

В. О. ЗУБЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гідротехнічного будівництва,
водної та електричної інженерії
Херсонський державний аграрно-економічний університет
ORCID: 0000-0002-8401-755X

І. А. БЕРЕЗЮК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації виробничих процесів
Центральноукраїнський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-1903-8204

І. В. ВОЛКОВ

викладач кафедри автоматизації виробничих процесів
Центральноукраїнський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-2331-1237

Р. В. ТЕЛЮТА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту
Центральноукраїнський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-4923-1227

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІТРОВОЮ ЕНЕРГІЄЮ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ КІРОВОГРАДСЬКОГО РЕГІОНУ

Стан технічного обладнання електромереж та військова агресія стають причинами систематичних аварійних відключень, що ускладнює забезпечення енергетичних потреб споживачів. Особливо вразливими є фермерські господарства розподілені по території та віддалені від ліній централізованого енергопостачання. Одним з можливих варіантів вирішення цієї проблеми є використання відновлювальних джерел енергії. Перспективним варіантом є впровадження вітроенергоустановок.

На жаль їх використання стримується через малу кількість інформації, про вітровий потенціал обраного регіону. А дані з існуючих державних метеостанцій України не можуть служити надійною основою для прогнозу виробництва електроенергії через вітроенергетичні установки, оскільки їхня похибка зазвичай коливається від 40% до 70% та залежить від географічних умов, рельєфу та геометрії місцевості.

В якості досліджуваного об'єкту взято фермерське господарство розташоване у в Кіровоградському регіоні, центральній частині України.

Тому аналіз та розгляд можливостей впровадження вітроенергетики в цьому регіоні для потреб фермерських господарств, є основною метою досліджень.

Для вирішення поставленої мети, був здійснений: збір даних відносно вітрових швидкостей та напрямків; проаналізований енергетичний потенціал енергії вітру досліджуваного регіону; побудовані графіки залежності швидкості вітру та змодельовано роботу вітроустановки, для регіону, що досліджувався.

Загальний аналіз виявив, що географічні характеристики та кліматичні умови Кіровоградського регіону створюють сприятливі умови для успішного розвитку вітроенергетики. Застосування вітрогенераторів не лише гарантує стає та продуктивне джерело енергії для фермерських господарств у плані енергетичної самодостатності, але й сприяє природоохоронному виробництву.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, вітроустановка, фермерське господарство.

V. O. ZUBENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Hydraulic Construction,
Water and Electrical Engineering
Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID: 0000-0002-8401-755X

I. A. BEREZIUK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automation of Production Processes
Central Ukrainian National Technical University
ORCID: 0000-0003-1903-8204

I. V. VOLKOV

Lecturer at the Department of Automation of Production Processes
Central Ukrainian National Technical University
ORCID: 0000-0002-2331-1237

R. V. TELIUTA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Electrical Engineering Systems
and Energy Management
Central Ukrainian National Technical University
ORCID: 0000-0002-4923-1227

ANALYSIS OF THE OPPORTUNITIES OF WIND ENERGY PROVIDING FOR FARMS IN KIROVOGRAD REGION

The state of the technical equipment of power grids and military aggression cause systematic emergency outages, which makes it difficult to meet the energy needs of consumers. Farms distributed over the territory and remote from centralized power supply lines are particularly vulnerable. One possible solution to this problem is to use renewable energy sources. A promising option is the introduction of wind turbines.

Unfortunately, their usage is constrained by the lack of information about the wind potential of the selected region. And data from existing state weather stations in Ukraine cannot serve as a reliable basis for forecasting electricity production by means of wind turbines, as their error usually ranges from 40% to 70% and depends on geographical conditions, terrain and area geometry.

As a research object, a farm has been taken in the Kirovograd region, central Ukraine.

Therefore, the analysis and consideration of the possibilities of wind energy implementation in this region for the needs of farms is the main goal of the research.

To achieve this goal, the following have been done: data collection on wind speeds and directions; analysis of the energy potential of wind energy in the area under research; the graphs of wind speed dependence and modeling of wind turbine operation for the study area have been made.

