

УДК 624.132.1

## Аналіз шляхів забезпечення енергонезалежності будівельної техніки з використанням відновлювальних джерел енергії

Олександр Тетерятник<sup>1</sup>, Максим Балака<sup>2</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
пр-т Повітрофлотський, 31; Київ, Україна, 03037

<sup>1</sup>teteriatnyk.oa@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-9983-0551>

<sup>2</sup>balaka.mm@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4142-9703>

Received: 10.03.2021; Accepted: 10.05.2021

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0301>

**Анотація.** Останні десятиріччя ставлять перед суспільством нові виклики, одним з яких є зміна парадигми енергетичного забезпечення суспільства. Реальна загроза виснаження корисних копалин потребує від людства вирішення проблеми енергетичного забезпечення суспільства. Основною проблемою при вирішенні цього питання є те, що споживання енергії постійно збільшується.

Міжнародне енергетичне агентство (*International Energy Agency, IEA*) прогнозує, що світовий попит на електроенергію зросте на 60% і складе майже чверть загального попиту на енергію, порівняно з 19%, 2017 року; очікується зниження попиту на вугілля і нафту; частка поновлюваних джерел енергії може досягти 40%, 2040 року порівняно з 25% в 2017 році. Ще одним альтернативним сценарієм розвитку є сценарій, який називається «майбутнє за електрикою», з набагато більш активним розвитком використання електроенергії для пересування та опалення: попит на електроенергію збільшиться на 90% замість 60% до 2040 року; коли половина автомобільного парку стане електричною, якість повітря значно покращиться, але це матиме незначний вплив на викиди вуглекислого газу, без великих зусиль зі збільшення частки поновлюваних джерел енергії та джерел низьковуглецевої електроенергії.

За словами доктора Фатіха Біроля, виконавчого директора Міжнародного енергетичного агентства, «Впродовж останніх десятиліть, поновлювані джерела енергії досягають значних успіхів, але загалом їх надбання залишаються значною мірою, обмеженими у виробництві електроенергії. Наступною віхою в історії поновлюваних джерел енергії, є розширення їх використання в промисловості, будівництві та

транспорті з величезним потенціалом зростання». [1]

**Ключові слова:** відновлювальна енергетика, розподілені енергосистеми, електричний привод; вітрові турбіни, сталий розвиток.

### ВСТУП

За даними Міністерства енергетики США промислові споживачі (сільське господарство, гірнична промисловість, виробництво, будівництво) споживають близько 37% від всієї виробленої енергії. Особистий та комерційний транспорт споживає близько 20%; індивідуальне опалення, освітлення і електроприлади використовують 11%; комерційне споживання (освітлення, опалення й охолодження комерційних будівель, водопостачання та каналізація) становить близько 5% від загального споживання енергії.

Решта 27% світового споживання енергії, втрачаються під час виробництва та передачі електроенергії. Ефективність наявних електростанцій, становить близько 38%. Нове покоління газових ТЕЦ може досягати значно більшу ефективність – в 55%. Але найбільш поширеним паливом для ТЕЦ у світі, все одно залишається вугілля.

Європейське агентство з навколишнього середовища (ЕЕА) враховує лише кінцеве споживання енергії (тобто не долучає енергію, втрачену під час виробництва та передачі електроенергії) і вважає, що транспорт використовує 31,5% кінцевого споживання

енергії, промисловість – 27.6%, домашні господарства – 25,9%, сектор послуг – 11,4% і сільське господарство – 3,7%. Споживання енергії відповідальне за більшу частину викидів парникових газів (79%), причому енергетичний сектор відповідальний за 31%, транспорт – 19%, промисловість – 13%, домашні господарства – 9%, інші – 7% [2].

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Енергоефективність вироблення електроенергії має велике значення для державної політики європейських країн, враховуючи, що понад 70% вугільних електростанцій Європейського Союзу мають вік більше 20 років і працюють з ефективністю 32...40%. [3]. Технологічні розробки 1990-х років, дозволили підвищити ефективність до рівня 40...45% на нових ТЕЦ. Однак, згідно оцінки Європейської комісії, це все знаходиться нижче рівня найкращих наявних сучасних технологій (НСТ), які мають ефективність 46...49%. Ефективність газових ТЕЦ в середньому становить 52% порівняно з 58...59%, найкращої наявної технології. Газові та нафтові котельні працюють із середнім ККД 36% (НСТ забезпечує 47%). Наявні показники є недостатніми для забезпечення відповідного рівня декарбонізації викидів у промисловому секторі в рамках виконання Паризької кліматичної угоди 2015 року [4].

Наведені вище оцінки, а також багато інших чинників та системних показників змусили міжнародні інституції з проблем екології, енергетики та сталого розвитку сформулювати основні положення щодо успішного розв'язання проблеми енергозабезпечення й дотримання вимог сталого розвитку стратегія паливно-енергетичного комплексу має спиратися на:

- підвищення ефективності використання енергії, тобто створення й використання енергоефективних технологій, матеріалів, організації виробництва;
- широкомасштабне використання поновлюваних та інших нетрадиційних (для нашого часу) джерел енергії;

– створення та максимально ефективного використання нового покоління технологій спалювання органічних викопних видів палива [5].

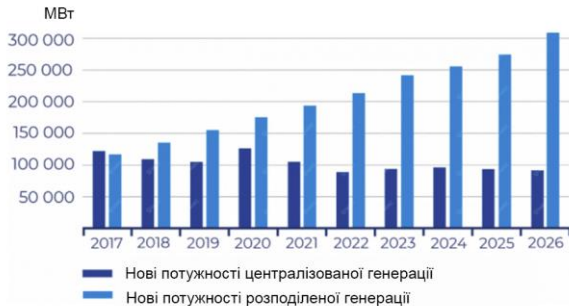
Якщо придивитися уважніше до кожного з цих напрямків, то можна побачити, що українські вчені та наукові школи вносять значний вклад у вирішення проблеми енергозабезпечення.

