збройних Сил України є актуальною.

Найбільш доцільними для застосування на об'єктах Повітряних Сил Збройних Сил України АДЄЕ є сонячні та вітрові. При цьому слід мати на увазі виконання вимог живучості та скритності, а також особливості регіонального розташування об'єктів енергопостачання.

Отже, аналізуючи різноманітні існуючі моделі функціонування систем експлуатації, відновлення, зберігання ОВТ [20-22] виникає необхідність щодо інтегрування в них підсистем, які відповідають за безперебійність їх функціонування в різноманітних складних, як природних, техногенних, так і бойових умовах. Це дозволить з більшою ефективністю виконувати функціональні завдання, що, в цілому, призведе до підвищення їх ефективності. Зазначене може визначати подальший розвиток цього напрямку.

Таким чином, на основі проведення аналізу альтернативних джерел електричної енергії в контексті їх використання в частинах Повітряних Сил Збройних Сил України доцільно провести дослідження використання сонячних та вітрових електростанцій на аеродромах авіації, частинах та підрозділах зенітних ракетних військ та радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України.

Список використаних джерел

1. Г. І. Лагутін, А. О. Столяров, П. В. Тимошенко, О. О. Юр'єв “Способи застосування альтернативних джерел електричної енергії для електропостачання військових частин (підрозділів)”, Збірник наукових праць ХНУПС № 2(64), с. 120–127, 2020, DOI: 10.30748/zhups.2020.64.17. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/view/281>.
2. О. О. Казіміров, Р. О. Гончар, К. В. Власов, І. Л. Костенко “Аналіз існуючих систем, призначених для забезпечення живлення індивідуальних технічних

засобів військовослужбовця в польових умовах”, Збірник наукових праць ХНУПС № 2 (72), с. 57–64, 2022, DOI: 10.30748/zhups.2022.72.09. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/view/1194>.

3. Д. М. Шателюк Розробка мобільної сонячної електростанції для потреб Збройних Сил України в польових умовах, кваліфікаційна робота, Поліський Національний університет, Житомир, 2020. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/11267>.

4. С. А. Степенко, К. В. Башинський “Оцінка можливості використання альтернативних джерел енергії на основі фотоелектричних перетворювачів у Збройних Силах України”, Системи озброєння і військова техніка № 4 (48), с. 50–56, 2016. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2016_4_13.

5. О. Avramenko, V. Polischuk, M. Pidhorodetskyi, A. Salii, O. Salii, “Determination of the optimal technical servicing periodicity of samples of aerodrome construction equipment”, Strength Mater. Theory Struct., № 107, с. 265–280, жовт. 2021. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.265-280>.

6. Р. Openko, V. Bychenkov, V. Polischuk, M. Pidhorodetskyi, A. Salii та O. Salii, “Development of mathematical models of process of change of the technical condition of samples of building technique is during realization of strategy of technical exploitation according to condition”, Strength Mater. Theory Struct., № 110, с. 375–392, черв. 2023. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.375-392>.

7. Ю. Сарапін, О. Авраменко, В. Іванов та О. Федоров, “Підвищення ефективності захисту об'єктів зберігання боєприпасів (авіаційних засобів ураження) від виникнення надзвичайних ситуацій шляхом удосконалення умов зберігання”, Повітр. міць України, т. 2, № 5, с. 51–57, груд. 2023. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-2-5-51-57>.

8. О. Авраменко, Ю. Сарапін, П. Яблонський та О. Федоров, “Визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування системи пожежної сигналізації та оповіщення на військових об'єктах зберігання боєприпасів (авіаційних засобів ураження)”, Повітр. міць України, т. 2, № 7, с. 96–105, груд. 2024. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2024-2-7-96-105>.

9. М. Дивізінюк, В. Мірненко, і В. Поліщук, «Використання методів аналізу ризику стосовно терористичних загроз на об'єктах критичної інфраструктури, що охороняються», JSPSDS, вип. 12, вип. 4, с. 119-128, Сер 2022. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.4.11>

10. А. А. Барило, М. Бенменні, Д. В. Бондаренко, М. О. Будько, В. І. Будько, П. Ф. Васько, Дідківська Г. Г., Дяченко О. С., Жовмір М. М., Зур'ян О. В., Іванченко І. В., Іванчук В. Ю., Кармазін О. А., Клюс В. П., Коханевич В. В., Коханевич В. П Відновлювані джерела енергії: Монографія. Київ, Україна, Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2024.