The general analysis has revealed that the geographical characteristics and climatic conditions of the Kirovograd region create favorable conditions for the successful development of wind energy. The use of wind turbines not only guarantees a sustainable and productive source of energy for farms in terms of energy self-sufficiency, but also contributes to environmental production.

Key words: *renewable energy sources, wind turbine, farming.*

Постановка проблеми

Енергетична криза в Україні сьогодні є особливо гострою проблемою, зокрема в сільському господарстві та віддалених районах, які знаходяться далеко від централізованих мереж електропостачання [1, 2]. А надзвичайні ситуації в енергопостачанні, які виникають через технічний стан мереж та погіршені через воєнну агресію, призводять до частих аварійних відключень. Все це ускладнює можливість задоволення енергетичних потреб споживачів. Ця ситуація породжує низку викликів, таких як нестабільне електропостачання для фермерських господарств та об'єктів поза міською інфраструктурою. А також ставить під загрозу їхню продуктивність та може мати негативний вплив на врожай, його зберігання та переробку продукції.

Важливим кроком у вирішенні цієї проблеми є використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), які можуть забезпечити стабільне та надійне енергопостачання для сільських господарств, та зменшити залежність від централізованих мереж. Вибір конкретного ВДЕ може залежати від доступності цього джерела в конкретній місцевості. Адже при управлінні процесом енергопостачання необхідно точно визначати типи джерел енергії, їх кількість та потужність, щоб гарантувати задоволення енергетичних потреб споживача [2, 3]. Одним із перспективних варіантів використання альтернативної енергетики є вітрові турбіни, які можуть надавати стабільне джерело електроенергії, особливо в сільських районах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні сьогодні набирає обертів використання вітряків малої потужності, які встановлюються фермерськими господарствами для власних потреб [4, 5, 7]. Невеликі вітроенергетичні установки (від 200 Вт до 20 кВт)

привабливі тим, що їх можна достатньо швидко встановити та вони оптимально підходять там, де немає інших джерел енергії, або коли підключення до існуючих мереж занадто дороге.

Відомо, що на ефективність генерації енергії вітроустановок впливає вітровий потенціал, який варіюється в залежності від географічних умов, рельєфу та геометрії місцевості. Якщо швидкість вітру спадає нижче мінімального порогу для генерації електроенергії, вітрогенератори можуть припинити свою роботу. З іншого боку, різке збільшення швидкості вітру може вимагати вимкнення вітрогенераторів для захисту обладнання. Загалом великі коливання швидкості вітру можуть призводити до значних змін у виробництві електроенергії, та ускладнити планування роботи і стабільність електромережі. Тому виникає необхідність у дослідженні вітрового потенціалу для конкретної місцевості, та визначенні потужності вітроустановок.

Нажаль, теоретичний аналіз літератури [4–7] та практичний досвід свідчать, що отримані від метеостанцій України дані про середньорічні швидкості вітру часто не можуть служити надійною основою для прогнозу виробництва електроенергії через вітроенергетичні установки, оскільки їхня похибка зазвичай коливається від 40% до 70%. Тому для вирішення цієї проблеми необхідно вирішити наступні задачі:

- зібрати дані відносно вітрових швидкостей та напрямків;
- проаналізувати енергетичний потенціал енергії вітру регіону, що досліджується;
- побудувати графіки залежності швидкості вітру;
- змодельовати роботу вітроустановки, для регіону, що досліджується.

Вирішення цих задач передбачає наявність точних даних щодо потенціалу вітроенергії в конкретній місцевості, та є важливим для визначення ефективних стратегій використання цього джерела енергії у контексті поточних енергетичних вимог.

Формулювання мети дослідження

Мета даного дослідження полягає у докладному аналізі та розгляді можливостей впровадження вітроенергетики в Кіровоградській області для потреб фермерських господарств.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для визначення можливого потенціалу відновлювальних джерел за енергетичними потоками необхідно знати кількість енергії, що генерує вітроенергетична установка (ВЕУ) [5, 6]. Для цього потрібно мати інформацію щодо енергетичного потенціалу енергії вітру в місцевості, де розташоване фермерське господарство.

Для подальших досліджень, було взято фермерське господарство розташоване у в Кіровоградському регіоні, центральній частині України.