Щодо створення енергоефективних технологій можна згадати відому в усьому світі теорію динамічного руйнування ґрунтів професора Баладінського В.Л., з якої випливає, що зменшення енергоємності розробки ґрунтів можна досягти за рахунок інтенсифікації прикладання навантаження на робоче середовище робочими органами безперервної дії. Динамічні ґрунторуйнуючі машини мають значно меншу масу і габарити, досягають значно більшої продуктивності при менших енерговитратах у порівнянні з існуючими машинами, в яких використовується, так зване, силове (статичне) різання, тобто руйнування ґрунту зі сталою силою різання і невеликими, до 2 м/с, швидкостями різання [6].

Зважаючи на теорію динамічного руйнування ґрунтів на кафедрі будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури було розроблено та захищено патентами України конструкції робочих органів динамічної дії, в яких використовуються позитивні ефекти високошвидкісного руйнування ґрунтів [7, 8]. Розроблені робочі органи мають низьку енергоємність та високу питому продуктивність, що позитивно вирізняє їх серед більшості вітчизняних та іноземних аналогів.

До технологій, що призначені для ефективного використання енергії належить і створення розподілених енергосистем (DER - Distributed Energy Resources) [9, 10]. Розподілені енергетичні системи – це напрямок розвитку енергетики, що забезпечує можливості переходу від традиційної організації енергетичних систем до нових методик та практик. Цей перехід здійснюється в умовах децентралізації енергетичних систем при максимальній автоматизації та комп'ютеризації їх складових. Цей процес відбувається з використанням різних видів

енергетичних ресурсів та передбачає зниження екологічного впливу на довкілля. Метою децентралізації енергетичних систем є підвищення енергетичної ефективності системи в цілому (Рис. 1).



**Рис. 1.** Прогноз введення нових потужностей централізованої та розподіленої генерації у світі

**Fig. 1.** Forecast of the introduction of new capacities of centralized and distributed generations in the world

Найбільш розвинутою складовою розподіленої енергетики є розподілена генерація, яка представлена комплексними енергооб'єктами потужністю до 25 МВт, що розташовуються максимально близько до кінцевого споживача.

Слід зазначити, що у зв'язку з появою нових технологій змінився підхід у розвитку енергетичних систем. Об'єднання великої кількості об'єктів розподіленої генерації в розумну мережу забезпечує високу надійність і гнучкість роботи системи.

Нині мала розподілена енергетика є єдиним дієвим інструментом зниження вартості електроенергії підприємств малого та середнього бізнесу. Можливість роботи обладнання малої розподіленої енергетики на різних видах палива (у тому числі на зрідженому газі) дозволяє встановлювати такі об'єкти на територіях із великою географією.

Основу технологій розподіленої генерації енергії складають установки потужністю до 25 МВт, включаючи нетрадиційні (мікротурбіни, двигуни стирлінгу, роторно-лопатеві двигуни, накопичувачі енергії) та відновлювані джерела енергії (Рис. 2).

Іншим перспективним напрямом розподіленої генерації є використання попутного нафтового газу (ПНГ) на підприємствах нафтогазової галузі.



**Рис. 2.** Ресурси і склад технологій розподіленої генерації енергії

**Fig. 2.** Resources and composition of distributed energy generation technologies

На сьогоднішній день найбільш економічно доцільним напрямком розвитку галузі малої генерації є використання мобільних та високоефективних газопоршневих установок (ГПУ). Їх поки що значні переваги над альтернативними джерелами енергії (ефективність яких залежить в значній мірі від зовнішніх факторів), забезпечують позиціонування газової генерації як сучасного, ефективного та високорентабельного напрямку енергетичного бізнесу, що стрімко набирає популярності в останні роки.

Світовими передумовами розвитку газової генерації є наступні її переваги:

- доступне паливо - природний газ є найдоступнішим і найефективнішим видом палива в перспективі на найближчі 30-40 років;

- поступова відмова від використання вугільного палива - вугілля є достатньо дорогим та неекологічним видом палива. Зокрема, це підтверджується останнім часом переведенням великих електростанцій на газове паливопостачання;

- зниження частки атомної енергетики - атомна енергетика є дорогим видом виробітку електроенергії з високою часткою тех-

нологічного ризику. Цей факт підтверджується згортанням або зменшенням частки ядерного вироблення в енергетичних проєктах у світі;

- висока ефективність когенерації та тригенерації - тепла мала генерація на базі ГПУ є високоефективним способом вироблення електроенергії, що дозволяє отримувати попутні види енергії (теплова енергія та холод).

Основна перевага розподілених енергосистем над централізованими, не зважаючи на більшу складність та собівартість систем контролю та керування – це зниження тарифу на енергоресурси. Така можливість реалізується за рахунок розміщення об'єкта генерації біля споживача, що дозволяє споживачу заощаджувати на транспорті енергії, електричної та теплової, і це зумовлює зниження вартості кінцевого продукту. Є й інші важливі моменти, наприклад підвищення надійності електропостачання.

Ще один вагомий аргумент – швидкість введення нових потужностей. Якщо брати мережеві компанії, то підключення споживачів з урахуванням будівництва ліній може розтягнутися на роки. У середньому це близько двох років, і то за умови, що у відповідному централізованому об'єкті є вільні потужності. Якщо їх нема, то термін приєднання нових споживачів триває значно довше. Для порівняння: мінімальний термін запуску потужностей малої енергетики – близько 8 місяців. Достатньо швидко.

Інший напрямок розвитку енергетичного комплексу у світі зумовлює будівництво та введення в експлуатацію об'єктів енергетичного комплексу, що виробляють енергію з відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). До таких джерел енергії належать періодичні або сталі потоки енергії, що розповсюджуються в природі і обмежені лише стабільністю Землі як космопланетарного елемента: променева енергія Сонця, вітер, гідроенергія, біоенергетика, природна тепла енергія тощо. До 2040 року заплановано до 40 % світової електроенергії виробляти із відновлюваних джерел [11].

