

МАЛОГУЛКО Ю. В.

Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-6637-7391>
juliya_malogulko@ukr.net

ПОВСТЯНКО К. О.

Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-5501-662X>
Ekaterina.povstyanko@gmail.com

ЗАТХЕЙ М. В.

Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0001-5480-5187>
maxzatkhey@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВОК З СИСТЕМАМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

В роботі досліджено проблематику інтегрування таких елементів електроенергетичної системи як: промислові накопичувачі енергії та безпосередньо вітроелектроустановки. Різке зростання частки такого виду електроенергії формує ряд питань, що потребують вирішення, в першу чергу – стохастичний характер їх роботи. Вирішення цієї проблеми є актуальним не лише з точки зору усунення явища нерівномірності генерування енергії за допомогою вітроелектроустановки, оскільки вітер є мінливим джерелом енергії, а й підвищення показників взаємодії потоку вітру з лопатями генератора, тобто збільшення проникності вітру.

Ключові слова: вітроелектроустановки, системи накопичення енергії, акумуляторні батареї.

Yuliya MALOHULKO, Katerina POVSTIANKO, Maksim ZATKHEI
Vinnitsia National Technical University

RESEARCH OF THE WIND POWER PLANTS GENERATION WITH ENERGY STORAGE SYSTEMS

In this work, the problem of integration of such elements of the electric power network as: industrial energy storage and directly wind generators is investigated. The sharp increase in the share of this type of electricity creates a number of issues that need to be resolved, first of all, the stochastic nature of the work. Solving this problem is relevant not only from the point of view of eliminating the phenomenon of uneven energy generation using a wind turbine, since wind is a variable source of energy, but also increasing the indicators of the interaction of the wind flow with the generator blades, i.e. increasing the permeability of the wind. This problem was noticed during the study of the operation of modern wind systems, especially the period of operation during direct start-up and in the presence of low wind speed, and therefore the efficiency is minimal. In this case, the use of energy storage systems is the best option for integration, as it allows not only to store energy, but also to increase the level of reliability of electricity supply.

The work includes an overview of several variations of the location of wind power plants and energy storage systems: local, distributed, centralized. The use of one or another option depends on the size and load of the direct network. In addition, two models of energy storage were investigated in the work: storage in the rear part of the installation and storage in the front part of the installation. The study showed that using the option when the storage systems are located in the front part of the installation increases the weight of the nacelle, which is a negative factor, but installing it in the rear part or next to it increases the level of losses, which is an equally significant factor. In general, the installation of storage systems will complicate the immediate work, and also increase the cost, but in view of the future perspective, the solution to these issues is fully justified. Having solved the technological questions that gradually arise, the process of generating energy based on wind turbines and its synchronized storage will satisfy other important questions.

Keywords: wind power plants, energy storage systems, batteries.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Збільшення кількості електроенергії, що виробляється відновлюваними джерелами, зокрема вітроенергетичними установками, ставить нові виклики для електричних мереж, які працюють у умовах підвищених навантажень. Адже такого типу установки мають стохастичний характер генерування через мінливість вітрового потоку, погодні умови, пору року і т.д. Сучасні системи електропостачання повинні вміти балансувати попит та пропозицію в будь-який момент, мати більш гнучке керування та забезпечувати оптимізовану ефективність використання енергії [1].

Системи накопичення електричної енергії є одним із найбільш швидко зростаючих секторів електроенергетики, у період з 2010 по 2020 роки сектор зріс майже у 50 разів, середньорічні темпи зростання становили 47%. На рис. 1 представлена динаміка зростання зазначений період.

Причиною підвищення загальноосвітнього інтересу до систем накопичення електричної енергії стало зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в сучасній енергетиці. При використанні ВДЕ, зокрема вітроелектроустановок та сонячних електричних станцій, досить важко здійснювати контроль за величинами генеруючих потужностей для конкретного проміжку часу. Ми не можемо підлаштувати швидкість вітру або інтенсивність сонячного випромінювання, виходячи з потреб споживача. Такі типи ВДЕ можуть працювати більш оптимально при використанні разом із системами накопичення електричної енергії. Необхідно враховувати, що місце установки в даному випадку буде безпосередньо біля генерування на основі ВДЕ [2].