В роботі [5] наведено результати досліджень енергетичного потенціалу вітрової енергії для Кіровоградського регіону, та визначено імовірнісний розподіл швидкості вітру. Однак в нашому випадку цю інформацію неможливо використати, оскільки нам необхідна інформація про середньодобовий енергетичний потенціал швидкості вітру, а при дослідженнях в [5] використано дані зі швидкості вітру не за всю добу, а лише взято 6 значень часу (через кожні 4 години).

Тому виникла необхідність у проведенні додаткових експериментальних досліджень з вимірювання швидкості вітру. В якості приладу для вимірювання швидкості вітру найчастіше використовують анемометр.

Найбільш важливі загальні фактори [5, 6, 7], що впливають на точність оцінки енергії вітру є: густина атмосфери; висота розташування анемометру; вплив мікрорельєфу місцевості; вертикальна екстраполяція вітру. Вирішення поставленої задачі відбувалось наступним чином.

1. *Збір даних вітрових швидкостей та напрямків.* В нашому випадку для вимірювання швидкості вітру було використано цифрову погодні метеостанцію «Vantage Pro2™» (виробник Davis Instruments Corp., Каліфорнія, США). Для досліджень було використано дані зі швидкості вітру за 2021 рік. Анемометр встановлено на висоті 10 м.

В подальшому за допомогою методики [5] було оброблено статистичні дані та визначено середньодобовий вітроенергетичний потенціал в Кіровоградському регіоні.

2. *Побудова графіків залежності швидкості вітру.* Використавши накопичені статистичні дані, за допомогою програмного пакету Microsoft Excel було визначено середньодобову швидкість вітру в Кіровоградському регіоні за сезонами року.

З даного графіка видно, що максимальний вітроенергетичний потенціал в Кіровоградському регіоні становить: взимку – близько 4,5 м/с, весною – майже 5,7 м/с, влітку та восени – близько 5 м/с.

Отримані дані будуть використані для визначення потужності ВЕУ та моделювання її роботи.

3. *Моделювання роботи вітроустановки.* Технічні характеристики ВЕУ, які наводяться виробниками, не завжди дають змогу визначити кількість електроенергії, яку буде генерувати ВЕУ, особливо в умовах стохастичного характеру зміни вітрового потоку. Тому виникає необхідність розрахувати показники роботи конкретної ВЕУ з урахуванням метеорологічних умов конкретної місцевості.

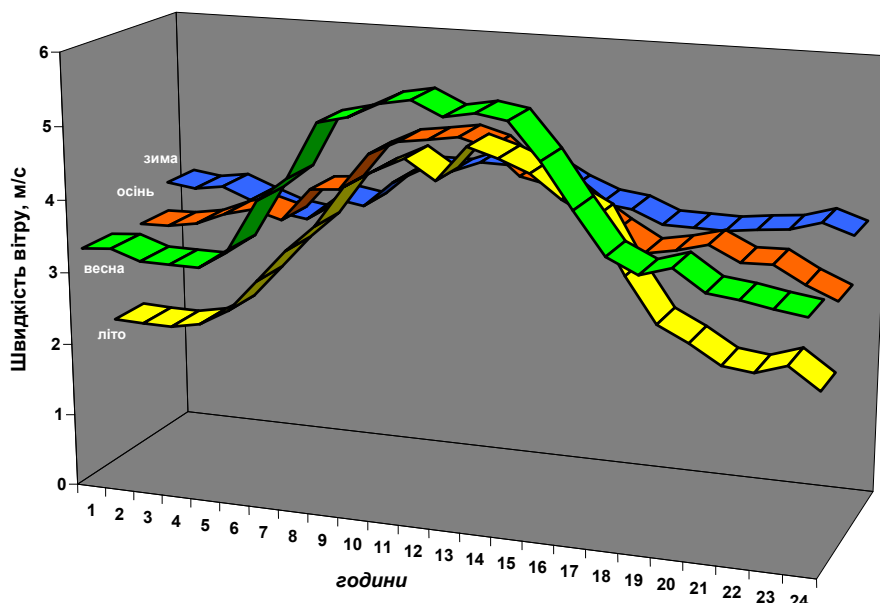


Рис. 1. Середньодобова швидкість вітру за сезонами року

Для забезпечення енергією від ВЕУ використовується WE-10000. Основні технічні характеристики цієї установки наведені в табл. 1.