Але швидкий розвиток ВДЕ (в більшій мірі за рахунок сонячних електростанцій та

вітрових парків) має і іншу сторону – значне коливання потужності.

Потужність виробництва електроенергії на сонячних та вітрових електростанціях може різко змінюватися і слабо прогнозована через пряму залежність від зміни погоди — наявності сонця та вітру. Тому, щоб зберегти в енергосистемі баланс попиту та виробництва електроенергії, потрібен великий резерв потужностей для маневрування — швидкого завантаження і розвантаження енергоблоків у разі коливань виробництва електроенергії на вітрових та сонячних електростанціях. В енергосистемі України для маневрування використовують гідроелектростанції (ГЕС) та вугільні ТЕС, на які припадає більша частка навантаження. При цьому доведеться скорочувати базове навантаження на АЕС, які увесь час видають однакову потужність, і збільшувати його на вугільних ТЕС, аби вони мали більше можливостей для маневрування. Іншими словами, в українській енергосистемі складається парадоксальна ситуація — збільшення кількості вітрових та сонячних електростанцій призводить до збільшення вуглецевих та інших шкідливих викидів [12, 13].

Якщо проаналізувати представлену ситуацію, то можна побачити, що один із напрямків вирішення цієї проблеми лежить в поєднанні цих двох складових, що може суттєво збільшити їх сумарну ефективність та знизити негативні складові таких систем великої потужності. Мова йде про створення розподілених енергосистем на базі ВДЕ невеликої потужності. Для цього необхідно більш детально придивитися до вітрової енергетики.

Більша частина вітрових турбін, які використовуються в перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну належать до промислових вітрогенераторів (Рис. 3).

Промислові вітрогенератори встановлюються державними органами або енергетичними компаніями. Потужність сучасних промислових вітрогенераторів може досягати 8 МВт. Як правило, такі генератори об'єднують у мережу. Основна відмінність вітроелектростанцій від теплових електростанцій — повна відсутність сировини та відходів. Створення таких електростанцій



економічно доцільне в районах з високим середньорічним значенням швидкості вітру або у віддалених від промислових електромереж районах.



**Рис. 3.** Вітровий парк вітрогенераторів з горизонтальною віссю

**Fig. 3.** Wind farm wind turbines with a horizontal axis

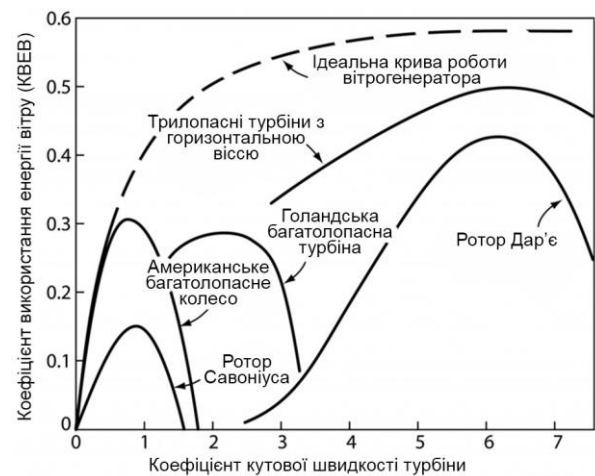
Вітрогенератори приватного призначення мають відносно невелику потужність (звичайно до декількох кіловат) та використовуються разом з стаціонарною електромережею як джерела додаткової енергії, або як складові (разом з сонячними панелями, акумуляторними батареями, інверторами) в системах автономного електрозабезпечення. Такі генератори є популярним об'єктом аматорського конструювання.

Вітрогенератори спеціального призначення використовуються для автономного електрозабезпечення окремих технологічних об'єктів: туристичних стоянок, вітрильних гоночних яхт тощо. Такі генератори мають малу потужність (звичайно до десятків ват) і часто використовуються без інверторів — як джерела постійного струму для підзарядки акумуляторних батарей (в тому числі — батарей мобільних пристроїв через USB-адаптери).

За конструкцією вітряної турбіни вітрогенератори поділяються на апарати з горизонтальною та вертикальною віссю.

Апарати з горизонтальною віссю (HAWT — Horizontal Axis Wind Turbine)

вимагають додаткового пристрою орієнтації та високої щогли, але характеризуються найвищим значенням коефіцієнту використання енергії вітру (КВЕВ) серед інших конструкцій (Рис. 4) та відносно малими динамічними навантаженнями. Завдяки своїм перевагам отримали широке використання. Високе значення КВЕВ досягається за рахунок оптимізації профілів лопатей турбіни, що дозволяє отримати на лопатях значну підйомну силу, яка сприяє збільшенню крутного моменту. Вітрові парки більшості країн світу використовують вітрогенератори з горизонтальною віссю.



**Рис. 4.** Графік порівняльної ефективності основних видів вітрових установок

**Fig. 4.** Graph of comparative efficiency of the main types of wind turbines

В останні роки у світовій вітроенергетиці спостерігається тенденція до збільшення одиначної потужності вітрогенераторів типу HAWT, що пояснюється зниженням вартість електроенергії, що отримується з 1 м<sup>2</sup> робочої поверхні, зменшуються витрати на експлуатацію та технічне обслуговування установки, скорочуються площі відчужуваних земельних ділянок, зростає ефективність установки. Проте подальше укрупнення вітрогенераторів є малоефективним. Враховуючи особливості конструкції та монтажу можна сказати, що розміри вітрогенераторів з горизонтальною віссю досягли верхньої межі. На лопаті, крім відцентрових, діють згинальні сили, змінні за величиною і напрямом, що обмежує їх геоме-

ISSN(online)2709-6149. Mining, constructional, road and melioration machines, 97, 2021, 24-35

тричні розміри, істотно знижує надійність і скорочує терміни експлуатації вітрогенераторів. Тому перехід великі потужності передбачає якісну зміну конструкції.