11. C. Zehnder, K. Manoylov, S. Mutiti, C. Mutiti, A. VandeVoort, D. Bennett Introduction to Environmental Science. Open Textbook Georgia College and State University, USA, 2018 14 трав. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://oer.galileo.usg.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=biology-textbooks>.

12. М. І. Федорчук, С. В. Коковіхін, С. М. Каленська, Д. Б. Рахметов, В. Г. Федорчук, І. М. Філіпова, С. Д. Рахметов, О. А. Коваленко, А. В. Дробітько, А. В. Панфілова Агротехнологічні аспекти вирощування

енергетичних культур в умовах півдня України: Навчальний посібник. Херсон, Україна, ВДНЗ “Херсонський державний аграрний університет”, 2017.

13. Г.О. Четверик “Енергоефективне перетворення рідких відходів газифікації біомаси в біогазовій установці”, дис. канд. техн. наук, НАН України, Інститут відновлюваної енергетики, Київ, 2018. Дата звернення: 18 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Dis-Chetveryk.pdf>.

14. Вітроенергетика. Установки електричні вітрові. Загальні технічні вимоги. ДСТУ 4037-2001. Держстандарт України, Київ, Україна, 2001.

15. Вітроенергетика. Станції електричні вітрові. Загальні технічні вимоги. ДСТУ 4051-2001. Держстандарт України, Київ, Україна, 2001.

16. Вітроенергетика. Установки електричні вітряні малої потужності. Загальні технічні вимоги. ДСТУ 4859:2007. Держспоживстандарт, Київ, Україна, 2009.

17. Системи турбогенераторні вітряні. Частина 1: Вимоги безпеки. (ІЕС61400-1:1999, ІДТ). ДСТУ ІЕС 61400-1-2001. Держспоживстандарт, Київ, Україна, 2003.

18. Системи турбогенераторні вітряні. Частина 2: Вимоги безпеки малих вітряних турбін. (ІЕС61400-2:1996, ІДТ). ДСТУ ІЕС 61400-2-2001. Держстандарт України, Київ, Україна, 2002.

19. Системи турбогенераторні вітряні. Частина 11: Методика вимірювання акустичного шуму. (ІЕС61400-1:199, ІДТ). ДСТУ ІЕС 61400-11-2001. Держспоживстандарт, Київ, Україна, 2003.

20. В. П. Диптан, П. М. Яблонський, Д. І. Дуленко, В. В. Поліщук та О. О. П’явчук, “Обґрунтування застосування дифузійно-немонотонного розподілу у якості моделі відмов авіаційних засобів ураження”, Повітр. міць України, т. 1, № 1, с. 70–72, груд. 2021. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2021-1-1-70-72>.

21. П. М. Яблонський, Ю. П. Целіщев, О. В. Авраменко, Ю. М. Косков, В. І. Іванов та О. О. П’явчук, “Оцінка надійності системи, що працює в двох змінних режимах використання”, Повітр. міць України, т. 1, № 1, с. 77–79, груд. 2021. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2021-1-1-77-79>.

22. В. Поліщук, А. Салій, Ю. Целіщев, В. Іванов та Ю. Косков, “Обґрунтування математичної моделі функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки Повітряних Сил в умовах швидкої зміни обстановки”, Повітр. міць України, т. 1, № 1(2), с. 61–64, верес. 2022. Дата звернення: 16 вер. 2025. [Онлайн]. Доступно: [https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1\(2\)-61-64](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1(2)-61-64).

¹Valerii Kurochkin

<https://orcid.org/0009-0005-7536-4399>

²Vasyl Ivanov

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

²Yurii Tselitshev (Candidate of Technical Sciences, Associated Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6308-4024>

¹State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine

²The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ALTERNATIVE SOURCES OF ELECTRIC ENERGY IN THE CONTEXT OF THEIR USE IN THE UNITS OF THE AIR FORCE OF UKRAINE

Since the beginning of the invasion of Ukraine by the Russian Federation, the Air Force of Ukraine has faced critical challenges in the power supply of weapons and military equipment caused by attacks on energy infrastructure.

The article explores the potential for the development and implementation of alternative or renewable energy sources. The main directions of development of renewable energy sources in Ukraine are considered, namely wind, solar, geothermal, small river and biomass energy. These sources have significant technically achievable electricity potential, with the greatest potential in wind and solar energy. The advantages and disadvantages of each type of renewable energy source, such as the inexhaustibility and environmental friendliness of solar energy, the absence of fuel costs, the possibility of using waste for biogas plants, and the stability of micro-hydroelectric power plants, are noted. At the same time, disadvantages such as low power density, dependence on weather conditions, high capital investment, and potential environmental impact are taken into account.

