

УДК 620.92

Панцир Ю. І.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри електротехніки, електромеханіки і електротехнологій,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: panziruyuriy@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2969-1936

Гарасимчук І. Д.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри електротехніки, електромеханіки і електротехнологій,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: igorgarasymchuk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4304-4447

Потапський П. В.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри електротехніки, електромеханіки і електротехнологій,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: p.v.potap@meta.ua
ORCID: 0000-0003-4792-8992

Вусатий М. В.

асистент кафедри електротехніки, електромеханіки і електротехнологій,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: 0611142015vys@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3070-9283

ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В ПІДВИЩЕННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАМІСЬКОГО БУДИНКУ

Анотація

У статті досліджено актуальні проблеми застосування відновлювальних джерел енергії для підвищення енергоефективності заміських будинків. У зв'язку з постійним зростанням вартості традиційних енергоносіїв стає важливим упровадження інноваційних технологій для забезпечення автономного енергопостачання та зменшення енергетичних витрат. Одним із найбільш ефективних рішень є використання сонячних панелей, вітрових установок, геотермальних систем і біоенергетичних технологій. Сонячні панелі дозволяють значно знизити залежність від централізованих енергомереж, забезпечують економію на витратах на електроенергію, а також надають можливість продажу надлишкової електричної енергії в мережу. Вітрові установки, зокрема малі вітрові турбіни, є перспективною альтернативою, здатною працювати в умовах змінної сонячної активності, що підвищує загальний коефіцієнт енергетичної незалежності будинку. Геотермальні системи, що використовують тепло землі для опалення й охолодження приміщень, демонструють високу енергоефективність і здатні значно зменшити витрати на опалення, хоча потребують значних інвестицій на етапі їх упровадження. Біоенергетика, яка використовує біомасу та біогаз, є ще однією перспективною технологією, яка забезпечує стійке енергопостачання для заміських будинків і є екологічно чистою альтернативою традиційним джерелам енергії. У статті детально аналізуються можливості й обмеження кожної із цих технологій, а також розглядаються економічні аспекти їх застосування на рівні заміських будинків. Окремо висвітлено проблеми та перспективи розвитку відновлювальної енергетики в контексті енерго незалежності, зниження викидів CO₂ та підвищення екологічної стійкості. Особлива увага приділяється питанням інтеграції відновлювальних джерел енергії в системи опалення, водопостачання й електропостачання заміських будинків, а також економічним перевагам, що виникають у процесі їх використання. Запропоновано рекомендації щодо вибору оптимальних рішень з урахуванням регіональних особливостей, клімату та доступних природних ресурсів.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, заміський будинок, сонячна енергетика, вітрова енергетика, геотермальна енергія, біоенергетика, гідроенергія, мікро-ГЕС.

Вступ. В умовах постійного підвищення тарифів на електроенергію, газ та інші традиційні енергоресурси власники замських будинків шукають способи зменшення витрат на опалення, освітлення та гаряче водопостачання. Відновлювані джерела енергії (далі – ВДЕ) дозволяють значно скоротити витрати, а іноді – цілком відмовитися від централізованих енергопостачальних систем. ВДЕ дають можливість власникам будинків стати менш залежними від зовнішніх постачальників енергії. Це особливо актуально для замських будинків, які можуть бути розташовані у віддалених районах із нестабільним енергопостачанням.

Викиди вуглекислого газу й інших шкідливих речовин, пов'язані з використанням викопного палива, є однією з головних причин глобального потепління. Використання ВДЕ (сонячної, вітрової, геотермальної енергії, біомаси) дозволяє зменшити негативний вплив на довкілля та зробити житло більш екологічним. У багатьох країнах світу діють програми фінансової підтримки для власників, які впроваджують енергоефективні технології. Це можуть бути «зелені» кредити, компенсації за встановлення сонячних панелей або теплових насосів, пільгові тарифи на електроенергію, вироблену власними електростанціями.

Тому проблема використання відновлювальних джерел енергії для підвищення енергоефективності замського будинку є досить актуальною.