Попри всі переваги HAWT дана конструкція має декілька недоліків. По-перше, вітрогенератори з горизонтальною віссю є доволі небезпечними для птахів та кажанів. За матеріалами досліджень причиною загибелі птахів є травмування лопатями турбіни, а загибель кажанів настає від баротравми легень внаслідок формування області зниженого тиску на кінцях лопатей турбін. Згідно зі статистикою, лопаті кожної встановленої турбіни є причиною загибелі не менш як чотирьох особин птахів на рік [14]. Крім того, збільшення діаметрів обертових елементів турбін потужних вітрогенераторів збільшує область низькочастотних шумів, що виключає можливість встановлювати даний тип обладнання поблизу населених територій. Це знижує ефективність HAWT у системі розподіленої генерації.

Ще одним недоліком апаратів з горизонтальною віссю є створення гвинтами зони турбулентності та зниженого тиску при проходженні вітру через лопаті. Це збільшує ефективну відстань встановлення одного вітрогенератора від іншого. Для ефективного використання енергії вітру та позбавлення впливу однієї установки на іншу, ефективна дальність встановлення повинна бути більшою 10-ти діаметрів гвинта вітрогенератора. Тому вітрові парки з установками великої потужності займають значні території - десятки та сотні гектарів. Причому на цих територіях неможлива будь-яка господарська діяльність. Крім того, існують думки та проводяться дослідження щодо впливу великих вітрогенераторів та вітрових парків на зміну клімату та екологічні зміни на прилеглих територіях [15].

Апарати з вертикальною віссю (VAWT — Vertical Axis Wind Turbine) не вимагають пристроїв орієнтації відносно напрямку вітру (Рис. 5). Довгий час суттєвим недоліком таких турбін у порівнянні з турбінами з горизонтальною віссю, крутний момент яких залишається незмінним протягом одного обороту, було те, що лопаті вертикальних турбін при обертанні створюють пе-

ріодичні імпульси, що призводить до додаткових навантажень на елементи їх конструкції. В подальшому цей недолік був усунутий шляхом гвинтового повороту лопаток турбіни (Рис. 6).



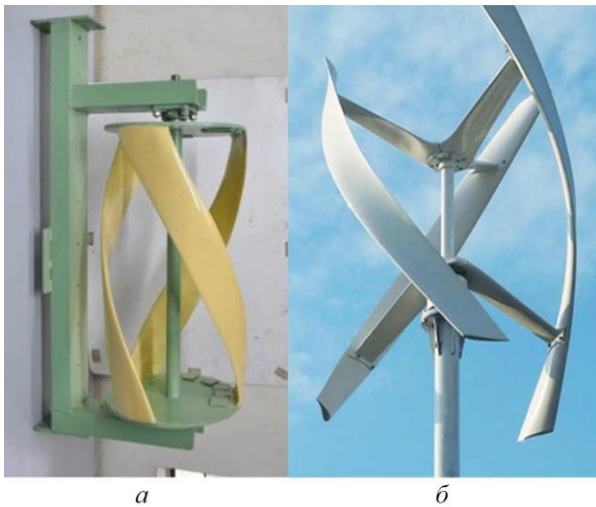
**Рис. 5.** Найбільший VAWT з ротором Дар'є, центр інтерпретації енергії вітру, Квебек, США

**Fig. 5.** Largest VAWT with Darrieus turbine, Wind Energy Interpretation Center, Quebec, USA

Турбіни VAWT зустрічаються досить рідко і використовуються, як правило, у домашніх системах через порівняно низький рівень шуму при роботі. Проте існують проекти застосування таких генераторів у шельфових електростанціях. Крім того існують компанії, які намагаються використовувати у вітрових парках VAWT (наприклад американська компанія FloWind).

Навіть враховуючі недоліки, що присутні у конструкціях VAWT, вітрогенератори такого типу мають достатньо велику перспективу застосовуватися у системах розподіленої генерації. Завдяки зниженому рівню шумів та вібрацій такі установки вже в теперішній час використовуються для забезпечення потреб в електроенергії невеликих громадських об'єктів (наприклад, два вітрогенератори, потужністю 5кВт кожний, з турбіною Горлова встановлено на Ейфеле-

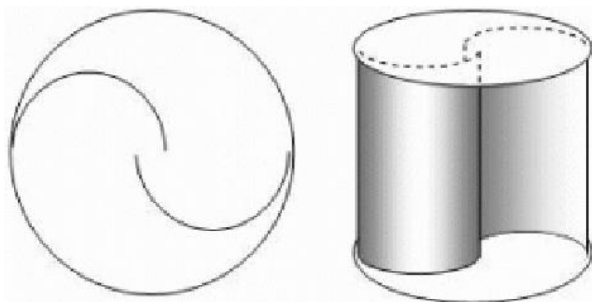
вій вежі для забезпечення потреб споруди в електроенергії) [16].



**Рис. 6.** Ротор Горлова (а) та вітрова установка аналогічного типу (б)

**Fig. 6.** Gorlov turbine (a) and wind turbine of similar type (b)

Активізація досліджень в цьому напрямку дозволяють крок за кроком позбавлятися недоліків конструкцій VAWT. Наприклад, вітрогенератор у вигляді ротора Дар'є має достатньо великий КВЕВ (див. Рис. 4) при швидкостях вітру 8-15 м/с, але не має можливості самостійного пуску, як, до речі, і майже всі апарати з горизонтальною віссю. Але відомий вітрогенератор у вигляді ротору Савоніуса (Рис. 7), який підтримує можливість самозапуску і має найбільший КВЕВ при швидкостях вітру до 6-8 м/с.

