

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖІ

М. М. Заблудський, доктор технічних наук, професор

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

В. М. Поліщук, доктор технічних наук, професор

В. І. Троханяк, кандидат технічних наук, доцент

Т. І. Лендєл, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: sosdok@i.ua

Анотація. *В умовах воєнного часу та в післявоєнний період гостро встає проблема енергонезалежності як кожної об'єднаної територіальної громади, так і всієї України. Особливо актуальним завданням в цьому контексті є визначення місцевих енергоресурсів і на цій основі формування місць розташування біогазових установок – стабільних енергетичних джерел громади.*

Метою роботи є обґрунтування принципів розташування біогазових установок у межах територіальних громад на основі застосування штучної нейромережі.

Для досягнення зазначеної мети вирішувались такі задачі: розроблення методичного апарату формування ресурсно-сировинної бази біогазового виробництва та обґрунтування принципів розташування біогазових установок з використанням штучної нейронної мережі.

Найважливішими результатами дослідження є розроблення методичного апарату формування ресурсно-сировинної бази біогазового виробництва за допомогою спеціалізованої бази даних на веб-порталі «Трипілля» та синтезу конфігурації розташування біогазових виробництв з використанням нейромережі, що дозволяє значно скоротити часові витрати на обґрунтування та побудову енергонезалежних об'єднаних територіальних громад України. Наведено приклад застосування запропонованого методичного апарату для визначення місць розташування біогазових виробництв в Переяславській об'єднаній територіальній громаді.

Ключові слова: *біометан, нейромережа, біогазова установка, встановлена електрична та теплова потужність, база даних*

Актуальність. Одним з ключових напрямів формування енергонезалежних об'єднаних територіальних громад (ОТГ) є науково-технічне обґрунтування принципів розміщення та застосування біогазових виробництв для заміщення природного газу біометаном – газом майбутнього, джерелом сталої, відновлюваної

та чистої енергії. З метою покращення екологічного стану ОТГ біометан можна виробляти з органічних відходів, таких як гній, залишки їжі або сільськогосподарські рештки [1]. При цьому для їх ефективного використання, в першу чергу, виникає необхідність у визначенні кількості відходів сільськогосподарських агрофірм та на цій основі формування рекомендацій щодо розміщення біогазових установок (БГУ) у межах кожної з об'єднаних територіальних громад України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як показують результати досліджень Біоенергетичної асоціації України з точки зору потенціалу очікується, що сільськогосподарські залишки відіграватимуть ключову роль в майбутній біоенергетиці України. Нині узагальнену інформацію про органічні сільськогосподарські відходи (СВ) на території областей, а також окремі біогазові проекти щодо їх використання дуже ретельно висвітлені в матеріалах Біоенергетичної асоціації України [2-3]. Однак, в цих матеріалах відсутня детальна інформація про принципи розміщення БГУ на території кожної ОТГ, виходячи з обсягів СВ, які можна ефективно використовувати у БГУ.

Мета дослідження - обґрунтування принципів розташування біогазових установок у межах ОТГ на основі застосування штучної нейромережі.

Для досягнення зазначеної мети необхідне вирішення таких задач:

розроблення методичного апарату формування ресурсно-сировинної бази біогазового виробництва;

обґрунтування принципів розташування біогазових установок на основі застосування штучної нейронної мережі (ШНМ).

Матеріали та методи дослідження. У загальному випадку інформацію про СВ можна отримати безпосередньо в агрофірмах шляхом опитування, а також за допомогою БПЛА та космічних апаратів. Але на збір та обробку такої інформації по кожній ОТГ знадобиться багато часу. Найбільш ефективним способом визначення даних про СВ є збір, статистична обробка інформації про врожайність та кількість зібраного врожаю на основі використання на веб-порталі спеціалізованої бази даних "Трипілля" [4], в якій постійно оновлюється і зберігається по кожній агрофірмі

(підприємству) ОТГ інформація про площу, врожайність та загальні обсяги зібраного урожаю, а також про кількість тварин та отриману продукцію за останні 8 років.

Структура такої бази даних у якості прикладів представлена у вигляді таблиць 1-3.