Мета роботи. Метою статті стало дослідження можливостей використання відновлювальних джерел енергії для підвищення енергоефективності замського будинку, зокрема через упровадження сонячних, вітрових, геотермальних і біоенергетичних технологій. Стаття спрямована на аналіз технічних, економічних і екологічних аспектів застосування цих технологій, а також на розгляд їхніх можливостей для забезпечення енергонезалежності, зниження витрат на енергію та підвищення комфорту життя власників замських будинків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Висока ефективність сонячних панелей, вітрогенераторів, геотермального обладнання, удосконалення акумуляторних систем і розвиток розумних енергетичних мереж роблять ВДЕ практичним і вигідним рішенням для замського будинку. Використання ВДЕ в поєднанні з іншими енергоефективними заходами (теплоізоляцією, енергоощадними вікнами, розумними системами керування споживанням) дозволяє значно зменшити енергоспоживання будинку, підвищує комфорт проживання та знижує витрати. Сучасні технології у сфері ВДЕ стають дедалі ефективнішими та доступнішими за ціною.

Для підвищення енергоефективності замського будинку в Україні зазвичай використовують такі види відновлюваних джерел енергії (ВДЕ):

- 1) сонячну енергію;
- 2) вітрову енергію;
- 3) геотермальну енергію;
- 4) біоенергетику (біомаса, біогаз, пелети);
- 5) гідроенергію (малі ГЕС).

Найбільш популярними технологіями сонячної енергетики для приватних будинків є:

- сонячні фотоелектричні панелі (далі – СЕС) – виробляють електроенергію для побутових потреб (можуть використовуватися автономно або з підключенням до загальної мережі);
- сонячні колектори (геліосистеми) – використовуються для нагріву води або підтримки системи опалення [8].

Розвиток технологій та зростання усвідомлення важливості екологічних рішень роблять використання сонячних панелей не лише актуальним, а й вигідним.

Один з основних чинників, який мотивує громадян інвестувати в сонячні панелі, – це значна економія на оплаті електроенергії. Серед головних фінансових вигод:

- зменшення витрат на комунальні платежі;
- можливість продажу надлишку виробленої енергії в електромережу;
- окупність системи за 7–10 років із подальшою безкоштовною генерацією електроенергії;
- підвищення вартості нерухомості – будинки з установленими сонячними панелями зазвичай мають більший попит на ринку.

З огляду на те, що сонячні панелі здатні працювати понад 25 років, їх установлення забезпечує довгострокову фінансову вигоду.

Сонячні панелі дають змогу зменшити залежність від традиційних джерел електропостачання, що особливо актуально в умовах частих перебоїв у мережі. Завдяки додатковим системам зберігання енергії можна забезпечити безперебійну роботу будинку навіть уночі або під час негоди.

Варто зазначити, що перехід на сонячну енергію – це значний внесок у збереження довкілля. Сонячні панелі працюють без викидів шкідливих речовин, зменшують негативний вплив на навколишнє середовище [7].

Установлення сонячних панелей – це не лише вигідне з фінансового погляду рішення, а й крок до енергонезалежності та збереження довкілля. Така інвестиція дає змогу отримувати чисту, доступну та стабільну енергію протягом десятиліть.

Сучасна сонячна енергетика стрімко розвивається, уже сьогодні можна виділити основні тенденції, які визначатимуть її майбутнє:

1) інновації в технології збереження енергії. Розвиток систем накопичення енергії є одним із найважливіших аспектів галузі. Сучасні літій-іонні акумулятори забезпечують ефективне та безпечне зберігання електроенергії, що дозволяє використовувати її вночі або під час похмурої погоди. Завдяки вдосконаленню батарейних технологій сонячна енергетика стає стабільнішою та більш надійною;

2) використання технологій штучного інтелекту. Штучний інтелект усе активніше застосовується для оптимізації роботи сонячних станцій. Завдяки алгоритмам машинного навчання можна прогнозувати зміни в погодних умовах, коригувати рівень виробництва електроенергії та підвищувати загальну ефективність систем. Це дозволяє зробити сонячну енергетику ще більш економічно вигідною;

3) перовскітові сонячні елементи. Нове покоління сонячних панелей базується на перовскітових матеріалах, які визначаються високою фотоелектричною ефективністю та можуть наноситися на гнучкі основи. Це відкриває перспективи для створення легких, мобільних і навіть прозорих сонячних батарей, що розширює можливості їх застосування – від дахів будинків до одягу та вікон.

