

ЩОДО ДОЦІЛЬНОЇ СХЕМИ ПРИЄДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДО ПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ

Отримано 02 трав. 2023; рекомендовано до публікації 22 чер. 2023
Доступно онлайн 30 чер. 2023

Ю. Г. Качан¹, О. А. Шрам²

Автор для кореспонденції: Олександр Шрам,
e-mail: alexshrum@yahoo.com

¹ д-р техн. наук., проф.
<https://orcid.org/0000-0001-9984-3646>

² канд. техн. наук, доц.
<https://orcid.org/0000-0003-4206-7716>

Метою роботи є розробка підходу до формування доцільної схеми приєднання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до промислових електромереж. Зростання встановленої потужності ВДЕ на підприємстві може вносити суттєву невизначеність у його енергосистему, погіршити її надійність та енергоефективність, оскільки собівартість електроенергії, згенерованої ВДЕ, перевищує допустиму порівняно з традиційним енергозабезпеченням. Це пов'язано з недостатньою концентрацією вітрових потоків чи сонячного випромінювання в можливих місцях розташування ВДЕ на території підприємства. Крім того, існують певні технічні та організаційні проблеми, що ускладнюють розташування ВДЕ на території, яка не належить підприємству.

У статті наведено характеристики сучасних сонячних батарей та вітроустановок вітчизняних і закордонних виробників, а також розглянуто варіант приєднання сонячної електростанції до електромережі промислового підприємства з використанням мережевого інвертора. Зазначено, що вартість пристрою для перетворення енергії й забезпечення її якості при традиційному підході приєднання ВДЕ до електромережі підприємства становитиме майже 35 % загальної вартості. При диференціації споживачів електроенергії промислових підприємств за жорсткістю вимог щодо її якості доцільним є створення двох окремих локальних мереж: змінного та постійного струму. До першої мережі пропонується приєднувати вітроустановки без блоків якості електроенергії, а до другої – сонячні електростанції та вітроустановки постійного струму. Запропонований підхід дає змогу приєднати до мережі змінного струму споживачів підприємств, які не потребують якісної електроенергії, а до мережі постійного струму – споживачів постійного струму й двигуни змінного струму з частотним керуванням. У роботі розглянута теоретична можливість підключення відновлюваних джерел енергії до електромережі одного з промислових підприємств Запоріжжя із застосуванням запропонованого підходу. Показано, що порівняно з потужністю всіх інверторів, які потрібно було б використати в разі традиційного підключення вибраних ВДЕ до електромережі підприємства, потужність загального мережевого інвертора становитиме не більше 18 %. Бібл. 12, рис. 2, табл. 2.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, сонячна електростанція, вітроустановка, електрична мережа, інвертор.

TO THE ISSUE OF THE APPROPRIATE SCHEME FOR CONNECTING RENEWABLE ENERGY SOURCES TO INDUSTRIAL POWER GRIDS

Received 02 May. 2022; accepted 22 Jun. 2023
Available online 30 Jun. 2023

Yu. Kachan¹, O. Shram²

Author for correspondence: Mykola Kuznetsov,
e-mail: renewable@ukr.net

¹ Dr. Sc. (Tech.), Prof.
<https://orcid.org/0000-0001-9984-3646>

² Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.
<https://orcid.org/0000-0003-4206-7716>

The aim of the study is to develop an approach to forming an appropriate scheme for connecting renewable energy sources (RES) to industrial power grids. An increase in the installed capacity of renewable energy sources at an enterprise can introduce significant uncertainty into its power

system, worsen its reliability and energy efficiency, as the cost of electricity generated by renewable energy sources exceeds the permissible cost compared to traditional energy supply. This is due to the insufficient concentration of wind flows or solar radiation in the possible locations of RES on the enterprise's territory. In addition, there are certain technical and organizational problems that make it difficult to locate RES on territory that does not belong to the enterprise.