The purpose of the article is to determine, on the basis of the analysis of alternative sources of electric energy, the relevance of their use for units of the Air Force of Ukraine in the field and stationary conditions as backup power sources and as the main ones.

Based on the results of the analysis of alternative sources of electric energy, it is proposed to use them for military units of the Air Force of Ukraine as backup power sources that complement the traditional ones due to their dependence on external conditions.

Keywords: alternative sources of electric energy, renewable sources of electric energy, power supply, energy intensit

References

1. Gh. I. Laghutin, A.O. Stoljarov, P.V. Tymoshenko, O.O. Jur'jev "Sposoby zastosuvannya al'ternatyvnykh dzherel elektrychnoi energiji dlja elektropostachannya vijskovykh chastyn (pidrozdiliv)", Zbirnyk naukovykh pracj KhNUPS # 2(64), s. 120–127, 2020, DOI: 10.30748/zhups.2020.64.17. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/view/281>.
2. O. O. Kazimirov, R. O. Ghonchar, K. V. Vlasov, I. L. Kostenko "Analiz isnujuchykh system, pryznachenykh dlja zabezpechennja zhyvlennja indyvidualnykh tekhnichnykh zasobiv vijskovosluzhbovcja v poljovykh umovakh", Zbirnyk naukovykh pracj KhNUPS # 2 (72), s. 57–64, 2022, DOI: 10.30748/zhups.2022.72.09. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/view/1194>.
3. D. M. Shateljuk Rozrobka mobiljnoji sonjachnoji elektrostanciji dlja potreby Zbrojnykh Syl Ukrainy v poljovykh umovakh, kvalifikacijna robota, Polisskij Nacionalnij universytet, Zhytomyr, 2020. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/11267>.
4. S. A. Stepenko, K. V. Bashynskij "Ocinka mozhlivosti vykorystannja al'ternatyvnykh dzherel energijina osnovi fotoelektrychnykh peretvorjuvachiv u Zbrojnykh Sylakh Ukrainy", Systemy ozbrojennja i vijskova tekhnika # 4 (48), s. 50–56, 2016. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2016_4_13.
5. O. Avramenko, V. Polischuk, M. Pidhorodetskyi, A. Salii, O. Salii, "Determination of the optimal technical servicing periodicity of samples of aerodrome construction equipment", Strength Mater. Theory Struct., № 107, c. 265–280., 2021. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.265-280>.
6. P. Openko, V. Bychenkov, V. Polischuk, M. Pidhorodetskyi, A. Salii ta O. Salii, "Development of mathematical models of process of change of the technical condition of samples of building technique is during realization of strategy of technical exploitation according to condition", Strength Mater. Theory Struct., № 110, c. 375–392, 2023. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.375-392>.
7. Ju. Sarapin, O. Avramenko, V. Ivanov ta O. Fedorov, "Pidvyshhennja efektyvnosti zakhystu ob'ektiv zberighannja bojeprypasyv (aviacijnykh zasobiv urazhennja) vid vynyknennja nadzvychajnykh situacij shljakom udoskonalennja umov zberighannja", Povitr. Micj Ukrainy, t. 2, # 5, s. 51–57., 2023. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-2-5-51-57>.
8. O. Avramenko, Ju. Sarapin, P. Jablonskij ta O. Fedorov, "Vyznachennja optymaljnoji periodychnosti tekhnichnogho obslughovuvannja systemy pozhezhnoji syghnalizaciji ta opovishhuvannja na vijskovykh ob'ektakh zberighannja bojeprypasyv (aviacijnykh zasobiv urazhennja)", Povitr. Micj Ukrainy, t. 2, # 7, s. 96–105, 2024. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2024-2-7-96-105>.
9. M. Dyvizinuk, V. Mirnenko, i V. Polishhuk, «Vykorystannja metodiv analizu ryzkyu stosovno terorystychnykh zagroz na ob'ektakh krytychnoji infrastruktury, shho okhoronjajutsja», JSPSDS, vyp. 12, vyp. 4, s. 119–128, 2022 Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.4.11>.