1. Зернові культури

Рік	Культура	Площа, га	Врожайність, ц	Зібрано, т
2022	Кукурудза	72,81	29,94	218
2021	Кукурудза	92,81	27,58	256
...	...	...	...	...
2017	Овес	30	6,67	20

2. Технічні культури

Рік	Культура	Площа, га	Врожайність, ц	Зібрано, т
2022	Соя	23,03	7,82	18
2021	Соняшник	10	16,1	16,1
...	...	...	...	...
2017	Соя	48	11,46	55

3. Тваринництво

Рік	Вид	Показники
2022	Виробництво молока, л	39112
2022	ВРХ, голів	431
...	...	...
2017	Коні, голів	7

Крім того, в базі даних наведена інформація про наявність збиральної та транспортної техніки для перевезення врожаїв.

З метою автоматизації визначення обсягів біометану та енергетичних показників по кожній ОТГ доцільно використовувати ШНМ, які навчаються на вихідних даних з бази «Трипілля» та на основі сформованих середньостатистичних даних про вихід біометану, а також про прогнозовану електричну та теплову енергію, яку можна отримати з СВ ОТГ.

Загальна схема прогнозування енергетичних показників з використанням ШНМ (рис. 1) включає:

1. Визначення незернової частини урожаю (НЧВ);
2. Розрахунок маси сухої органічної речовини (m_{cop});

3. Визначення обсягів біометану ($V_{\text{біометан}}$) та прогнозованих потужностей когенераційної установки (КГУ): електричної (P_e) та теплової (P_T).

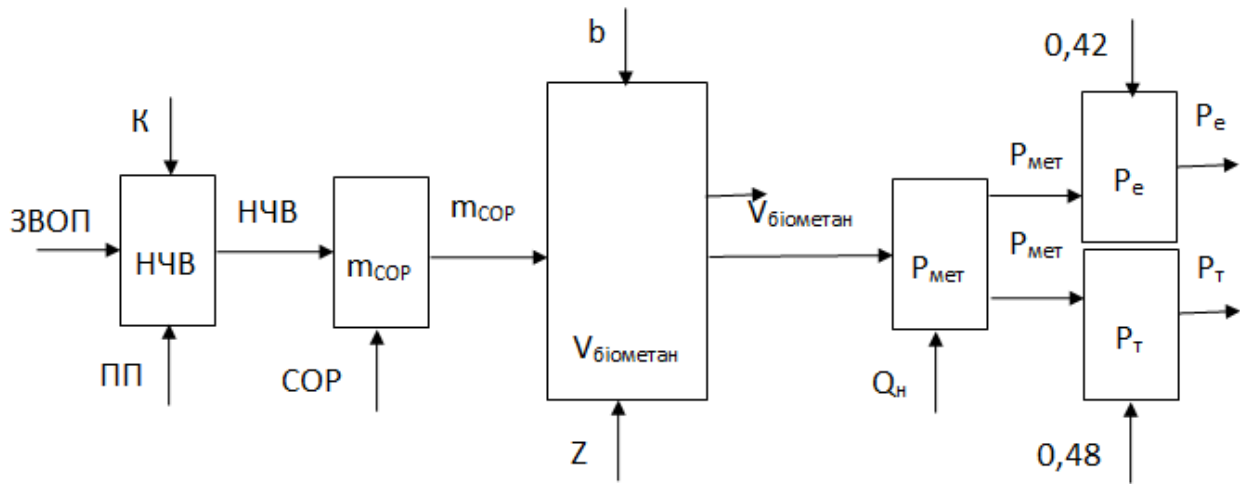


Рис. 1. Загальна схема розрахунку енергетичних показників:

ЗВОП – зібрано врожаю основної продукції, кг; НЧВ – вихід незернової частини врожаю, кг; К – коефіцієнт сумарного виходу побічної продукції, стерні й кореневих решток; ПП – вміст побічної продукції рослинництва від загальної нетоварної маси, що залишається на полі, %; $V_{\text{біометан}}$ – вихід біометану, COP – вміст сухої органічної речовини в субстраті, %; m_{COP} – кількість абсолютно сухої органічної речовини, кг/рік; b – вихід біогазу з одиниці органічної речовини, $\text{м}^3/\text{кг}$; z – ступінь розкладання органічної речовини при бродінні, %; $P_{\text{мет}}$ – потужність, отримана з метану, МДж/рік; Q_H – нижча теплота згорання біометану, МДж/м³ (35,8 МДж/м³); P_e – прогнозована електрична та P_T – тепла потужність когенераційної установки

Результати дослідження та їх обговорення. Для формування прогнозу виробництва біогазу та енергетичних показників КГУ з використанням інформації про рівень врожайності використовувалась ШНМ, оскільки вирішення означеного завдання здійснювалось в умовах невизначеності, які характерні для особливостей метанового виробництва.