В джерелах [4, 5] запропоновано методику визначення основних показників роботи горизонтально-осьової ВЕУ. Скористаємося даною методикою.

Таблиця 1

Технічні характеристики ВЕУ WE – 10000

Основні характеристики	
Номинальна потужність, Вт	10000
Номинальна напруга, В	240
Діаметр вітроколеса, м	5,6
Номинальна кількість обертів, об. / хв.	190
Кількість лопатей, шт.	3
Рекомендована висота щогли, м	12–21
Коефіцієнт використання енергії вітру	0,45
ККД генератора	0,85
Робочий діапазон швидкостей	
Стартова, м / с	2
Номинальна, м / с	12
Максимальна, м / с	60

Порядок розрахунку наступний.

1. Визначення швидкості вітру на висоті головки ВЕУ.

Зазвичай головки ВЕУ, розташовані на висоті від 5 до 50 м [5]. Збільшення енергетичного потенціалу з висотою пояснюється зростанням швидкості вітру, яка в приземному шарі змінюється за степеневим законом.

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha, \tag{1}$$

де α – безрозмірний коефіцієнт степені, величина якого залежить від швидкості вітру, стійкості атмосфери та шорсткості поверхні.

З [5] відомо, що для Кіровоградського регіону $\alpha = 0,2$, стійкості атмосфери та шорсткості поверхні. Згідно даних виробника ВЕУ (див. табл. 1) висота щогли даної установки знаходиться в межах від 12 м до 21 м. При розрахунку будемо вважати, що головка ВЕУ розташована на висоті щогли $h = 17$ м. За допомогою виразу (1) було розраховано швидкості вітру на висоті щогли ВЕУ, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика швидкості вітру на різних висотах

	Швидкість вітру V, м/с													
h=10 м	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
h=17 м	0	1,11	2,22	3,34	4,45	5,56	6,7	7,8	8,9	10	11,1	12,2	13,3	14,5

В подальших розрахунках будемо використовувати саме швидкість вітру на висоті щогли $h = 17$ м.

2. Визначення енергетичного потенціалу вітрового потоку.

Енергетичний потенціал визначається згідно виразу:

$$N(V) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3, \quad (2)$$

де ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; V – швидкість вітру, $\text{м}/\text{с}$. В середньому густина повітря становить $\rho = 1,3 \text{ кг}/\text{м}^3$, але вона відчутно залежить від температури та тиску.

Було отримано залежність енергетичного потенціалу вітрового потоку $N(V)$ від швидкості вітру V , представлена на рис. 1.

Визначення потужності потоку РП, який проходить за 1 с через поперечний переріз, площею F .

Вона визначається за допомогою формули [5]:

$$P_{\Pi} = \frac{\rho \cdot F \cdot V^3}{2}, \quad (3)$$

де $F = 24,6 \text{ м}^2$ – площа поверхні, яку обмітає ВК з радіусом R , м^2 .

3. Визначення потужності горизонтально-осьової ВЕУ.

Потужність горизонтально-осьової ВЕУ розраховують за наступною формулою [5]:

$$P_{BEU} = \frac{1}{2} \cdot \eta \cdot \rho \cdot \xi \cdot F \cdot V^3, \quad (4)$$

де η – ККД генератора; ξ – коефіцієнт використання енергії вітру.

На рис. 2 наведено залежності потужності вітрового потоку P_{Π} та потужності P_{BEU} від швидкості вітру V .