10. A. A. Barylo, M. Benmenni, D. V. Bondarenko, M.O. Budjko, V.I. Budjko, P.F. Vasjko, Didkivjska Gh. Gh., Djjachenko O. S., Zhovmir M. M., Zur'jan O. V., Ivanchenko I. V., Ivanchuk V. Ju., Karmazin O. A., Kljus V. P., Kokhanjevych V. V., Kokhanjevych V. P Vidnovljuvani dzherela energiji: Monohrafija. Kyiv, Ukraine, Instytut vidnovljuvanoi energhetiky NAN Ukrainy, 2024.
11. C. Zehnder, K. Manoylov, S. Mutiti, C. Mutiti, A. VandeVoort, D. Bennett Introduction to Environmental Science. Open Textbook Georgia College and State University, USA, 2018 14 trav. 2025. [Онлайн]. Доступно: <https://oer.galileo.usg.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=biology-textbooks/>
12. M. I. Fedorchuk, S.V. Kokovikhin, S.M. Kalensjka, D.B. Rakhmetov, V.Gh. Fedorchuk, I.M. Filipova, S.D. Rakhmetov, O.A. Kovalenko, A.V. Drobitjko, A.V. Panfilova Aghrotekhnologichni aspekty vyroshhuvannja energhetychnykh kul'tur v umovakh pivdnja Ukrainy: Navchalnij posibnyk. Kherson, Ukraine, VDNZ "Khersonskij derzhavnyj aghrarnyj universytet", 2017.
13. Gh.O. Chetveryk "Energhoefektyvne peretvorennja ridkykh vidkhodiv ghazyfikaciji biomasy v bioghazovij ustanovci", dys. kand. tekhn. nauk, NAN Ukrainy, Instytut vidnovljuvanoi energhetiky, Kyiv, 2018. Date of application: 18 sep. 2025. [Online]. Available: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Dis-Chetveryk-.pdf>.
14. Vitroenerghetyka. Ustanovky elektrychni vitrovi. Zaghaljni tekhnichni vymoghy. DSTU 4037-2001. Derzhstandart Ukrainy, Kyiv, Ukraine, 2001.
15. Vitroenerghetyka. Stanciji elektrychni vitrovi. Zaghaljni tekhnichni vymoghy. DSTU 4051-2001. Derzhstandart Ukrainy, Kyiv, Ukraine, 2001.
16. Vitroenerghetyka. Ustanovky elektrychni vitrjani maloji potuzhnosti. Zaghaljni tekhnichni vymoghy. DSTU 4859:2007. Derzhspozhyvstandart, Kyiv, Ukraine, 2009.
17. Systemy turbogeneratori vitrjani. Chastyna 1: Vymoghy bezpeky. (IES61400-1:1999, IDT). DSTU IES 61400-1-2001. Derzhspozhyvstandart, Kyiv, Ukraine, 2003.
18. Systemy turbogeneratori vitrjani. Chastyna 2: Vymoghy bezpechnosti malykh vitrjanykh turbin. (IES61400-2:1996, IDT). DSTU IES 61400-2-2001. Derzhstandart Ukrainy, Kyiv, Ukraine, 2002.
19. Systemy turbogeneratori vitrjani. Chastyna 11: Metodyka vymirjuvannja akustychnogho shumy. (IES61400-1:199, IDT). DSTU IES 61400-11-2001. Derzhspozhyvstandart, Kyiv, Ukraine, 2003.
20. V. P. Dyptan, P. M. Jablonskij, D. I. Dulenko, V. V. Polishhuk ta O. O. P'javchuk, "Obgruntuuvannja zastosuvannja dyfuzijnno-nemonotonnogho rozpodilu u yakosti modeli vidmov aviacijnykh zasobiv urazhennja", Povitr. Micj Ukrainy, t. 1, # 1, s. 70–72, 2021. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2021-1-1-70-72>.
21. P. M. Jablonskij, Ju. P. Celishhev, O. V. Avramenko, Ju. M. Koskov, V. I. Ivanov ta O. O. P'javchuk, "Ocinka nadijnosti systemy, shho pracjuje v dvokh zminnykh rezhymakh vykorystannja", Povitr. Micj Ukrainy, t. 1, # 1, s. 77–79., 2021. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2021-1-1-77-79>.
22. V. Polishhuk, A. Salij, Ju. Celishhev, V. Ivanov ta Ju. Koskov, "Obgruntuuvannja matematychnoji modeli funkcionuvannja systemy vidnovlennja avtomobiljnoji i specialjnoji tekhniki Povitrjanykh Syl v umovakh shvydkoji zminy obstanovky", Povitr. Micj Ukrainy, t. 1, # 1(2), s. 61–64, 2022. Date of application: 16 sep. 2025. [Online]. Available: [https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1\(2\)-61-64](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2022-1-1(2)-61-64).