Нейронні мережі мають вигляд математичної моделі паралельних обчислень, що містять прості процесорні елементи, які взаємодіють між собою як штучні нейрони. Вони є системами, здатними до навчання шляхом аналізу позитивних і негативних дій. Як правило, активаційні функції всіх нейронів у мережі фіксовані, а вага є параметрами мережі і може змінюватися.

Для синтезу та дослідження відповідних ШНМ використано демоверсію програмного пакету Statistica Neural Networks. Критерій навчання – мінімізація помилки ШНМ. У контексті цього завдання перевага такого пакета над аналогічними розробками полягає в реалізації функціонального блока оптимізації архітектури нейромоделей, що використовує лінійні підходи та метод «відпалювання» на основі розподілу ймовірностей Гіббса [5]:

$$P(\bar{x}^* \rightarrow \bar{x}_{i+1} | \bar{x}_i) = \begin{cases} 1, & F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i) < 0 \\ \exp(-\frac{F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i)}{Q_i}), & F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i) \geq 0 \end{cases},$$

де $F(x)$ – мінімум числової функції; $Q_i > 0$ – елементи довільно спадаючої до нуля послідовності.

У результаті випробувань найменшу помилку навчання (2,55 %) отримала ШНМ структури «багатошаровий перцептрон» (MLP).

На рис. 2 показано структуру синтезованої штучної нейронної мережі.

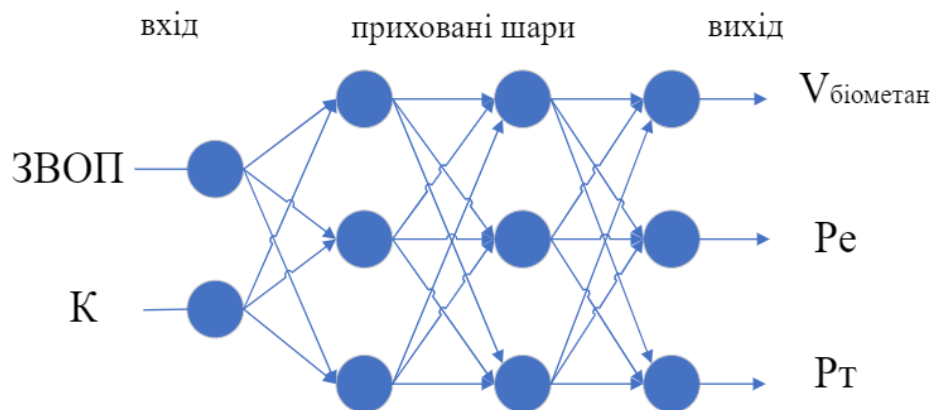


Рис. 2. Структура нейронної мережі MLP

Поверхні відгуку роботи нейронної мережі наведено на рис. 3-5. Враховуючи обмежену статистику дослідних даних на рис. 3-5 показано залежність прогнозованого виходу біометану ($V_{\text{біометан}}$) від зібраного врожаю основної продукції (ЗВОП) та величин стандартизованих залишків [6, 7] (RV), а також електричної (Pe) та теплової (Pт) потужностей КГУ.