The article describes the characteristics of modern solar panels and wind turbines manufactured in Ukraine and abroad, and also considers the option of connecting a solar power plant to the power grid of an industrial enterprise using a grid inverter. It is noted that the cost of the device for energy conversion and ensuring its quality with the traditional approach of connecting RES to the enterprise's power grids will amount to almost 35% of the total cost. In order to differentiate industrial electricity consumers by the rigidity of their quality requirements, it is advisable to create two separate local grids: AC and DC. It is proposed to connect wind turbines without power quality units to the AC grid, and solar power plants and DC wind turbines to the DC grid. The proposed approach makes it possible to connect consumers of enterprises that do not require high-quality electricity to the AC grid, and DC consumers and frequency-controlled AC motors to the second grid. The paper considers the theoretical possibility of connecting renewable energy sources to the power grid of one of the industrial enterprises of Zaporizhzhia using the proposed approach. It is shown that, compared to the capacity of all inverters that would have to be used in the traditional connection of selected RES to the enterprise's grid, the capacity of the grid-wide inverter will be no more than 18%. Bible 12, fig. 2, tab. 2.

Keywords: renewable energy sources, solar power plant, wind turbine, power grid, inverter.

Перелік використаних позначень та скорочень

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

СЕС – сонячна електростанція

Вступ і постановка завдання. Відомо, що обсяги електроенергії, згенерованої відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), у світі загалом постійно зростають. Зараз енергія сонця й вітру стає одною з головних альтернатив створення чистої та безпечної енергетики. Тож окрім використання зазначених джерел для індивідуального енергозабезпечення чи будівництва електростанцій загального призначення їх почали використовувати у своїх власних мережах навіть деякі досить потужні промислові підприємства [1].

Звісно, що з технічного погляду до електромережі підприємства можна підключити достатню кількість зазначених потужностей. Однак це може внести суттєву невизначеність у його енергосистему, погіршити її надійність та енергоефективність. Останнє обумовлено тим, що вартість інтеграції відновлюваних джерел в енергосистему підприємства зазвичай перевищує допустиму порівняно з традиційним енергозабезпеченням.

Загалом питанню поліпшення енергоефективності, як і електромагнітної сумісності чи якості електроенергії у внутрішньозаводських мережах, приділено достатньо уваги в багатьох наукових працях, таких, наприклад, як [2–4]. Та, на жаль, особливості використання ВДЕ задля цього в них не розглянуті. Одна з перших робіт у зазначеному напрямі з'явилася лише зараз [5]. У ній ідеться про вибір типів і кількості вітроелектроустановок, які можуть бути встановлені на виділених для цього земельних ділянках відчуження підприємств у такий спосіб,

щоб забезпечити мінімальні коливання згенерованої ними потужності.

У цій статті розглянуті навіть питання щодо мінливості вітру в просторі і за часом, вплив якої суттєво зменшується, як зазначено в [6], при виділенні значної площі для розміщення вітроустановок. Розосередження останніх по ній зменшує, як відомо, ще й кількість годин нульової потужності отриманих у такий спосіб додаткових джерел енергії [7]. Але ж доцільні схеми приєднання цих джерел до електромереж підприємств у ній також не розглядаються.

Загальновідомо, що промислові підприємства фактично не можуть розташовувати генерувальні об'єкти на основі ВДЕ у місцях достатньої концентрації вітрових потоків чи сонячного випромінювання, якщо вони розміщені не на їхній території. Це обумовлено організаційними й технічними проблемами, як-от:

- ускладнена процедура отримання дозволів та погоджень на будівництво таких об'єктів поза межами самого підприємства чи розміщення електричних мереж і комунікацій, необхідних для цього, над землями державної й приватної власності;
- значні обсяги втрат електроенергії й потужності у зазначених електромережах через їх доволі велику протяжність.

Тож за таких умов розміщення вітрових чи сонячних електроустановок на території самого підприємства є

єдино можливим і її доцільність має бути обумовлена виключно собівартістю отримуваної електроенергії. А вона, звісно, залежить ще й від того, що застосовувати у цьому разі заохочувальний, так званий зелений, тариф буде теж проблематично. Звідси стає зрозумілим, що використання відновлюваних джерел енергії промисловими підприємствами у власних електромережах потребує нових нетрадиційних рішень щодо мінімізації вартості проєктів, які необхідно реалізувати задля цього.