Тому варто зазначити, що сонячна енергетика рухається в напрямі підвищення ефективності, гнучкості та розумного управління. Інноваційні технології накопичення енергії, штучний інтелект і новітні матеріали значно розширюють можливості використання сонячної енергії, роблять її доступнішою й ефективнішою [4].

Одним із перспективних варіантів забезпечення домогосподарства чистою та стабільною електроенергією є вітрова енергетика. Завдяки розвитку малих вітроенергетичних установок власники замських будинків уже нині можуть використовувати силу вітру для власних потреб.

Однією з основних переваг вітрової енергії є її здатність забезпечувати електроенергією навіть у періоди низької сонячної активності, наприклад уночі або в похмурі зимові дні. Це робить її ідеальним доповненням до сонячних панелей, створює комплексну систему автономного енергозабезпечення. Ще одна важлива перевага – можливість накопичення надлишкової енергії за допомогою акумуляторних систем. Це особливо актуально для віддалених будинків, які не мають доступу до централізованої електромережі або страждають від частих перебоїв у постачанні електроенергії [2].

Попри всі переваги, є й деякі виклики. Наприклад, не в усіх регіонах рівень вітрової активності достатній для ефективної роботи генератора. Також потрібно враховувати можливий шум, потребу в регулярному технічному обслуговуванні та початкові капіталовкладення.

Однак із кожним роком технології стають доступнішими, а ефективність вітряних установок зростає. Новітні конструкції, зокрема вертикальні вітряки, можуть працювати навіть за низьких швидкостей вітру та не створюють значного шуму. Поєднання вітрових генераторів із сонячними панелями дає змогу максимально ефективно використовувати природні ресурси та зробити замський будинок цілковито енергонезалежним.

Для забезпечення автономного або резервного електропостачання замських приватних будинків і невеликих господарських об'єктів широко застосовуються малі вітроенергетичні установки (далі – ВЕУ) потужністю до 10–20 кВт. Такі системи здатні ефективно генерувати електроенергію в регіонах із достатнім рівнем вітрової активності. Установка вітрогенератора зазвичай передбачає розміщення його на висоті 17–30 метрів. Це пояснюється тим, що зі збільшенням висоти швидкість вітру зростає за кубічною залежністю, що суттєво впливає на продуктивність генератора. Наприклад, за середньої швидкості вітру понад 6 м/с один кіловат потужності може виробляти приблизно 3 000 кВт·год електроенергії на рік [1].

У районах, де середня швидкість вітру сягає хоча б 4–5 м/с, встановлення вітрогенератора може значно скоротити витрати на електроенергію. Чимало сучасних моделей мають автоматичні системи керування, що дозволяють ефективно використовувати вітер навіть за його невеликої інтенсивності. Завдяки технологічному прогресу з'являються компактні, малошумні та продуктивні вітряки, які можна легко інтегрувати в систему електропостачання приватного будинку.

Перед ухваленням рішення про встановлення вітроустановки власники домогосподарств аналізують вітровий потенціал у своєму регіоні. Для цього використовують картографічні дані, зокрема «Глобальний атлас вітрів» [3], а також математичне моделювання, яке дозволяє спрогнозувати ефективність роботи системи з точністю до 90%. Водночас ураховується досвід спеціалістів у галузі вітроенергетики.

Одним із важливих чинників, які впливають на рішення про встановлення ВЕУ, є термін окупності проєкту. Зазвичай для малих вітрових станцій він становить приблизно 10 років, що приблизно в півтора рази більше, ніж у домашніх сонячних електростанцій. Це пов'язано з більшими витратами на обладнання та складнішими монтажними роботами, оскільки встановлення вітрогенератора є більш технічно складним завданням, ніж монтаж сонячних панелей.