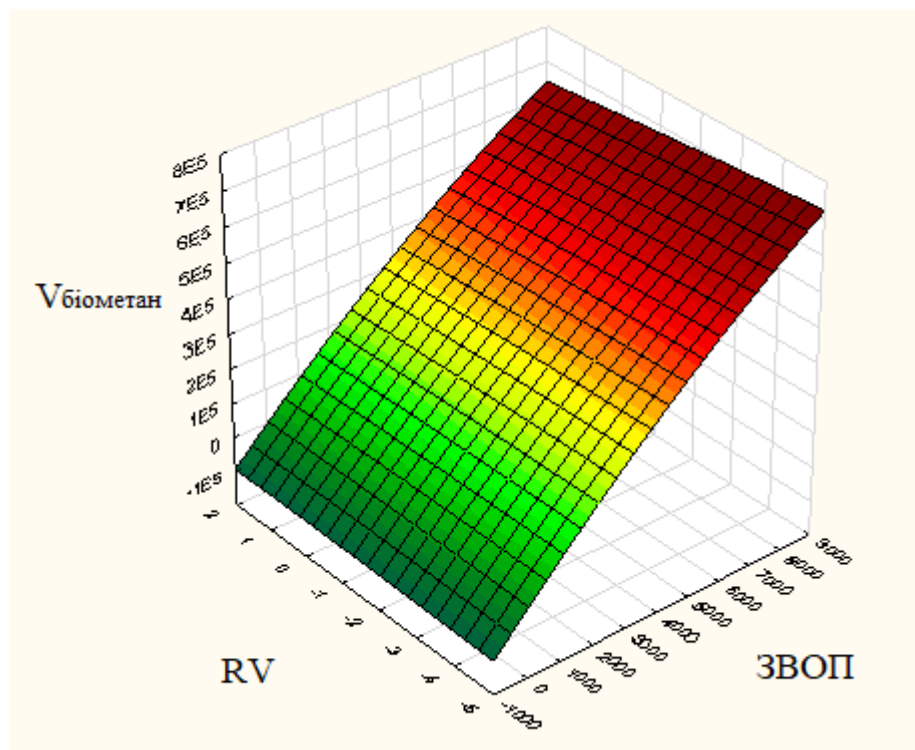


Рис. 3. Поверхня відгуку роботи нейронної мережі: прогнозування виходу об'єму біометану

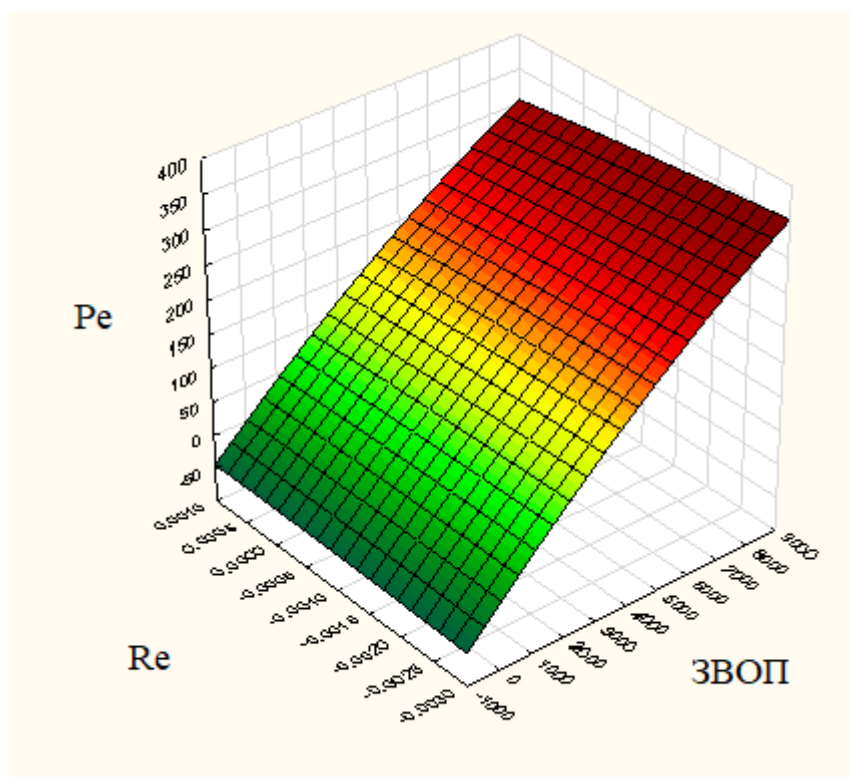


Рис. 4. Поверхня відгуку роботи нейронної мережі: прогнозування електричної потужності когенераційної установки