Матеріал і результати досліджень. Зараз сонячні та вітрові установки зазвичай приєднуються безпосередньо до електромереж підприємств після попереднього забезпечення якості згенерованої ними електроенергії. Тож вони складаються фактично з трьох частин: генерувальної, тієї, що забезпечує мережу змінним струмом відповідної якості та конструкцій для монтажу системи в цілому. На ринку послуг щодо кожної з них працює вже

велика кількість як вітчизняних, так і закордонних фірм, які мають достатній досвід у їх виготовленні, постачанні та налагодженні в умовах конкретного замовника. Інформація щодо технічних характеристик і вартості пропонує виробів подається на відповідних сайтах.

Якщо створити сонячну електростанцію (СЕС) потужністю, наприклад, 10 кВт на базі будь-якого модуля з табл. 1, використовуючи при цьому мережевий інвертор Omron KP 100L-OD-EU, виготовлений в Японії чи Голландії, то її принципова схема матиме вигляд, представлений на рис. 1. Очевидно, що користувач може підключити таку електростанцію до різних ТП підприємства, попередньо узгодивши, відповідно, потоки енергії, оскільки вона має три МРРТ трекери, які працюють незалежно один від одного. Останні зберігають потужність у шині постійного струму за допомогою підсилювача DC/DC.

Таблиця 1. Характеристика сучасних сонячних батарей вітчизняних та закордонних виробників

Table 1. Characteristics of modern solar panels of Ukrainian and foreign manufacturers

Сонячна панель	Діапазон потужності, Вт	Тип основності фотомодуля	Сертифікація в ЕС	Орієнтовна вартість, дол. США	Виробник
1	2	3	4	5	6
SK6610MHV	305–310	монокристал.	IEC 61215 / IEC 61730 ISO 9001:2015	103	AKCOME
RSM 150-8-480M	480–505	монокристал.	+	160	Risen
Vertex Bifacial TSM-DEG18MC.20(II)	485–505	монокристал.	+	210	Trina Solar
Honey M DE08M(II)	360–380	монокристал.	+	158	Trina Solar
KD-250P-60	200–250	полікристал.	+	160	KDM Solar
JAM72D20 440-465/MB	440–465	монокристал.	+	224	JA Solar
JAP60S09 270-290/SC	270–290	полікристал.	+	103	JA Solar
JAM72D10 400-420/MB	400–420	монокристал.	+	150	JA Solar
JAM60S10 320-340/MR	320–340	монокристал.	+	155	JA Solar
HCP72X9-355W	355–375	полікристал.	+	138	DAH Solar
DHP72	320–330	полікристал.	+	180	DAH Solar
PS 270-290	270–290	полікристал.	+	120	ТОВ «Пролог Семикор», Україна
AS-6P30	250–285	полікристал.	+	96	AmeriSolar
SRP-330-6PA	325–340	полікристал.	+	137	SERAPHIM Solar
KV200-250P	200–250	полікристал.	+	290	ПП «Еко-СТ», Україна