Одним з аспектів, який треба враховувати під час вибору ВЕУ, є рівень шуму, що виробляється турбіною під час роботи. В Україні немає окремих норм, які б регулювали допустимий рівень шуму для малих вітроенергетичних установок. Однак існують загальноприйняті санітарні норми, згідно з якими допустимий рівень шуму на прилеглих до житлових будинків територіях становить до 70 дБА удень і до 60 дБА уночі [12].

Щодо місця встановлення, то вітрогенератор належить до малих архітектурних форм, тому його монтаж має відповідати визначеним будівельним нормам. Наприклад, відстань від турбіни до паркана сусідньої ділянки має бути не менше ніж 3 метри. Середня висота щогли, на якій встановлюється турбіна, зазвичай становить

приблизно 20 метрів. Перед монтажем важливо оцінити наявність поруч високих будівель або дерев, які можуть створювати перешкоди для вітропотоку та знижувати ефективність роботи установки [1].

Геотермальна енергія – це тепло землі, яке можна ефективно використовувати для обігріву, охолодження та гарячого водопостачання в замському будинку. Основний принцип роботи таких систем базується на використанні теплового насоса, який передає тепло від ґрунту або підземних вод до будівлі.

Для використання геотермальної енергії в замському будинку глибина розміщення системи залежить від типу геотермального колектора:

- горизонтальний колектор: труби прокладаються на глибині 1,5–2 метри під землею, що дозволяє ефективно отримувати тепло з поверхневих шарів ґрунту. Цей тип колектора потребує великої площі для встановлення, але є найпростішим і найдешевшим варіантом для невеликих ділянок;
- вертикальний колектор: труби закладаються у свердловини на глибину від 50 до 150 метрів. Це більш складний і дорогий варіант, але він підходить для малих ділянок або там, де немає можливості розташувати горизонтальний колектор;
- водяний колектор: якщо поблизу є водойма, можна використовувати глибинні колектори, занурені у воду на глибині до 10–20 метрів. Цей варіант також дозволяє отримувати ефективне тепло без великих затрат на прокладання труб.

Зазвичай глибина розміщення системи залежить від геологічних умов місцевості та доступної площі для монтажу [9].

Геотермальна система опалення складається з кількох ключових елементів: теплового насоса, замкнутого трубопроводу (який може бути горизонтальним, вертикальним або зануреним у водойму) та теплообмінного колектора.

Тепловий насос – це центральний компонент, який відбирає тепло із землі та передає його в систему опалення будинку. Його принцип дії схожий на роботу холодильника, але зворотний: він не охолоджує, а нагріває.

Геотермальні контури – це трубопроводи, у яких циркулює теплоносій (вода або антифриз). Вони розміщуються у ґрунті на різній глибині:

- горизонтальні контури укладаються на невеликій глибині, але потребують значної площі;
- вертикальні контури встановлюються у глибокі свердловини, що потребує менше простору, але складніше в монтажі.

Ґрунт передає своє тепло рідині у трубах, яка транспортує його до теплового насоса. Там температура підвищується, тепло подається в систему обігріву будинку.

Завдяки стабільній температурі землі така система працює ефективно протягом усього року, забезпечує комфортне опалення взимку й охолодження влітку [10].

Геотермальні системи мають високий коефіцієнт корисної дії (далі – ККД), що дозволяє значно зменшити витрати на опалення порівняно із традиційними джерелами енергії. Попри відносно високі початкові витрати на встановлення, такі системи є економічно вигідними завдяки низькому споживанню електроенергії та тривалому терміну експлуатації (понад 25 років).

Біоенергетика (або використання органічних матеріалів для отримання енергії) має значний потенціал для замських будинків, де доступ до традиційних джерел енергії може бути обмежений або економічно неефективний. Основною перевагою біоенергетичних систем є те, що вони можуть забезпечити будинок енергією за допомогою використання доступних природних ресурсів, як-от деревина, сільськогосподарські відходи, органічні рештки тощо.