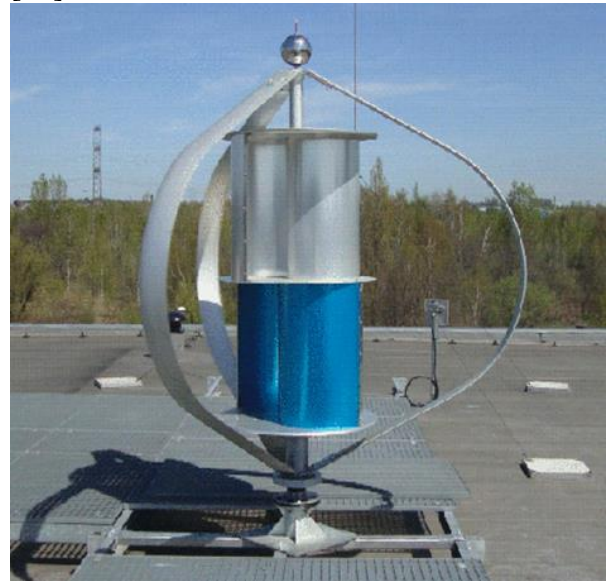


**Рис. 7.** Ротор Савоніуса

**Fig. 7.** Savonius turbine

Для поєднання позитивних ефектів створюються вітрогенератори, які складаються з обох конструкцій (Рис. 8), що дозволяє при малих швидкостях вітру самостійно

запускати установку в роботу за рахунок ротора Савоніуса, а при більших швидкостях вітру забезпечувати значно вищу ефективність роботи за рахунок ротору Дар'є [17].



**Рис. 8.** Конструкція вітрогенератора з ротором Савоніуса та ротором Дар'є

**Fig. 8.** Design of wind turbine with Savonius turbine and Darrieus turbine

Завдяки VAWT можна продуктивніше та оптимальніше створювати системи енергозабезпечення в концепції розподіленої генерації. Основна перевага апаратів з вертикальною віссю полягає у тому, що вони можуть розташовуватися на невеликих відстанях одне від одного, що може забезпечувати створення інфраструктури вітрових парків на невеликих площах.

Якщо підійти більш детально до вирішення проблеми енергозабезпеченості окремих галузей, то вітрова енергетика може допомогти не тільки в широкому сенсі (забезпечення енергією селищ та міст, освітлення споруд та території тощо), а і в більш конкретній ситуації.

Наприклад, якщо придивитися до сучасного парку будівельної техніки, то можна побачити, що майже всі великі виробники такої техніки вже мають у модельному ряду майже повністю електричні машини, які аналогічні серійним машинам з ДВЗ. Причому, враховуючи розширення модельного



ряду та мінімізацію будівельної техніки для роботи в міських умовах, потужності силових агрегатів такої техніки знаходяться в межах 2-10 кВт.

Компанія Bobcat на міжнародній виставці Bauma 2019 представила перший в світі електричний міні-екскаватор Bobcat E10e (Рис. 9). Завдяки електроприводу, низькому рівню шуму та невеликим габаритам (ширина екскаватора складає 72см) дана модель може працювати на об'єктах з обмеженим простором та в закритих приміщеннях.



**Рис. 9.** Електричний міні-екскаватор Bobcat E10e

**Fig. 9.** Bobcat E10e electric mini excavator

Компанія CASE Construction Equipment у 2020 році представила до уваги перший в галузі екскаватор-навантажувач 580 EV (Рис. 10).



**Рис. 10.** Електричний екскаватор-навантажувач CASE 580 EV

**Fig. 10.** CASE 580 EV electric backhoe loader  
ISSN(print)2312-6590. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, 97, 2021, 24-35

Німецька компанія Wacker Neuson представила міні-екскаватор моделі 803 з функцією dual power. До екскаватора на додаток до вбудованого дизельного двигуна можна підключити електрогідравлічний пристрій HPU8, що дозволить екскаватору працювати з нульовими викидами (Рис. 11).



**Рис. 11.** Міні-екскаватор Wacker Neuson 803 dual power з електрогідравлічним пристроєм HPU8

**Fig. 11.** Mini excavator Wacker Neuson 803 dual power with electrohydraulic device HPU8

Крім того, багато виробників спеціалізованої техніки, зокрема виробники аеродромних тягачів (Рис. 12) використовують в своєму парку техніки електричні моделі [18]. Такі машини вже мають достатньо великі потужності та тягові характеристики.



**Рис. 12.** Електричний аеродромний тягач Trepel Challenger 280e для повітряних судів з рульовою масою 250т

**Fig. 12.** Electric airfield tractor Trepel Challenger 280e for aircraft with a steering mass of 250 tons

У більшості будівельних компаній при експлуатації даної техніки (або взагалі будь-якої техніки з електричною або гібридною силовою установкою) виникає додаткова «проблема», що пов'язана із необхід-



ністю заряджати акумуляторні батареї будівельної техніки. В більшості випадків така «проблема» не вимагає якогось додаткового обладнання і вирішується достатньо просто, але і загальному випадку все це призводить до збільшення навантажень на місцеву енергомережу.

Зважаючи на це, та враховуючи розподілену генерацію разом з досягненнями в області конструювання вітрогенераторів з вертикальною віссю можна запропонувати ідею розташування на базі підприємства, що має в наявності будівельні машини з електричним приводом, станцій для зарядки акумуляторів. Така станція може розташовуватися на території підприємства та мати необхідну потужність для забезпечення обслуговування акумуляторних батарей всієї наявної на підприємстві будівельної техніки з електричними силовими установками. В якості джерел енергії доцільніше всього використовувати вітрогенератори типу VAWT, виходячи з того, що декілька пристроїв такого типу можна буде розмістити на достатньо невеликій площі (наприклад, на даху адміністративної будівлі).