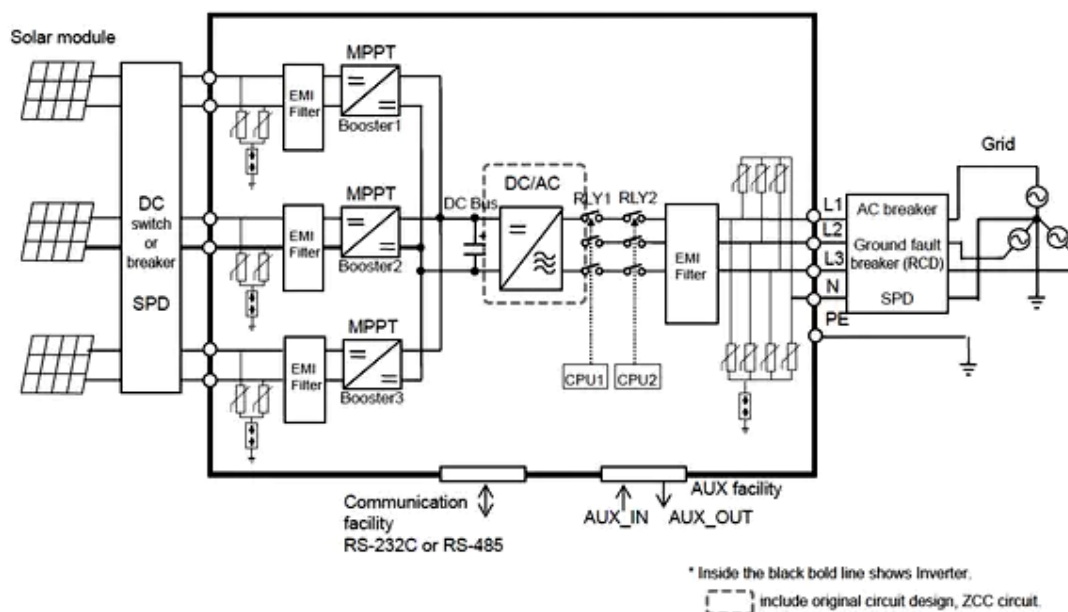


Рис. 1. Принципова схема сонячної електростанції потужністю 10 кВт на основі інвертора KP100L-OD-EU.

Fig. 1. Schematic diagram of a 10 kW solar power plant based on the KP100L-OD-EU inverter

СЕС за наведеною щойно схемою може забезпечити виробництво достатньо великих обсягів потужності при необхідній для її приєднання до електромереж підприємства протяжності лінії електропередачі. Якщо використати, наприклад, полікристалічні модулі KD-250P-60 KDM Solar, то для реалізації СЕС знадобиться їх 40 штук. Площа для розміщення такої кількості модулів, згідно з [11], при їх нахилі до горизонту в 45° та висоті Сонця щодо останнього 15° повинна бути більшою на 35 %, ніж загальна площа самих панелей. При цьому необхідна відстань між рядами останніх становитиме 1,4 м, тож для реалізації згаданої електростанції необхідно мати площу, наприклад даху цеху, не менше 150 м^2 . Загальна ж вартість геліоперетворювачів у цьому разі становитиме близько 6000–6500 дол. США при ціні інвертора 2000–2500 дол. Отже, пристрій для перетворення енергії й забезпечення її якості у зазначених обсягах становитиме майже 35 % загальної вартості.

Що ж до комплектації різних типів вітроустановок, то вона залежить від того, яку вихідну напругу мають їх вітротурбіни: постійну чи змінну. Основними компонентами в них є вітрогенератор, лопаті й щогли, до яких додаються випрямляч, контролер, автоматичний перемикач джерела живлення (АВР), анемоскоп з датчиком напрямку вітру, акумуляторні батареї й, нарешті, той же інвертор. Випрямляч використовується, звісно, у вітроустановках з генератором змінного струму. Контролер відповідає за положення лопатей і заряд акумуляторів, АВР перемикає споживача на інше джерело живлення за відсутності основного, акумулятори накопичують електроенергію й вирівнюють (стабілізують) вихідну напругу. Що ж до інвертора, то він перетворює струм, який виробляє вітротурбіна, в змінний необхідної споживачу якості.

Найпростіший з останніх перетворює струм в однофазний, чи навіть трифазний, напругою 220/380 В з умовно

модифікованою (тільки наближеною) синусоїдою, тобто такий, який має достатньо велику кількість гармонічних складових. Зазвичай же використовується складніший і дорожчий з чистою синусоїдою. Що ж до зазначених вище мережевих інверторів, то вони відрізняються від попередніх тим, що дозволяють ВДЕ працювати без акумуляторів у поєднанні з іншою мережею, віддаючи їй чи споживаючи з неї електроенергію. Вартість цих пристроїв у два-три рази більша, ніж мережевих.