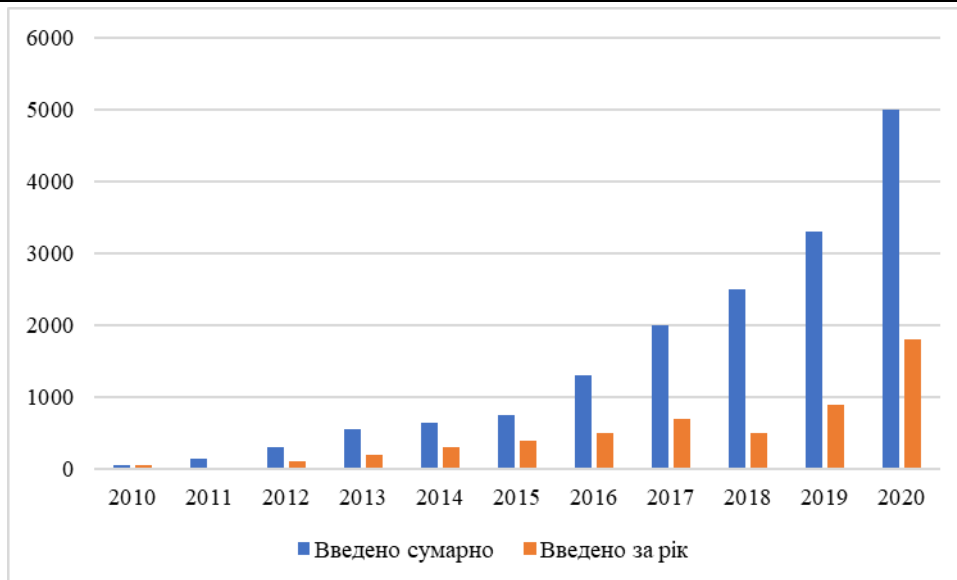


Рис. 1. Динаміка введення систем накопичення електричної енергії в світі за 10 років

Найважливішим компонентом енергопереходу, що забезпечує глибшу електрифікацію та поширення ВДЕ є розвиток технологій накопичення енергії та здешевлення її зберігання. Іншими словами, як основну проблему пропонується розглянути ефективну інтеграцію генерації на основі ВДЕ, а саме – на основі вітроелектроустановок а також підвищення ефективності та їх частки в енергетичному балансі енергосистеми за допомогою застосування систем накопичення електроенергії.

Зберігання є ланкою-посередником між різними джерелами та способами використання енергії.

Зі збільшенням встановленої потужності відновлюваних джерел електроенергії, у енергосистемі відбуваються суттєві перепади рівня генерації електроенергії через періодичність і випадковість їх роботи, тому накопичення енергії використовується в першу чергу для пом'якшення та згладжування таких перепадів, а також такі системи накопичення дають можливість реалізації зсуву в часі видачі енергії в мережу, за рахунок чого збільшується надійність і гнучкість роботи енергосистеми.

Аналіз досліджень та публікацій

Питання інтенсивного розвитку такого напрямку як «генерація-мережа-навантаження-накопичення» є необхідним на тлі таких масштабних понять як побудова Smart Grid [3-5]. В [6] зазначено, що на сьогоднішній день вивчення накопичення енергії включає два аспекти:

- технологію накопичення енергії;
- ємність для накопичення.

Існують накопичувачі енергії на стисненому повітрі, накопичувачі з насосом, накопичувачі на маховику, різні типи накопичувачів енергії в батареях, накопичувачі водневої енергії, надпровідні магнітні накопичувачі та інші типи зберігання енергії [7].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження питань згладжування різких коливань генерування електроенергії вітроелектроустановками та інтегрування їх роботи з системами накопичення електричної енергії.

Виклад основного матеріалу

На сьогоднішній день системи накопичення електричної енергії є недостатньо стандартизованими та уніфікованими. Розглянемо наступні типи систем накопичення електричної енергії (рис. 2):

- локальна система накопичення електричної енергії;
- розподілена система накопичення електричної енергії;
- централізована система накопичення електричної енергії.