У замському господарстві часто є можливість використовувати різноманітну біомасу, як-от деревина, тріски, пелети або залишки сільськогосподарських культур. Це дозволяє створити стабільне джерело енергії для обігріву будинку, гарячого водопостачання та навіть для генерації електричної енергії [11].

Для замських будинків існує кілька основних біоенергетичних технологій:

- котли на біомасі. Це одна з найпоширеніших технологій. Котли, які працюють на пелетах або деревних трісках, можуть забезпечити ефективне опалення будинку, знижують витрати на традиційні енергоносії. Вони прості в експлуатації, мають довгий термін служби та можуть використовувати різні види біомаси;
- біогазові установки. За допомогою таких установок можна переробляти органічні відходи (їжу, сільськогосподарські залишки, гній) на біогаз, який потім можна використовувати для опалення або виробництва електрики. Це також допомагає знижувати обсяги органічних відходів і є екологічно чистим рішенням;
- комбіновані системи з біоенергії та сонячної енергії. У замських будинках часто використовуються сонячні панелі для додаткового живлення електричних систем. Поєднання біоенергетики та сонячних технологій дозволяє забезпечити більш стабільний енергетичний баланс протягом року, зокрема в зимовий період, коли сонячне випромінювання мінімальне [13].

Хоча початкові витрати на встановлення біоенергетичних систем можуть бути значними, вони через кілька років зазвичай виправдовують себе завдяки низьким витратам на експлуатацію. Біомаса зазвичай є дешевшим ресурсом, особливо якщо є можливість використовувати відходи власного господарства (наприклад, деревину чи сільськогосподарські залишки).

Одним з основних викликів є необхідність постачання та зберігання біоматеріалів, особливо в умовах, коли на ділянці відсутня достатня кількість біоенергетичних ресурсів. Окрім того, системи біоенергетики потребують регулярного обслуговування, що може бути досить трудомістким.

З розвитком технологій біоенергетичні системи стають дедалі ефективнішими і доступнішими. У майбутньому можна очікувати зростання попиту на такі системи, оскільки вони є частиною більш загальної тенденції до зменшення викидів CO₂ та підвищення енергоефективності у приватних будинках. Отже, біоенергетика є перспективним напрямом для замських будинків, який дозволяє отримати енергію із природних відновлюваних ресурсів, знижувати витрати на енергопостачання та вплив на навколишнє середовище.

Використання гідроенергії для енергозабезпечення замського будинку може бути реалізовано за умови, якщо на прибудинковій території є постійне джерело води з достатнім перепадом висот і стабільним потоком. Прибудинкова місцевість має відповідати таким вимогам:

- наявність постійного потоку води – річка, струмок, канал із мінімальним сезонним коливанням рівня;
- перепад висот (напір) – навіть невеликий ухил може забезпечити досить енергії;
- важливо мати стабільний потік води, хоча б 5–10 літрів на секунду [5].

Щодо переваг використання мікро-ГЕС для енергозабезпечення замського будинку варто зазначити таке:

- на відміну від сонячних або вітрових систем, мікро-ГЕС може виробляти електроенергію цілодобово незалежно від пори року;
- гідротурбіни можуть мати високий ККД (до 90%), що перевищує показники сонячних панелей і вітряків;
- міні-ГЕС працюють зазвичай без шкідливих викидів у повітря.

Залежно від умов місцевості й особливостей водного потоку є можливість спроектувати такі основні типи мікро-ГЕС, які можна використовувати для замського будинку:

- греблеві (напірні) – потребують будівництва невеликої дамби;
- проточні (без греблі) – працюють на природному потоці води, підходять для малих річок;
- гвинтові (Архімедовий гвинт) – добре працюють на повільних річках із невеликим перепадом висот;
- турбіни Пельтона, Френсіса, Каплана – вибір залежить від швидкості потоку та перепаду висот [6].

Вартість установка мікро-ГЕС на ринку України нині коливається в межах від \$ 3 000 до \$ 2 000 залежно від потужності. Окупність проєкту зазвичай становить 5–10 років. У разі нестабільного потоку можна використовувати акумулятори або комбінувати з іншими ВДЕ (сонячні панелі, вітряки).