Порівнюючи з прайсами виробників (табл. 2), аналогічно попередньому випадку з СЕС, вартості вітрогенераторів й інверторів з випрямлячами, можна зробити висновок, що останні складають близько 25–30 % їх загальної вартості. Зазначене свідчить про те, що собівартість електроенергії, згенерованої такими ВДЕ, у разі їх використання на підприємствах може коливатися в значних межах. І це залежить як від комплектації, так і від схеми їх приєднання до електромережі останніх.

З огляду на вищевикладене і на запропонований в роботі [8] підхід до диференціації споживачів електричної енергії промислових підприємств за жорсткістю вимог щодо її якості, логічним є створення двох окремих локальних мереж. Джерелом першої з них були б вітроустановки з одними лише генераторами без блоків забезпечення якості електроенергії взагалі, а джерелом другої – СЕС та вітроустановки постійного струму. Тобто остання фактично повинна бути мережею постійного струму.

До першої з цих мереж можна було б приєднати необхідну кількість споживачів електричної енергії, які не потребують якісної електроенергії, таких, наприклад, як печі опору, дугові сталеплавильні печі, установки електронагріву тощо. До другої – споживачів електроенергії постійного струму, таких як зварювальні установки, двигуни постійного, чи навіть змінного з частотним керуванням, струму тощо. Доцільність такого підключення

останніх розглянута, до речі, в роботі [9]. Блок-схема {структурна схема} запропонованого приєднання відновлюваних джерел енергії через зазначені локальні мережі до електромереж промислових підприємств наведена на рис. 2.

За запропонованою схемою замість достатньо великої кількості засобів забезпечення якості електроенергії, якими були б укомплектовані всі наявні ВДЕ, використовуються лише два інвертори: модифікованої синусоїди і мережевий інвертор. Очевидно, що вони матимуть при цьому незначну потужність, оскільки основні обсяги енергії, згенерованої такими відновлюваними джерелами, будуть використані до приєднання цієї комбінованої локальної мережі до загальної мережі підприємства. Тож щодо економічної доцільності такого підключення немає сумнівів. Одночасно суттєво зменшиться варіативність взаємодії ВДЕ з загальною електромережею й покращиться їх електромагнітна сумісність.

Слід зазначити, що залежно від обсягів навантаження запропонованої локальної комбінованої мережі на підприємстві, можливостей використання на його території ВДЕ й ступеня їх розосередження, вона може бути або загальнозаводською, або власною для кожного цеху.

Для прикладу розглянута можливість такого приєднання ВДЕ до електромережі одного з промислових підприємств м. Запоріжжя, яке через зрозумілі корпоративні застереження не називається.

Площа дахів трьох його цехів, де потенційно можуть бути встановлені СЕС, – близько 6560 м². Потужність реалізованої на них СЕС, наприклад з використанням панелей Vertex Bifacial TSM-DEG18MC.20(II) (табл. 1), дорівнюватиме 712,5 кВт. На загальній ділянці відчуження підприємства може бути встановлено 60 вітроустановок незначної потужності, наприклад WRE.060/6 (табл. 2), близько 5 кВт кожна. Ця вітроелектростанція здатна згенерувати майже 300 кВт потужності.

Враховуючи те, що генерація електроенергії відновлюваними джерелами енергії має стохастичний характер та суттєво залежить від погодних умов, коефіцієнт використання цих ВДЕ у зазначеному регіоні становить близько 0,5 [12]. Отже, можна вважати, що у підприємства є можливість мати власну додаткову генерацію понад 500 кВт.

До того ж, якщо при цьому вибрати вітроустановки відповідно до методики, наведеної у роботі [5], й використати накопичувач електроенергії достатньої у зазначеному випадку ємності, можна буде суттєво зменшити випадкові коливання обсягу цієї генерації в часі.