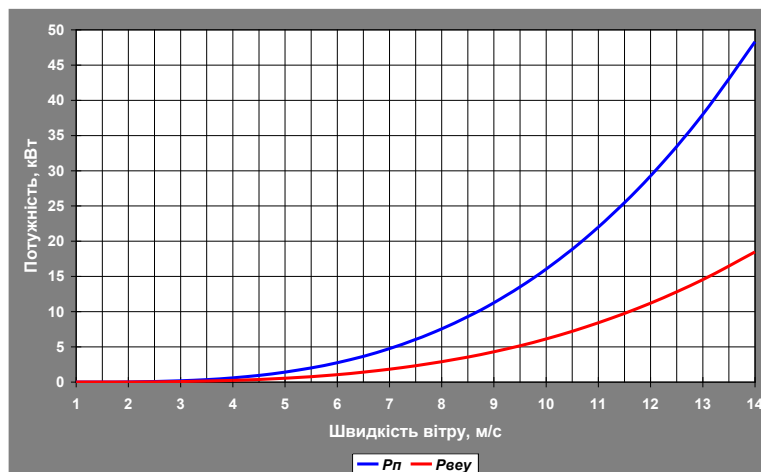


Рис. 2. Потужності вітрового потоку та вітроустановки від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

Крім того, для моделювання роботи ВЕУ необхідно знати середньодобову потужність установки. На рис. 3 наведено залежність середньодобової потужності ВЕУ WE-10000 за сезонами року в умовах Кіровоградського регіону.

З вигляду залежностей, наведених на рис. 3, можна сказати, що в умовах Кіровоградського регіону, де середня швидкість вітру становить майже $5 \text{ м}/\text{с}$, максимальна середньодобова потужність ВЕУ WE-10000 становить: взимку – близько 4 кВт , весною – майже $5,3 \text{ кВт}$, влітку та восени – приблизно $4,6 \text{ кВт}$. При цьому сумарна потужність ВЕУ WE-10000 становить: 85 кВт зимою, 95 кВт весною, 74 кВт літом та 86 кВт восени.

Отримані значення дозволять ефективно використовувати вітровий потенціал Кіровоградщини, та розробити інтелектуальні системи управління енергією. А при встановленні зв'язків між електроспоживанням та електропостачанням фермерського господарства впровадити ефективні системи їх енергозабезпечення.

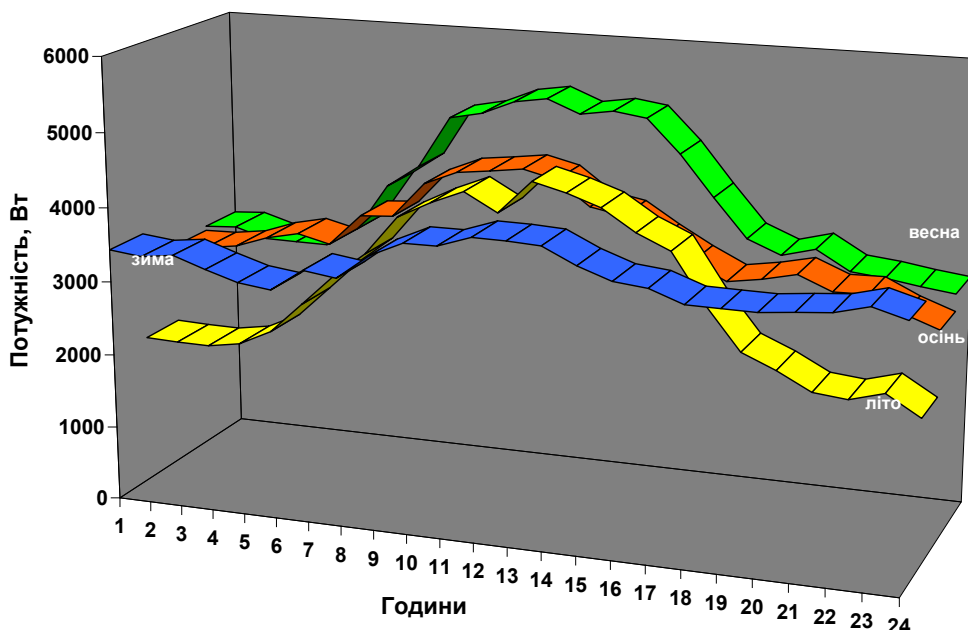


Рис. 3. Залежність потужності ВЕУ WE-10000 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні за сезонами року

Висновки

Отримані імовірнісні характеристики швидкості вітру та електричні потужності ВЕУ WE-10000 для кожного сезону року в Кіровоградському регіоні, можна використати для прогнозування постачання електроенергії в аграрному секторі, допомагаючи управляти ресурсами більш ефективно та економічно. Загалом, проведений аналіз показав, що географічне положення та кліматичні умови Кіровоградського регіону створюють сприятливий фундамент для розвитку вітроенергетики. А застосування вітрогенераторів може не лише забезпечити стаке та ефективне джерело енергії для енергонезалежності фермерських господарств, але й сприяти екологічно чистому виробництву.