Під час реалізації проєкту з установки мікро-ГЕС варто врахувати деякі ризики:

- юридичні аспекти – потрібно враховувати дозвільні документи, якщо використовується природна водойма;
- зміни рівня води – сезонні коливання можуть впливати на стабільність генерації;
- специфіка технічного обслуговування – необхідність періодичного очищення турбіни від мулу, листя, сміття.

Отже, можна зробити висновок, що мікро-ГЕС може бути ефективним рішенням для автономного енергозабезпечення, це надійна й екологічна альтернатива традиційним джерелам електроенергії. Для максимальної ефективності можна поєднувати гідроенергію з іншими ВДЕ та акумуляторними системами.

Висновки. Використання відновлюваних джерел енергії в замських будинках є ефективним способом підвищення енергоефективності, зниження витрат на енергоресурси та зменшення негативного впливу на довкілля. Сонячна, вітрова, геотермальна енергія, а також біоенергетичні технології дозволяють власникам житла зменшити залежність від традиційних постачальників енергії та підвищити рівень комфорту.

Сонячні панелі та геліосистеми є найбільш поширеними рішеннями для приватних будинків, оскільки вони забезпечують автономне електро- та теплопостачання, мають довгий термін служби та швидку окупність. Вітроенергетичні установки є ефективним доповненням до сонячних систем, особливо в регіонах із високою вітровою активністю. Геотермальні теплові насоси дозволяють отримувати тепло із землі для опалення та гарячого водопостачання, що забезпечує стабільну й екологічно чисту енергію протягом усього року.

Сучасні технології, зокрема штучний інтелект, перовскітові сонячні елементи та системи накопичення енергії, значно підвищують ефективність ВДЕ. Окрім того, державні програми підтримки, «зелені» кредити та пільгові тарифи сприяють поширенню енергоефективних технологій серед власників приватних будинків.

Отже, впровадження ВДЕ не лише забезпечує економічні вигоди й енергетичну незалежність, а й сприяє збереженню довкілля, що робить такі рішення надзвичайно перспективними для сучасного замського будівництва.

Список використаних джерел

1. Білозерова Л. Українські малі вітряки – автономні рятівники чи валізи без ручки? *Українська енергетика*. 2021. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukrainiski-mali-vitriaky-avtonomni-riativnyky-chy-valizy-bez-ruchky>.
2. Бота О. Вітрові електростанції: переваги і недоліки використання. *Eco-cluster*. 2024. URL: <https://eco-cluster.org/2024/11/13/vitrovi-elektrostantsii-perevahy-i-nedoliky-vykorystannia/>.
3. Глобальний атлас вітрів. 2025. URL: <https://globalwindatlas.info/en/?fbclid=IwAR2AbGyepWz1vm7D7axrwR-5pa7vUckerJ7MCLgihkaeTuTRwjDPYsj3c0tg>.

4. Інноваційні технології в галузі сонячної енергетики: як вони змінюють наше майбутнє. *Penopmer*. 2024. URL: <https://report.if.ua/socium/innovacijni-tehnologiyi-v-galuzi-sonyachnoyi-energetyky-yak-vony-zminuyut-nashe-majbutnye/>.
5. Когут І. Система автоматизованого управління каскадом мікро-ГЕС. 2023. URL: http://dSPACE.wunu.edu.ua/bitstream/316497/50093/1/Когут_І.pdf.
6. Левицький О. Обґрунтування низьконапірної мікро-ГЕС для сільських споживачів. 2023. URL: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/13727/1/Levytskyi_OI_KR_141_2023.pdf.
7. Науменко О. Чи варто встановлювати сонячні панелі для приватного будинку? *Генерація-ТМ*. 2024. URL: <https://generacia.energy/zelenyj-tarif/chi-varto-vstanovljувати-sonyachni-paneli-dlja-privatnogo-budinku/>.
8. Носенко Ю. Сучасні сонячні технології. *Агробізнес сьогодні*. 2024. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/zhytti-eve-seredovyshe/item/8292-suchasni-sonyachni-tekhnologii.html>.
9. Олійніченко В. Енергія землі надпотужна, і її можна акумулювати. *Громади майбутнього*. 2024. URL: <http://freedom.org.ua/valeriy-oliynichenko-enerhiia-zemli-nadpotuzhna-ta-akumuluiet-sia/>.
10. Панчук В. Геотермальне опалення для дому. *Eco-volt*. 2024. URL: <https://eco-volt.com.ua/blog/geotermalnoye-otopleniye-dlya-doma>.
11. Печенюк А. Перспективи розвитку біоенергетичної галузі України в контексті європейської інтеграції. *Інноваційна економіка*. 2024. № 1 (97). С. 173–179. URL: <http://inneco.org/index.php/inneco.ua/article/view/1203/1301>.
12. Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови : наказ Міністерства охорони здоров'я України № 463 від 22.02.2019 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19#Text>.
13. Фурман І., Ксенчин Д. Розвиток біоенергетики в контексті забезпечення енергетичної безпеки України. *Економіка та суспільство*. 2024. № 61. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-41>.