Таблиця 2. Характеристика сучасних вітроустановок вітчизняних та закордонних виробників

Table 2. Characteristics of modern wind turbines of Ukrainian and foreign manufacturers

Вітрогенератор	Діапазон потужності, кВт	Тип ВЕУ	Сертифікація в ЕС	Орієнтовна вартість, дол. США	Виробник
1	2	3	4	5	6
СВ 3.1/200	1–3	горизонт.	IEC 61215 / IEC 61730 ISO 9001:2015	2216	Світ вітру, Україна
СВ-4.4/400	2–6	горизонт.	+	4235	Світ вітру, Україна
EuroWind 2	2–3	горизонт.	+	2700	EuroWind
EuroWind 5	5–6.4	горизонт.	+	7900	EuroWind
EuroWind VS-01	1,0–1,	вертик.	+	4650	EuroWind
EuroWind VS-03	3,0–3,6	вертик.	+	10 650	EuroWind
Вітрогенератор	Діапазон потужності, кВт	Тип ВЕУ	Сертифікація в ЕС	Орієнтовна вартість, дол. США	Виробник
Landmark 1500	1,5–1,7	горизонт.	+	9840	Landmark, Німеччина
Landmark 3000	3,0–3,4	горизонт.	+	13 600	Landmark, Німеччина
WRE.060/6	2–6	вертик.	+	16 700	Ropatec S.P.A

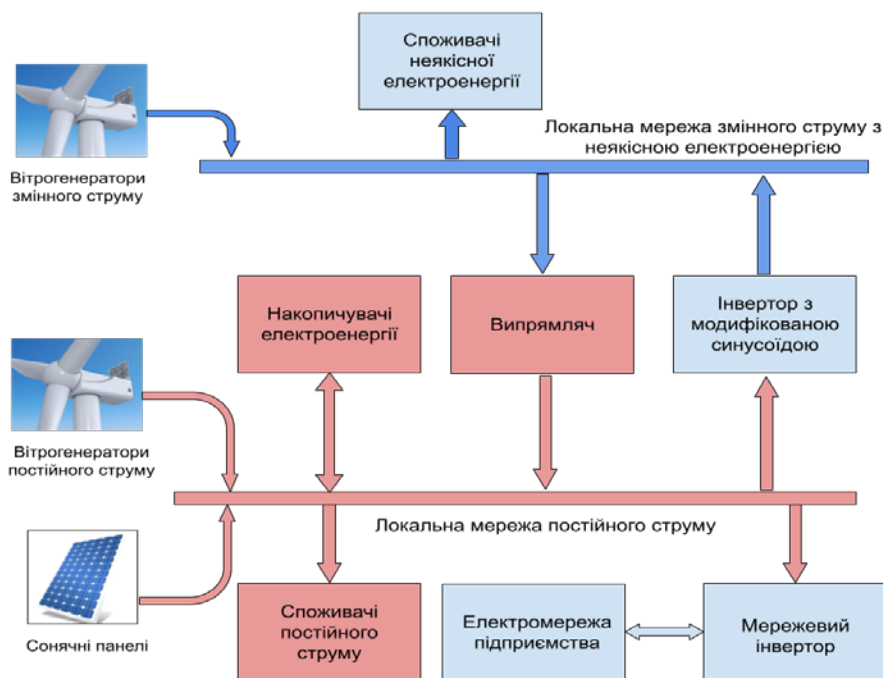


Рис. 2. Блок-схема підключення відновлюваних джерел енергії до електромережі промислового підприємства

Fig. 2. Block diagram of connecting renewable energy sources to the power grid of an industrial enterprise

До зазначеної локальної мережі на цьому підприємстві можуть бути приєднані електроспоживачі змінного струму, робота яких не суттєво залежить, або й зовсім не залежить, від показників якості електроенергії, як-от зварювальні, підйомно-транспортні установки й ті, що використовуються для електронагріву. Їх загальна потужність становить близько 200 кВт. Навантаженням мережі постійного струму в цьому разі можуть бути споживачі потужністю 210 кВт. Таким чином, потужність загального мережевого інвертора, через який така локальна мережа підприємства буде приєднана до основної, становитиме всього лише 90 кВт.

У порівнянні з потужністю всіх інверторів, які потрібно було б використати при традиційному підключенні зазначених ВДЕ до електромережі підприємства, це становитиме не більше 18 %, а отже, суттєво зменшиться вартість реалізації проекту. Можна лише уявити, як при цьому покращиться електромагнітна сумісність мереж, якість електроенергії в основній з них і, звісно, зменшаться небажані перетоки останньої.