Якщо проаналізувати наведену модель енергозабезпечення, можливо побачити доволі багато аспектів та можливостей застосування альтернативних джерел енергії. Наприклад, якщо не обмежуватися встановленням вітрогенераторів лише на даху, можливо створити систему веж у вигляді сходинок, яка дозволить встановлювати вітрогенератори на різних висотних рівнях, що дозволить, по-перше збільшити кількість джерел та, по-друге, використовувати вітрові потоки, які ще не втратили частину своєї енергії. Причому при збільшенні кількості генеруючих об'єктів можливо зменшувати їх габарити та вагу при сталій необхідній потужності. Такий крок дозволить проектувати систему енергозабезпечення в достатньо широкому діапазоні геометричних розмірів, технічних рішень та цінової політики.

Крім того, якщо згадати про інший вид відновлювальних джерел енергії, а саме про сонячні панелі, та реалізувати можливість їх інтеграції у загальну систему разом з вітрогенераторами, кількість можливих техні-

чних рішень реалізації подібних проектів зростає на порядок. може при проходженні через інші

Причому, якщо взяти до уваги загально-світову тенденцію побудови машин (і в тому числі будівельних) та агрегатів за модульним принципом [19, 20], можна представити технічні рішення на ще більш універсальному рівні. Це може бути окремий модуль, який буде мати оптимізоване значення потужності та можливість поєднання з більшістю сучасних моделей будівельної техніки. Такий модуль можливо буде агрегувати комбінованими VAWT та достатньою кількістю сонячних панелей. На початковому етапі це може вийти достатньо велика та громіздка конструкція причепного або напівпричепного типу. Одним з критеріїв функціональності даного обладнання буде габаритний розмір по висоті устаткування, який повинен забезпечувати безперешкодне переміщення у межах населеного пункту. При відповідному розрахунку такий модуль може застосовуватися для забезпечення живлення декількох одиниць будівельної техніки на одному будівельному майданчику. Можливим вважається створення достатнього запасу потужності даного виду устаткування для забезпечення можливості заряду акумуляторів безпосередньо на місці проведення будівельних робіт при паралельному забезпеченні роботи техніки напряму вад агрегату. Така технологія дуже схожа на сучасне використання дизель-генераторних станцій при забезпеченні роботи в польових умовах засобів малої механізації.

Зрозуміло, що не можна залишати поза увагою і недоліки відповідних відновлювальних джерел енергії. До них відносяться невеликий ККД пристроїв, велика залежність від кліматичних умов, що може призводити до нерівномірності вироблення енергії. Але на початковому етапі існує можливість створювати аналогічні силові модулі з гібридною силовою установкою. Причому обов'язковим компонентом системи повинно бути можливість акумуляування надлишків енергії, яка буде вироблятися в період максимально сприятливих умов (сонячна погода, сприятливий темпе-

ISSN(online)2709-6149. Mining, constructional, road and melioration machines, 97, 2021, 24-35

ратурний режим, швидкий вітер тощо). Враховуючи досягнення та швидкість прогресу в секторі створення різних конструкцій та видів акумуляторів, вже в наш час можна створювати досить компактні та ємнісні системи акумуляування енергії, причому це стосується не лише електричних та хімічних елементів, а і систем з механічним збереженням енергії (кінетичні накопичувачі енергії).

До того ж існує цілий рад винаходів, що можуть значно збільшити ефективність альтернативних енергетичних систем в найближчому майбутньому. Це і аеровисотна вітроенергетика, нові конструкції вітрогенераторів (наприклад ротор Оніпко), вітрові гірлянди. Причому не стоїть на місці й сонячна енергетика, створюючи нові сонячні елементи та покращуючи характеристики існуючих.

## ВИСНОВКИ

В світлі вищевикладеного в статті можна зробити наступні висновки, що відновлювальні джерела енергії швидко розвиваються і найближчим часом будуть активно конкурувати з традиційними способами отримання енергії. Їх переваги достатньо впливові для збереження екологічної рівноваги в природних системах. Тому розширення сфери застосування екологічно чистих технологій є пріоритетним напрямком наукових досліджень в Україні та світі, який підтримується урядами багатьох країн, в тому числі і урядом України.

В подальшому є можливість проведення більш глибоких досліджень за даною тематикою з наступним синтез методик розрахунку основних параметрів відповідних елементів для перевірки можливості конструктивного виконання запропонованих технічних рішень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
2. **Зарубіжний досвід** з підвищення енергетичної ефективності та впровадження нових

технологій виробництва електричної енергії.  
[https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/4.-Efektyvn\\_vyrobn\\_elektroenergiyi.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/4.-Efektyvn_vyrobn_elektroenergiyi.pdf)