Pantsir Yu. I.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Electrical Engineering, Electromechanics, and Electrical Technologies,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: panziriyuriy@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2969-1936*

Harasymchuk I. D.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Electrical Engineering, Electromechanics, and Electrical Technologies
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: igorgarasymchuk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4304-4447*

Potapyskyi P. V.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Electrical Engineering, Electromechanics and Electrical Technologies,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: p.v.potap@meta.ua
ORCID: 0000-0003-4792-8992*

Vusatyi M. V.

*Candidate of Technical Sciences,
Assistant at the Department of Electrical Engineering, Electromechanics and Electrical Technologies,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: 0611142015vys@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3070-9283*

RENEWABLE ENERGY SOURCES IN IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A COUNTRY HOUSE

Abstract

The article explores the current issues related to the use of renewable energy sources to improve the energy efficiency of country houses. Due to the continuous increase in the cost of traditional energy carriers, the implementation of innovative technologies to ensure autonomous energy supply and reduce energy costs is becoming increasingly important. One of the most effective solutions is

the use of solar panels, wind turbines, geothermal systems, and bioenergy technologies. Solar panels significantly reduce dependence on centralized energy networks, leading to savings on electricity costs, and also provide the opportunity to sell surplus electricity to the grid. Wind turbines, particularly small wind turbines, offer a promising alternative that can operate in conditions of variable solar activity, thereby enhancing the overall energy independence of the house. Geothermal systems, which use the earth's heat for heating and cooling buildings, demonstrate high energy efficiency and can substantially reduce heating costs, although they require significant investments at the implementation stage. Bioenergy, using biomass and biogas, is another promising technology that provides sustainable energy supply for country houses and is an environmentally friendly alternative to traditional energy sources. The article thoroughly analyzes the capabilities and limitations of each of these technologies, as well as the economic aspects of their implementation at the level of country houses. It separately highlights the problems and prospects of renewable energy development in the context of energy independence, reducing CO₂ emissions, and increasing ecological sustainability. Special attention is given to the integration of renewable energy sources into the heating, water supply, and electricity systems of country houses, as well as the economic benefits that arise from their use. Recommendations are proposed for selecting optimal solutions considering regional features, climate, and available natural resources.

Key words: renewable energy sources, country house, solar energy, wind energy, geothermal energy, bioenergy, hydropower, micro-hydroelectric power.