Локальне накопичення енергії відбувається одразу після її генерування, а генератор і накопичувач енергії по-суті є комбінацією «один до одного». Такий метод доцільно використовувати у випадку мікромережі або ж великомасштабної системи. Розподілене накопичення енергії в основному призначене для розподіленої генерації, а генератор і накопичувач енергії утворюють комбінації «декілька до одного» або ж «один до одного». Централізоване накопичення енергії в основному призначене для накопичення енергії великої ємності, що формуються з великої кількості систем вітроелектроустановок або вітрових електростанцій, а взаємозв'язок між генератором і накопичувачем енергії є комбінацією «декілька до одного».

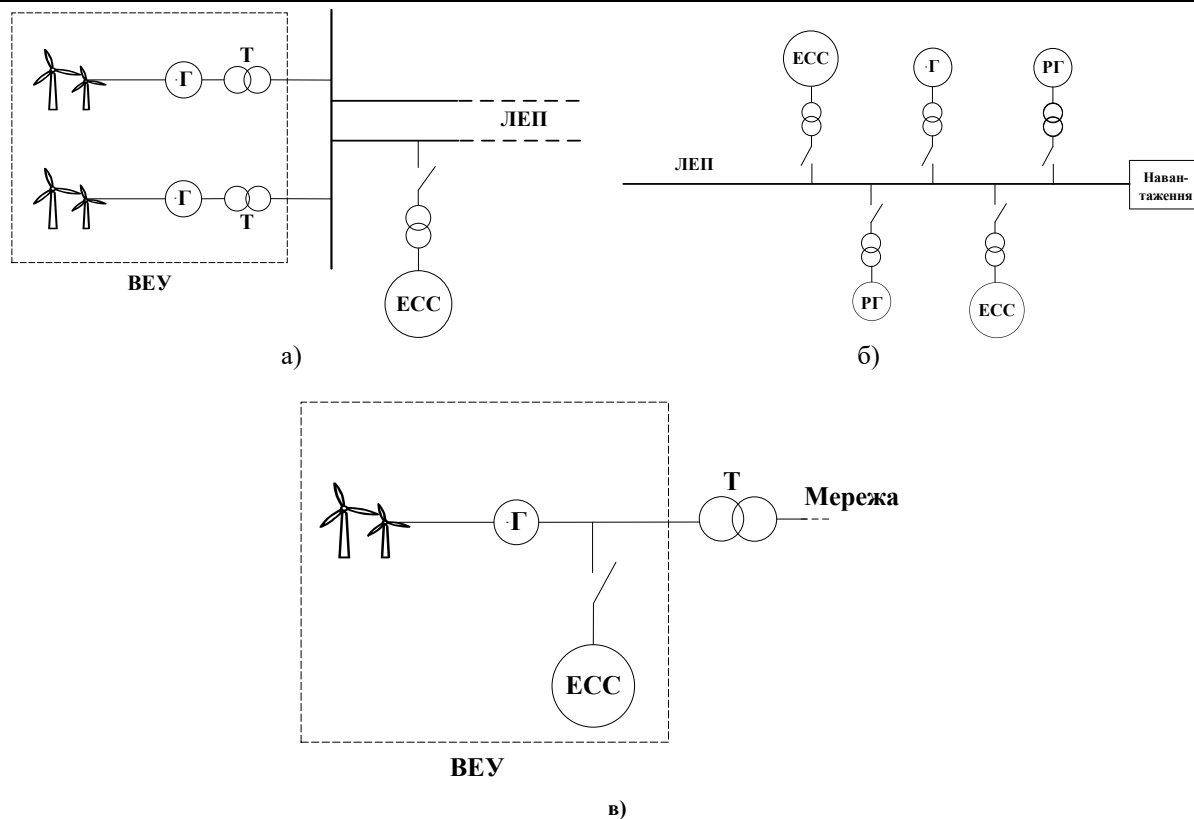


Рис. 2. Системи накопичення електричної енергії: а – локальна, б – розподілена, в – централізована: ЕСС – електроенергетична система, Г – генератор, Т – трансформатор, ВЕУ – вітроелектроустановка, ЛЕП – лінія електропередавання, РГ – розподілене генерування