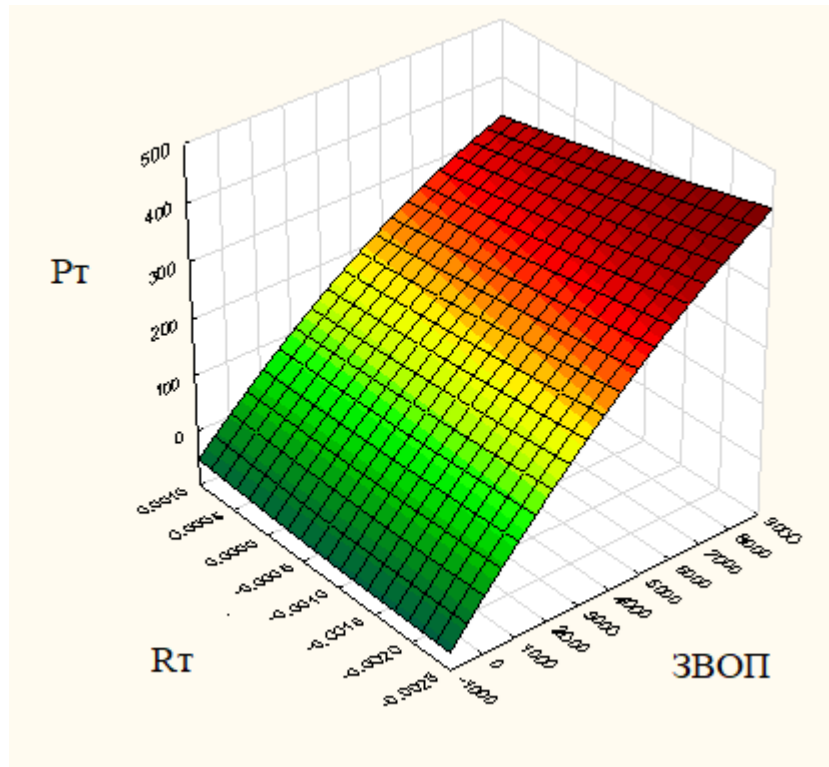


Рис. 5. Поверхня відгуку роботи нейронної мережі: прогнозування теплової потужності когенераційної установки

На першому етапі синтезу конфігурації місць розташування біогазових виробництв на виході ШНМ визначаються обсяги біометану й прогнозована електрична та тепла потужність когенераційної установки по кожній агрофірмі, сільській громаді та ОТГ у цілому. У якості прикладу в таблиці 4 наведені результати розрахунків енергетичних показників БГУ для можливих місць розташування біогазових виробництв у Переяславській ОТГ (рис. 6).

4. Енергетичні показники біогазових виробництв Переяславської ОТГ

Сільські громади	Вихід біогазу тис м ³ /рік	Вихід біометану тис. м ³ /рік	Потужність когенераційної установки, кВт	
			Електрична	Теплова
Велика Каратуль	2634,5	1449	841	961
Вовчків	1096,4	603	287	328
Гайшин	1,8	1	0,63	0,72
Гланишів	205,5	113	54	61
Дем'янці	2189,1	1204	574	656
Мазінки	150,9	83	39	45
Всього	6278,2	3453,0	1795,63	2051,72