3. **Новые ТЭС в Европе** – состояние и перспективы. Энергетика за рубежом, №2, 2013
4. **Nordhaus, W.** (2018), “Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies”, *American Economic Journal: Economic Policy* 10(3), 333–60.
5. **Коробко Б. П., Оніпко О. Ф.** (2005) Енергетична стратегія України: роль і місце поновлювальних джерел енергії // *Винахідник і раціоналізатор*, №1 с. 19-29.
6. **Баладінський В. Л., Фомін А. В.** (2001) Наукові основи динаміки руйнування природних робочих середовищ // *Вісник Академії будівництва України*. – Вип.. 10. – К.: ДП „Укрархбудформ“, С. 34–37.
7. **Фомін А. В., Костенюк О. О., Тетерятник О. А., Боковня Г. І.** (2013) Методика розрахунку основних типів високошвидкісних робочих органів // *Всеукр. збірник наук. праць «Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини»* – Вип. 81. – К.: КНУБА, С. 83–90.
8. **Горбатюк Є.В., Пристайло М.О., Тетерятник О.А.** (2015) Обґрунтування конструктивних особливостей низькоенергоємних динамічних робочих органів та навісок землерийних машин // *Всеукр. збірник наук. праць «Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини»* – Вип. 85. – К.: КНУБА, С. 97–104.
9. <https://mks-group.ru/a/raspredeleonnaya-energetika>
10. [https://go.schneider-electric.com/WW\\_201906\\_Smart-Distribution-Utility-Strategies-that-Maximize-Grid-Efficiency-Content\\_EA-LP-EN.html?source=Content&sDetail=Smart-Distribution-Utility-Strategies-that-Maximize-Grid-Efficiency\\_WW](https://go.schneider-electric.com/WW_201906_Smart-Distribution-Utility-Strategies-that-Maximize-Grid-Efficiency-Content_EA-LP-EN.html?source=Content&sDetail=Smart-Distribution-Utility-Strategies-that-Maximize-Grid-Efficiency_WW)
11. **Кудря С. О.** (2012) Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Підручник / — К. НТУУ «КПІ», — 492 с.
12. **Сергій Савчук:** Здобутки та плани розвитку сонячної енергетики в Україні обговорили із гравцями ринку на конференції «CISOLAR 2019». *saee.gov.ua* (українська). Управління комунікації та зв'язків з громадськістю Держенергоєфективності. 17 квітня 2019.
13. **«Гнучкість** для енергосистеми майбутнього. Вирішення українського „зелено-

- вугільного» парадоксу»  
[https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/power-plants-documents/downloads/white-papers/europe/wartsila-bwp---flexibility-to-future-proof-the-ukrainian-power-system.pdf?sfvrsn=4d4d1444\\_6](https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/power-plants-documents/downloads/white-papers/europe/wartsila-bwp---flexibility-to-future-proof-the-ukrainian-power-system.pdf?sfvrsn=4d4d1444_6)
14. <https://dpssmk.gov.ua/pozytyvni-ta-nehatyvni-aspekty-vykorystannia-vitroenerhetyky/>
  15. **Василюк О., Кривохижа М., Прекрасна Є., Норенко К.** (2015) Вітряні електростанції та зміни клімату / К.: UNCG, 32 с. [https://www.researchgate.net/publication/325343361\\_Vitryni\\_elektrostancii\\_ta\\_zmini\\_klimatu\\_Vasiluk\\_O\\_Krivozhiza\\_M\\_Prekrasna\\_E\\_Norenko\\_K\\_-\\_K\\_UNCG2015\\_32\\_s](https://www.researchgate.net/publication/325343361_Vitryni_elektrostancii_ta_zmini_klimatu_Vasiluk_O_Krivozhiza_M_Prekrasna_E_Norenko_K_-_K_UNCG2015_32_s)
  16. <http://vetrogenerator.com.ua/vetrogenerator/vertikal/719-na-eyfelevu-bashnyu-ustanovili-vetrovye-generatory.html>
  17. **Редчиц, Д. А., Приходько, А. А.** Аэродинамика роторов Дарье и Савониуса // Институт транспортных систем и технологий НАНУ, Украина. Днепропетровский национальный университет, Украина
  18. <https://os1.ru/article/26234-tyagachi-s-elektroprivodom-dlya-buksirovki-vozdushnyh-sudov-pod-znakom-e>
  19. **Хмара Л. А, Кравець С. В., Нічке В. В., Назаров Л.В.** та ін. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. *Машины для земляных работ: Навчальный посібник / Рівне - Дніпропетровськ - Харків. - 2010.*
  20. **Фомін А. В., Костенюк О. О., Тетерятник О. А.** (2018) Аналіз конструкцій та концепції розвитку компактного екскаваторного обладнання // Всеукр. збірник наук. праць «Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини» – Вип. 92. – К.: КНУБА, С. 56–62.
- REFERENCES
1. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
  2. **Zarubizhnyi dosvid** z pidvyshchennia enerhetychnoi efektyvnosti ta vprovadzhennia novykh tekhnolohii vyrobnytstva elektrychnoi enerhii. [https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/4.-Efektyvn\\_vyrobn\\_elektroenergiyi.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/4.-Efektyvn_vyrobn_elektroenergiyi.pdf) (in Ukrainian).
  3. **Novye TES v Evrope – sostoyanie i perspektivy. Energetika za rubezhom, №2.** (2013). (in Russian)
  4. **Nordhaus, W.** (2018), “Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies”, American Economic Journal: Economic Policy 10(3), 333–60.
  5. **Korobko B. P., Onipko O. F.** (2005) Enerhetychna stratehiia Ukrainy: rol i mistse ponovliuvalnykh dzherel enerhii. Vynakhidnyk i ratsionalizator, No.1, 19-29. (in Ukrainian).
  6. **Baladinskyi V. L., Fomin A. V.** (2001) Naukovi osnovy dynamiky ruinuvannia pryrodnykh robochykh seredovysch. Visnyk Akademii budivnytstva Ukrainy, Vol. 10, Kyiv, DP „Ukrarkhbudform“, 34–37 (in Ukrainian).
  7. **Fomin A. V., Kosteniuk O. O., Teteriatnyk O. A., Bokovnia H. I.** (2013). Metodyka rozrakhunku osnovnykh typiv vysokoshvydkisnykh robochykh orhaniv. Girnychy, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, Constructional, Road and Melioration Machines], No. 81, 83–90. (in Ukrainian)
  8. **Horbatyuk Ye. V., Prystailo M. O., Teteriatnyk O. A.** (2015). Obgruntuvannia konstruktyvnykh osoblyvosti nyzkoenerhoiemnykh dynamichnykh robochykh orhaniv ta navisok zemlerynykh mashyn. Girnychy, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, Constructional, Road and Melioration Machines], No.85, 97–104. (in Ukrainian)
  9. <https://mks-group.ru/a/raspredeleonnaya-energetika> (in Russian)
  10. [https://go.schneider-electric.com/WW\\_201906\\_Smart-Distribution-Utility-Strategies-that-Maximize-Grid-Efficiency-Content\\_EA-LP-EN.html?source=Content&sDetail=Smart-Distribution-Utility-Strategies-that-Maximize-Grid-Efficiency\\_WW](https://go.schneider-electric.com/WW_201906_Smart-Distribution-Utility-Strategies-that-Maximize-Grid-Efficiency-Content_EA-LP-EN.html?source=Content&sDetail=Smart-Distribution-Utility-Strategies-that-Maximize-Grid-Efficiency_WW)
  11. **Kudria S. O.** (2012) Netradytsiini ta vidnovliuvani dzherela enerhii: Pidruchnyk, Kyiv, NTUU «KPI», 492. (in Ukrainian)
  12. **Serhii Savchuk:** Zdobutky ta plany rozvytku soniachnoi enerhetyky v Ukraini obhovoryly iz hravtsiamy rynku na konferentsii «CISOLAR 2019». saee.gov.ua (ukrainska). Uprav-linnia komunikatsii ta zviazkiv z hromads-kisti Derzhenerhoefektyvnosti. 17 kvitnia 2019. (in Ukrainian)
  13. «**Hnuchkist** dlia enerhosystemy mai-butnoho. Vyryshennia ukrainskoho „zeleno-vuhilnoho“ paradoksu» [https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/power-plants-documents/downloads/white-papers/europe/wartsila-bwp---flexibility-to-future-proof-the-ukrainian-power-system.pdf?sfvrsn=4d4d1444\\_6](https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/power-plants-documents/downloads/white-papers/europe/wartsila-bwp---flexibility-to-future-proof-the-ukrainian-power-system.pdf?sfvrsn=4d4d1444_6)