Висновки

1. Сьогодні підключення ВДЕ до електромереж промислових підприємств є проблематичним, оскільки призводить до суттєвої невизначеності останніх, погіршення якості електроенергії в них й енергоефективності в цілому.
2. Собівартість електроенергії, отриманої від ВДЕ, розташованих на території промислових підприємств, перевищує допустиму, порівняно з традиційним енергозабезпеченням, через низький коефіцієнт їх використання в зонах земельного відчуження останніх, де недостатня концентрація вітрових потоків чи сонячного випромінювання, а розташовувати згадані джерела в більш прийнятних місцях поза територію підприємств занадто проблематично.
3. Підключення конкретних ВДЕ до різних підстанцій підприємства й забезпечення при цьому необхідної якості згенерованої ними електроенергії призводить до

значних додаткових грошових витрат, а отже, і зростання собівартості останньої.

4. Використання ВДЕ промисловими підприємствами у власних електромережах потребує додаткових нетрадиційних рішень задля мінімізації вартості проектів, які необхідно реалізувати задля цього.

5. Пропонується створювати дві окремі взаємопов'язані локальні мережі (мережу змінного струму з неякісною електроенергією та мережу постійного струму), до яких приєднуються відповідні ВДЕ без блоків забезпечення якості електроенергії взагалі. Такий підхід дає змогу до першої з них підключати споживачів підприємств, які не потребують якісної електроенергії, а до другої – споживачів постійного струму й двигуни змінного струму з частотним керуванням.

6. Запропонована схема приєднання ВДЕ до мереж підприємств через зазначені взаємопов'язані локальні мережі дає можливість не забезпечувати якість більшої частини згенерованої ними електроенергії й використовувати лише два інвертори значно меншої потужності, суттєво зменшивши собівартість проектів, що реалізуються.

ПОСИЛАННЯ

1. Md Kashif Gohar Deshmukh, Mohd Sameeroddin, Daud Abdul, Mohammed Abdul Sattar, Renewable energy in the 21st century: A review. Materials Today: Proceedings. 2021, ISSN 2214-853, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.501>.
2. Электромагнитная совместимость потребителей: монография / И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк, Ю. Л. Саенко; Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет". М.: Машиностроение. 2012. 351 с.