Розглядаючи накопичення енергії, як складову Smart Grid, можна стверджувати, що даний захід буде активно використовуватися задля компенсації реактивної потужності енергосистеми. Проте, при цьому будуть присутні певні недоліки з точки зору економічної доцільності використання електричної мережі, але можливість стабілізувати вихідну потужність, підтримати стабільність системи та можливість збільшення кількості ВДЕ у вигляді ВЕС, демонструє суттєві позитивні аспекти. Енергетична система повинна працювати в балансі між вихідною потужністю та навантаженням, тоді як генерація відновлюваної енергії часто не має можливості регулюватись у реальному часі, але ми можемо тимчасово досягти зміщення піку даного небалансу, в першу чергу, за рахунок можливості реалізації двонаправленого потоку енергії накопичувача.

Сучасні основні моделі вітроелектроустановок потужністю до 5 МВт складаються з індукційного генератора із подвійним живленням, синхронного генератора із постійним магнітом з прямим приводом і синхронного генератора з постійним магнітом із напівпрямим приводом. Основна перевага індукційного генератора з подвійним живленням полягає в його невеликих розмірах і легкій вазі, а основним недоліком є висока частота відмов редуктора. Перевагою синхронного генератора з постійним магнітом із прямим приводом є зменшення втрат при передаванні, а також уникнення втрат в обмотках збудження, недоліком є складність очищення постійного магніту, великий об'єм двигуна та висока вартість. Синхронний генератор із напівпрямим приводом на постійних магнітах зменшує розміри двигуна та використовує редуктор з низьким передаточним числом. Це свідчить про те, що для систем вітроелектричних установок потужністю до 5 МВт більш важливими показниками є надійність роботи, вартість і вага разом з об'ємом обладнання всієї установки.

З розвитком та становленням технології накопичення енергії система накопичення електричної енергії невдовзі стане важливою невід'ємною частиною енергосистеми. Персоналу, що займається плануванням розвитку електромережі, необхідно визначити, чи розташована така система поблизу джерела живлення або біля навантаження, і в якій комбінації вони знаходяться. В наведеній роботі досліджено випадок, коли вітроелектроустановка та система накопичення енергії розташовані поблизу навантаження та формують локальну електричну мережу. Така модель потребує додатково встановлювати систему керування накопиченою енергією для гнучкого електропостачання. Інтеграція систем накопичення енергії та роботи вітроелектроустановок додає необхідну складову обладнання, яка знаходиться попереду або позаду генератора.

При розміщенні системи накопичення електричної енергії попереду генератора вага гондоли вітроелектроустановки суттєво збільшиться. Якщо ж систему накопичення енергії встановити або позаду генератора, або всередині башти, або на землі біля коробчастого трансформатора, то при цьому вага гондоли вітроелектроустановки не збільшиться. Проте така інтегрована модель збільшить втрати енергії через

додавання системи зберігання та вивільнення енергії. Система зберігання енергії – це, перш за все, система керування, яка збільшує складність роботи системи вітроелектроустановки. Одночасно буде збільшено вартість виробництва системи вітроелектроустановки. Будь-яка нова технологія, яку потенційно можна використати, супроводжуватиметься деякими труднощами, але з удосконаленням технології та процесів недоліки поступово будучи зменшуватися та зникати зовсім. У той самий час, недоліки, які потрібно буде потрібно вирішити під час впровадження нової технології не стануть такими суттєвими на противагу до переваг, які вони принесуть.

Розглянемо модель подвійної інтеграції систем накопичення енергії з вітроелектроустановками, коли електрична енергія накопичується попереду та позаду генератора. Взаємозв'язок між входом та виходом енергії та системою накопичення енергії може бути паралельним або послідовним (рис. 3).