Список використаної літератури

1. Про альтернативні джерела енергії: Закон України № 555-IV від 20.02.2003 року (із змінами, внесеними згідно із Законом № 3220-IX від 30.06.2023/ Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 2009, № 13. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». / Верховна Рада України URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.
4. Лебеза О.Н., Жесан Р. В., Голик О. П. Аналіз каналів передачі інформації для інтелектуальних систем енергопостачання майбутнього. *Перспективні напрямки розвитку сучасних інформаційних систем та технологій: матеріали Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції*. Кропивницький, 2021. С. 40.
5. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Частина I: навчальний посібник для здобувачів освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад.: О.П. Голик, Р.В. Жесан, І.В. Волков та ін. Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2020. 192 с.
6. Яснолоб І.О., Чайка Т.О., Горб О.О., Радіонова Я.В. Концептуальні засади ефективного функціонування енергетично незалежних сільських територій. *Економіка АПК*. 2019. № 3. С. 115–122.
7. Новітні енергетичні технології та їх вплив на функціонування систем енергопостачання : аналіт. доп. / О. М. Суходоля. Київ : НІСД, 2022. 36 с. URL : <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.17>

References

1. Pro alternatyvni dzhерела enerhii :Zakon Ukrainy № 555-IV vid 20.02.2003 roku (iz zminamy, vneseny my zghidno iz Zakonom № 3220-IX vid 30.06.2023/ Verkhovna Rada Ukrainy. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*. 2009, № 13. [About alternative energy sources: Law of Ukraine № 555-IV 20.02.2003 (with changes introduced in accordance with

Law No. 3220-IX dated 06.30.2023 – *Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine*] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> [in Ukrainian]

2. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist» [Energy strategy of Ukraine for the period until 2035 «Security, energy efficiency, competitiveness»]_ *Verkhovna Rada Ukrainy* URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf> [in Ukrainian]

3. Pravyla ulashtuvannia elektroustanovok. (2017). Vydannia ofitsiine. Minenerhovuhillia Ukrainy. Kh: Vydavnytstvo «Fort» [Rules for arranging electrical installations]. (2017). The publication is official. Ministry of Energy and Coal of Ukraine. Kh: Fort Publishing House. [in Ukrainian]

4. Leheza, O.N., Zhesan, R. V., Holyk, O. P. (2021) Analiz kanaliv peredachi informatsii dlia intelektualnykh system enerhopostachannia maibutnoho. [Analysis of information transmission channels for intelligent energy supply systems of the future]. Proceedings from «*Perspektyvni napriamky rozvytku suchasnykh informatsiinykh system ta tekhnologii: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi studentskoi konferentsii*» (p. 40). Kropyvnytskyi: CNTU [in Ukrainian]

5. Holyk, O.P., Zhesan, R.V., Volkov, I.V. (2020). *Enerhozberezhennia ta vykorystannia ponovliuvanykh dzherel enerhii. [Energy conservation and use of renewable energy sources] Chastyna I: navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv osvity za spetsialnistiu 141 «Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika»*. Kropyvnytskyi : Vydavets Lysenko V.F. [in Ukrainian]

6. Yasnolob, I.O., Chaika, T.O., Horb, O.O., Radionova, Ya.V. (2019). Kontseptualni zasady efektyvnoho funktsionuvannia enerhetychno nezaleznykh silskykh terytorii. [Conceptual principles of effective functioning of energy-independent rural areas] *Ekonomika APK*. № 3.(pp. 115–122). Retrieved from <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201903115> [in Ukrainian]

7. Novitni enerhetychni tekhnologii ta yikh vplyv na funktsionuvannia system enerhopostachannia [The latest energy technologies and their impact on the functioning of energy supply systems].(2022). Kyiv: NISD. Retrieved from <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.17> [in Ukrainian]