3. Lumbreras, D., Gálvez, E., Collado, A., Zaragoza, J. Trends in Power Quality, Harmonic Mitigation and Standards for Light and Heavy Industries: A Review. *Energies* 2020. 13. 5792. <https://doi.org/10.3390/en13215792>.
4. Забезпечення електромагнітної сумісності в локальних електричних мережах / А. К. Шидловський [та ін.]. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. Нові рішення в сучасних технологіях. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. New solutions in modern technology : зб. наук. пр. Харків : НТУ "ХПІ". 2018. № 26 (1302). Т. 1. С. 174–183.
5. Yu. G. Kachan, V. V. Kuznetsov, O. A. Shram. Minimization of power fluctuations of wind power plants when constructed in exclusion zones of enterprises. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. (1): 115–121. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/115>.
6. Thomas Ackermann. Wind Power in Power Systems: John Wiley & Sons. Apr 23, 2012. Technology & Engineering. 1120 p.
7. European Wind Energy Association. Large scale integration of wind energy in the European power supply: analysis, issues and recommendations. Brussel. 2015. 234 p.
8. Качан Ю. Г., Шрам О. А. Щодо доцільних обсягів якісної енергії в електромережах підприємств. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). 2022. № 1. С. 121–131. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.40.2022.15>.
9. Качан Ю. Г., Шрам О. А., Сверхун А. В. Можливості зменшення впливу ЧРП на якість електроенергії в мережах підприємств та вартості його використання. Електротехніка та електроенергетика. 2022. № 3.
10. Mohammad Seyed. Evaluation of the DFIG wind turbine built-in model in PSS/E. Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden. 2009. 44 p.
11. Качан Ю. Г., Кузнецов В. В. Щодо практичного застосування відновлюваних джерел енергії в системах живлення нетягових споживачів. Гірничо-електромеханіка та автоматика. 2019. № 102. С. 21–25.
12. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей 2019 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrenergexport.com/sites/default/files/2020-03/zvitotcinkividpovidnosti-generuyuchyhpotugnostey-2019-200313120710.pdf>.
3. Lumbreras, D., Gálvez, E., Collado, A., Zaragoza, J. Trends in Power Quality, Harmonic Mitigation and Standards for Light and Heavy Industries: A Review. *Energies* 2020. 13. 5792. <https://doi.org/10.3390/en13215792>.
4. Zabezpechennia elektromahnitnoi sumisnosti v lokal'nykh elektrychnykh merezhakh [Ensuring electromagnetic compatibility in local power grids] / A. K. Shydlovs'kyj [ta in.]. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Ser. Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. New solutions in modern technology : zb. nauk. pr. Kharkiv : NTU "KhPI". 2018. № 26 (1302). Т. 1. Р. 174–183. [in Ukrainian].
5. Yu. G. Kachan, V. V. Kuznetsov, O. A. Shram. Minimization of power fluctuations of wind power plants when constructed in exclusion zones of enterprises. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. (1): 115–121. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/115>.
6. Thomas Ackermann. Wind Power in Power Systems: John Wiley & Sons, Apr 23, 2012. Technology & Engineering. 1120 p.
7. European Wind Energy Association. Large scale integration of wind energy in the European power supply: analysis, issues and recommendations. Brussel. 2015. 234 p.
8. Kachan Yu. H., Shram O. A. Schodo dotsil'nykh obsiahiv iakisnoi enerhii v elektromerezhakh pidpriemstv [To the issue of reasonable amount of quality energy in the enterprises' power grids]. Zbirnyk naukovykh prats' Dniprovsk'oho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu (tekhnichni nauky). 2022. № 1. Р. 121–131. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.40.2022.15>. [in Ukrainian].
9. Kachan Yu. H., Shram O. A., Sverhun A. V. Mozhlyvosti zmenshennia vplyvu ChRP na iakist' elektroenerhii v merezhakh pidpriemstv ta vartosti yoho vykorystannia [Possibilities to reduce the impact of VFD on the quality of electric power in the networks of enterprises and the cost of its use]. *Elektrotekhnika ta elektroenerhetyka*. 2022. № 3. [in Ukrainian].
10. Mohammad Seyed. Evaluation of the DFIG wind turbine built-in model in PSS/E. Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden. 2009. 44 p.
11. Kachan Yu. H., Kuznetsov V. V. Schodo praktychnoho zastosuvannia vidnovliuvanykh dzherel enerhii v systemakh zhyvlennia netiahovykh spozhyvachiv. [On the practical application of renewable energy sources in non-traction consumer power systems]. *Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka*. 2019. № 102. Р. 21–25. [in Ukrainian].
12. Zvit z otsinky vidpovidnosti (dostatnosti) heneruiuchykh potuzhnostey 2019 [Elektronnyj resurs] [Report on the assessment of compliance (sufficiency) of generating capacities 2019]. URL: <http://www.ukrenergexport.com/sites/default/files/2020-03/zvitotcinkividpovidnosti-generuyuchyhpotugnostey-2019-200313120710.pdf>. [in Ukrainian].

REFERENCES

1. Md Kashif Gohar Deshmukh, Mohd Sameeroddin, Daud Abdul, Mohammed Abdul Sattar, Renewable energy in the 21st century: A review. *Materials Today: Proceedings*. 2021, ISSN 2214-853, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.501>.
2. Elektromahnytnaia sovместymost' potrebytelej: monografyia [Consumer electromagnetic compatibility : a monograph] / Y.V. Zhezhel'enko, A. K. Shydlovskiy, H. H. Pyvniak, Yu. L. Saenko; Hosudarstvennoe vysshee ucheb-noe zavedenye "Natsyonal'nyj hornyj unyversytet". M.: Mashynostroenye. 2012. 351 p. [in Russian].