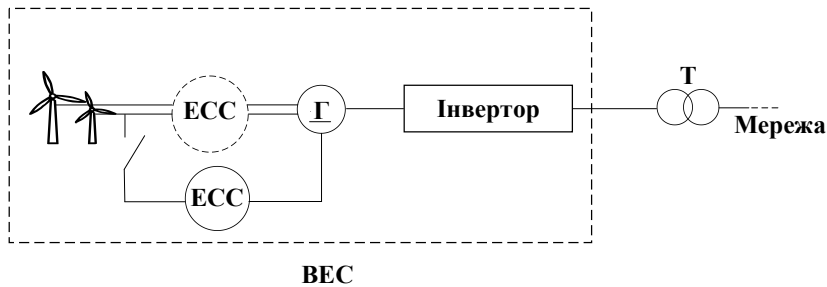


Рис. 3. Структурна схема системи накопичення енергії попереду генератора

Як показано на рис. 3, система накопичення енергії з послідовною структурою фронтального режиму показана пунктирною лінією. Механічна енергія надходить у систему накопичення енергії, а система накопичення енергії вивільняє механічну енергію в генератор у послідовному з'єднанні. Зберігання та генерування електроенергії можуть здійснюватися одночасно, а також енергія може зберігатися одночасно з генерацією або без неї. Структура системи накопичення енергії вітроелектроустановки позаду генератора з паралельним або послідовним з'єднанням показана на рис. 4.

Як показано на рис.4, система накопичення енергії з послідовною структурою режиму заднього ходу також показана пунктирною лінією. Вироблена енергія може зберігатися локально, а вихідна потужність може регулюватися відповідно до попиту за допомогою цього послідовного з'єднання. Накопичувач може подавати електроенергію та зберігати її одночасно, тобто використовуватись лише як джерело живлення або лише як накопичувач енергії.

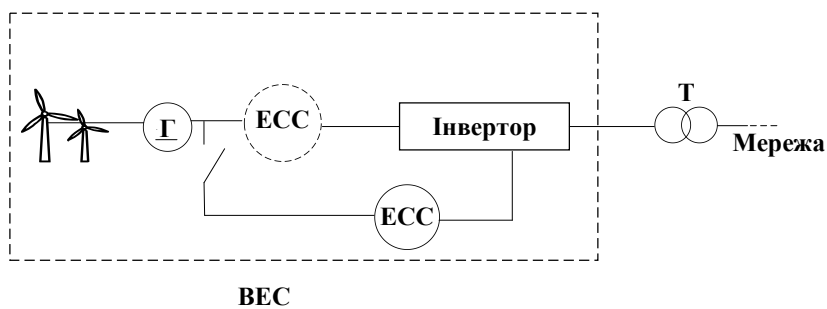


Рис. 4. Структурна схема системи накопичення енергії позаду генератора

Структура системи виглядає менш гнучкою, але вона може зробити вихідну потужність більш стабільною завдяки контролю системи накопичення енергії. Таким чином, за допомогою використання даної технології можна перетворити нестабільну вхідну потужність в стабільний вихід для покращення якості електричної енергії вітроелектроустановки. Однак система паралельного накопичення енергії має кращу гнучкість, проте більш складним буде процес керування.

Структурна схема, показана на рис. 5, суміжна зі структурою вітроенергетичної системи з прямим приводом. Пружинний механізм накопичення/вивільнення енергії розміщений у задній частині крильчатки вітрової турбіни та передній частині генератора в цій конструкції фронтального режиму.