References

1. Bilozero, L. (2021). Ukrainski mali vitriaky – avtonomni riativnyky chy valizy bez ruchky? [Ukrainian small wind-mills – autonomous saviors or suitcases without a handle?]. *Ukrainska enerhetyka – Ukrainian energy industry*. Retrieved from: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukrainski-mali-vitriaky-avtonomni-riativnyky-chy-valizy-bez-ruchky> [in Ukrainian].
2. Bota, O. (2024). Vitrovi elektrostantsii: perevahy i nedoliky vykorystannia [Wind power plants: advantages and disadvantages of use]. *Eco-cluster*. Retrieved from: <https://eco-cluster.org/2024/11/13/vitrovi-elektrostantsii-perevahy-i-nedoliky-vykorystannia/> [in Ukrainian].
3. Hlobalnyi atlas vitriv [Global wind atlas] (2024). Retrieved from: <https://globalwindatlas.info/en/?fbclid=IwAR2AbGyepWz1vm7D7axrwR5pa7vUckerJ7MCLgihkaeTuTRwjDPYsj3c0tg> [in Ukrainian].
4. Innovatsiini tekhnolohii v haluzi soniachnoi enerhetyky: yak vony zminuiut nashe maibutnie [Innovative technologies in the field of solar energy: how they are changing our future. Reporter] (2024). *Reporter*. Retrieved from: <https://report.if.ua/socium/innovacijni-tehnologiyi-v-galuzi-sonyachnoyi-energetyky-yak-vony-zminyuyut-nashe-majbutnye/> [in Ukrainian].
5. Kohut, I. (2023). Systema avtomatyzovanoho upravlinnia kaskadom mikro-HES [The system of automated control of the micro-HPP cascade]. Retrieved from: http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/50093/1/Koryt_I.pdf [in Ukrainian].
6. Levytskyi, O. (2023). Obgruntuvannia nyzkonapiromi mikro-HES dlia silskykh spozhyvachiv [Justification of the low-pressure micro-hydroelectric power plant for rural consumers]. Retrieved from: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/13727/1/Levytskyi_OI_KR_141_2023.pdf [in Ukrainian].
7. Naumenko, O. (2024). Chy varto vstanovliuvaty soniachni paneli dlia pryvatnoho budynku? [Should you install solar panels for a private house?]. *Heneratsiia-TM – Generation-TM*. Retrieved from: <https://generacia.energy/zelenyj-tarif/chi-var-to-vstanovljuvati-soniachni-paneli-dlja-privatnogo-budynku/> [in Ukrainian].
8. Nosenko, Yu. (2024). Suchasni soniachni tekhnolohii [Modern solar technologies]. *Ahrobiznes sohodni – Agribusiness today*. Retrieved from: <https://agro-business.com.ua/agro/zhyttieve-seredovyshe/item/8292-suchasni-soniachni-tekhnolohii.html> [in Ukrainian].
9. Oliinichenko, V. (2024). Enerhiia zemli nadpotuzhna, i yii mozna akumuluvaty [The energy of the earth is extremely powerful, and it can be accumulated]. *Hromady maibutnoho – Communities of the future*. Retrieved from: <http://freedom.org.ua/valeriy-oliinichenko-enerhiia-zemli-nadpotuzhna-ta-akumuluiet-sia/> [in Ukrainian].
10. Panchuk, V. (2024). Heotermalne opalennia dlia domu [Geothermal heating for the home]. *Eco-volt*. Retrieved from: <https://eco-volt.com.ua/blog/geotermalnoye-otopleniye-dlya-doma> [in Ukrainian].
11. Pecheniuk, A.V. (2024) Perspektyvy rozvytku bioenerhetychnoi haluzi Ukrainy v konteksti yevropeiskoi intehratsii [Prospects for the development of the bioenergy industry of Ukraine in the context of European integration]. *Innovatsiina ekonomika – Innovative economy*, 1 (97). 173–179. Retrieved from: <http://inneco.org/index.php/inneco/article/view/1203/1301> [in Ukrainian].
12. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm dopustymykh rivniv shumu v prymyshchenniakh zhytlovykh ta hromadskykh budynkiv i na terytorii zhytlovoi zabudovy [On the approval of the State sanitary norms of permissible noise levels in the premises of residential and public buildings and on the territory of residential buildings]. Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy № 463 vid 22.02.2019 r. – Order of the Ministry of Health of Ukraine № 463 dated February 22, 2019. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19#Text> [in Ukrainian].
13. Furman, I., & Ksenych, D. (2024) Rozvytok bioenerhetyky v konteksti zabezpechennia enerhetychnoi bezpeky Ukrainy [Development of bioenergy in the context of ensuring energy security of Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society*. Retrieved from: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-41> [in Ukrainian].