- [future-proof-the-ukrainian-power-system.pdf?sfvrsn=4d4d1444\\_6](#) (in Ukrainian)
14. <https://dpssmk.gov.ua/pozytyvni-ta-nehatyvni-aspekty-vykorystannia-vitroenerhetyky/> (in Ukrainian)
  15. **Vasyliuk O., Kryvokhyzha M., Prekrasna Ye., Norenko K.** (2015) Vitriani elektrostantsii ta zminy klimatu /– K.: UNCG, 32 c. [https://www.researchgate.net/publication/325343361\\_Vitriani\\_elektrostantsii\\_ta\\_zmini\\_klimatu\\_Vasi-luk\\_O\\_Krivohiza\\_M\\_Prekrasna\\_E\\_Norenko\\_K\\_-\\_K\\_UNCG2015\\_32\\_c.\\_\(in\\_Ukrainian\)](https://www.researchgate.net/publication/325343361_Vitriani_elektrostantsii_ta_zmini_klimatu_Vasi-luk_O_Krivohiza_M_Prekrasna_E_Norenko_K_-_K_UNCG2015_32_c._(in_Ukrainian))
  16. <http://vetrogenerator.com.ua/vetrogenerator/vertikal/719-na-eyfelevu-bashnyu-ustanovili-vetrovye-generatory.html> (in Russian).
  17. **Redchic, D. A., Prihod'ko, A. A.** Aerodinamika rotorov Dar'e i Savoniusa. Institut transportnyh sistem i tekhnologij NANU, Ukraina. Dnepropetrovskij nacional'nyj universitet, Ukraina (in Russian).
  18. <https://os1.ru/article/26234-tyagachi-s-elektroprivodom-dlya-buksirovki-vozdushnyh-sudov-pod-znakom-e> (in Russian)
  19. **Khmara L. A., Kravets S. V., Nichke V. V., Nazarov L. V.** (2010). Pid zahalnoiu redaktsiieiu prof. Khmary L.A. ta prof. Kravtsia S.V. Mashyny dlia zemlianykh robit: Navchalnyi posibnyk, Rivne-Dnipropetrovsk-Kharkiv. (in Ukrainian)
  20. **Fomin A. V., Kosteniuk O. O., Teteriatnyk O. A.** (2018). Analiz konstruksii ta kontseptsii rozvytku kompaktnoho ekskavatsiinoho obladnannia. Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, Constructional, Road and Melioration Machines], No.92, 56-62. (in Ukrainian)

**Analysis of ways to ensure the energy independence of construction equipment using renewable energy sources**

*Oleksandr Teteriatnyk<sup>1</sup>, Maksym Balaka<sup>2</sup>*

*Kyiv National University of Construction and Architecture*

**Abstract.** In recent years, society has faced the problem of constantly increasing energy consumption. This increases the rate of consumption of minerals. Another problem is the increase in harmful emissions into the Earth's atmosphere. Both problems pose tasks that need to be addressed first.

The most promising sources of "clean" energy today are wind and solar energy. The rapid development of the industry leads to the constant generation of new ideas and new technical solutions both in the industry itself and in related areas of economic activity. The idea of distributed energy generation, which is still implemented by classical technologies, requires a similar application of renewable energy sources in the modern distribution of energy balance.

Given the advantages and disadvantages of different types of wind turbines, it was determined that in the conditions of settlements it is advisable to use wind turbines with a vertical axis. This design allows for small size and dense mutual location to create compact and energy-independent power supply systems for construction equipment.

Given the trends of global manufacturers to expand the range of construction equipment through models type zero emission - without harmful emissions into the atmosphere, will increase the number of batteries that will need to be serviced in enterprises. Such operations can be provided at the expense of distributed generation facilities, which are aggregated by "clean" energy sources.

The introduction of the concept of modular equipment and modular systems of construction equipment allows to develop compact technical solutions in the form of mobile energy modules that can ensure energy independence of individual construction sites. Given the current geopolitical situation in the world, this concept of energy infrastructure can be applied not only in the field of construction.

**Keywords:** renewable energy, distributed energy resources, electric drive; wind turbines, sustainable development.