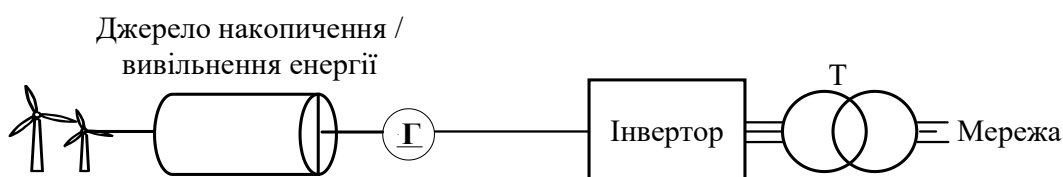


Рис. 5. Структурна схема системи накопичення енергії позаду генератора

Система накопичення енергії та точка подачі енергії розташовані послідовно, механічна енергія перетворюється на потенційну енергію, потім потенційна енергія перетворюється на стабільну механічну енергію на виході. Таким чином, дана структура може не лише досягти мети накопичення енергії, а й покращити якість енергії завдяки генератора з постійною швидкістю обертання на вході. Крім того, цей тип вітроенергетичної установки може здійснювати запуск та роботу за низької швидкості вітру. Резервуар для зберігання енергії може бути розміщений вертикально в центрі вежі, а енергія резервуара може зберігатися за рахунок стисненого повітря та водню. Цей резервуар для зберігання енергії можна розташувати таким чином, щоб повністю використати внутрішній простір вежі, і не займати сільськогосподарські угіддя. Загальна вага системи вітрової установки буде збільшена за рахунок такої конструкції, але вага її мотогондолі не буде більшою, ніж у передньому варіанті. Оскільки висота башти вітряної турбіни потужністю 1,5 МВт зазвичай досягає 70 метрів, такий резервуар для зберігання енергії може бути розташований у просторішому місці, а його ємність для зберігання енергії має бути набагато більшою. Система накопичення енергії та вхід електричної енергії вітротурбінної системи із зворотною інтеграцією режиму може мати паралельну чи послідовну структуру.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В роботі досліджено питання згладжування різких коливань генерування електроенергії вітроелектроустановками та інтегрування їх роботи з системами накопичення електричної енергії. Розглянуто та проаналізовано схеми зберігання енергії на прикладі двох моделей вітроелектроустановок, одна з яких є модель зберігання енергії в передній частині генераторної вітротурбінної системи, а інша - модель зберігання енергії в задній частині установки, а також доцільність застосування систем накопичення енергії.

Література

1. U.O. Dan, PIAO Zailin, WANG Lidi, WANG Jun, LV Qiangqiang, CAO Dexi / The research on the integration of energy storage and generating wind turbine system model // China International conference on electricity distribution (CICED 2016), p. 1-4.
2. WANG Chengmin, SUN Weiqing, YI Tao, et al. Review on Energy Storage Application Planning and Benefit Evaluation Methods in Smart Grid. Proceedings of the CSEE, 2013, 33 (7) p. 33-41.
3. HAN Xiaojuan, CHEN Yueyan, ZHANG Hao, et al. Application of Hybrid Energy Storage Technology Based on Wavelet Packet Decomposition in Smoothing the Fluctuations of Wind Power[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33 (19): 8-13.
4. ZENG Ming, YANG Yongqi, LIU Dunnan, et al. "Generation-Grid-Load-Storage" Coordinative Optimal Operation Mode of Energy Internet and Key Technologies. Power System Technology, 2016, 40 (1) : 114-124 (in Chinese) .
5. Energy Storage for the Grid and Ancillary Services – Navigant Research, 2Q 2016.
6. Nor Shahida Hasan, Mohammad Yusri Hassan, Hayati Abdullah, et al. Improving power grid performance using parallel connected Compressed Air Energy Storage and wind turbine system. Renewable Energy, 2016, 96, p. 498-508.
7. The power energy modern storage systems technology research. Malogulko Yu., Lastivka V. Znanstvena misel journal №65/2022.

References

1. U.O. Dan, PIAO Zailin, WANG Lidi, WANG Jun, LV Qiangqiang, CAO Dexi / The research on the integration of energy storage and generating wind turbine system model // China International conference on electricity distribution (CICED 2016), p. 1-4.
2. WANG Chengmin, SUN Weiqing, YI Tao, et al. Review on Energy Storage Application Planning and Benefit Evaluation Methods in Smart Grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33 (7) p. 33-41.
3. HAN Xiaojuan, CHEN Yueyan, ZHANG Hao, et al. Application of Hybrid Energy Storage Technology Based on Wavelet Packet Decomposition in Smoothing the Fluctuations of Wind Power[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33 (19):8-13.
4. ZENG Ming, YANG Yongqi, LIU Dunnan, et al. "Generation-Grid-Load-Storage" Coordinative Optimal Operation Mode of Energy Internet and Key Technologies. Power System Technology, 2016, 40 (1) : 114-124 (in Chinese) .
5. Energy Storage for the Grid and Ancillary Services – Navigant Research, 2Q 2016.
6. Nor Shahida Hasan, Mohammad Yusri Hassan, Hayati Abdullah, et al. Improving power grid performance using parallel connected Compressed Air Energy Storage and wind turbine system. Renewable Energy, 2016, 96, p. 498-508.
7. The power energy modern storage systems technology research. Malogulko Yu., Lastivka V. Znanstvena misel journal №65/2022.

Рецензія/Peer review : 27.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.