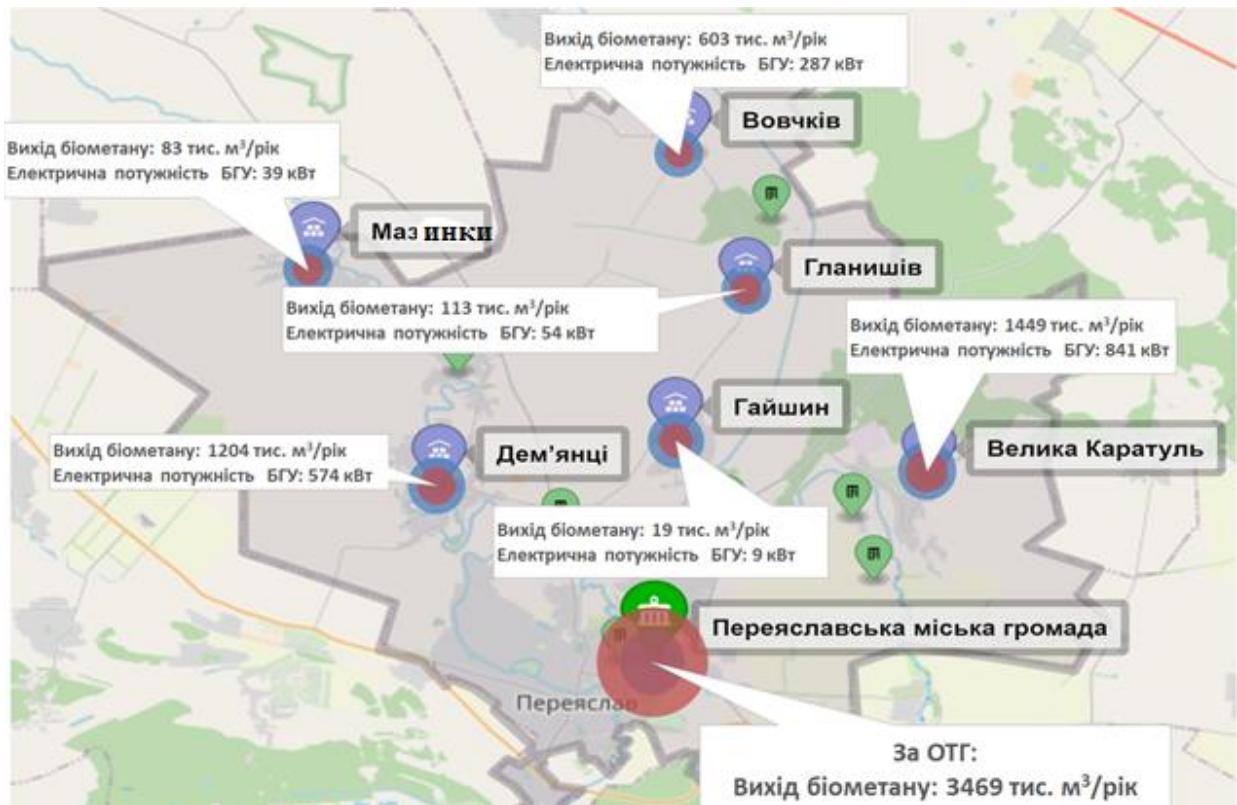


Рис. 6. Прогнозовані місця розташування біогазових виробництв у Переяславській ОТГ

Для більш ретельного аналізу конфігурації місць розташування біогазових виробництв на рис. 7 наведена діаграма прогнозованого виходу біометану за опорними місцями його виробництва.

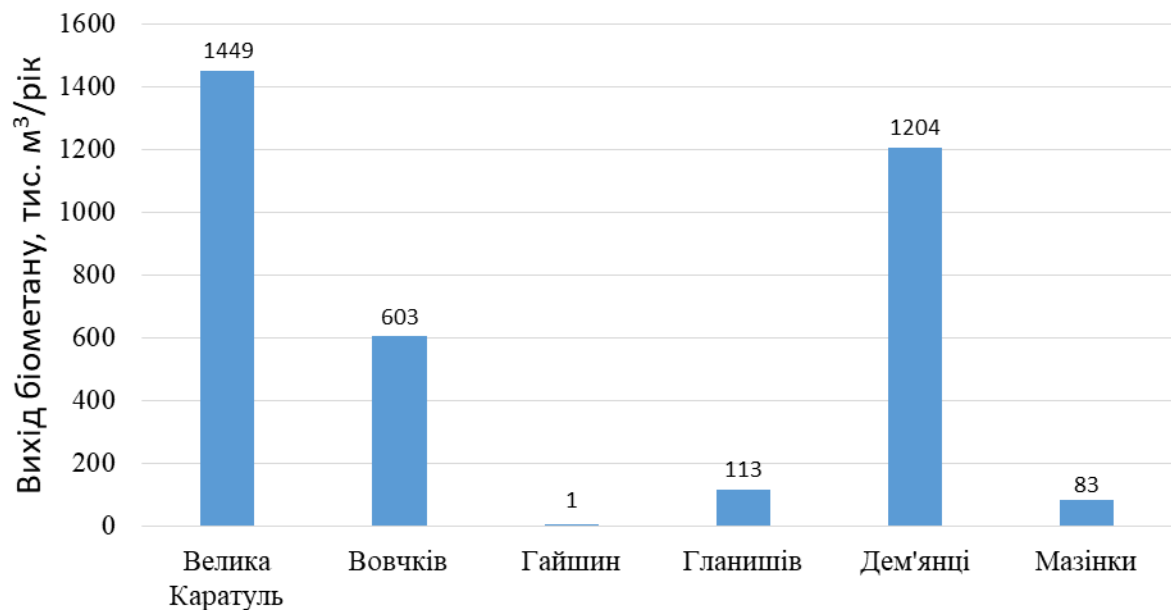
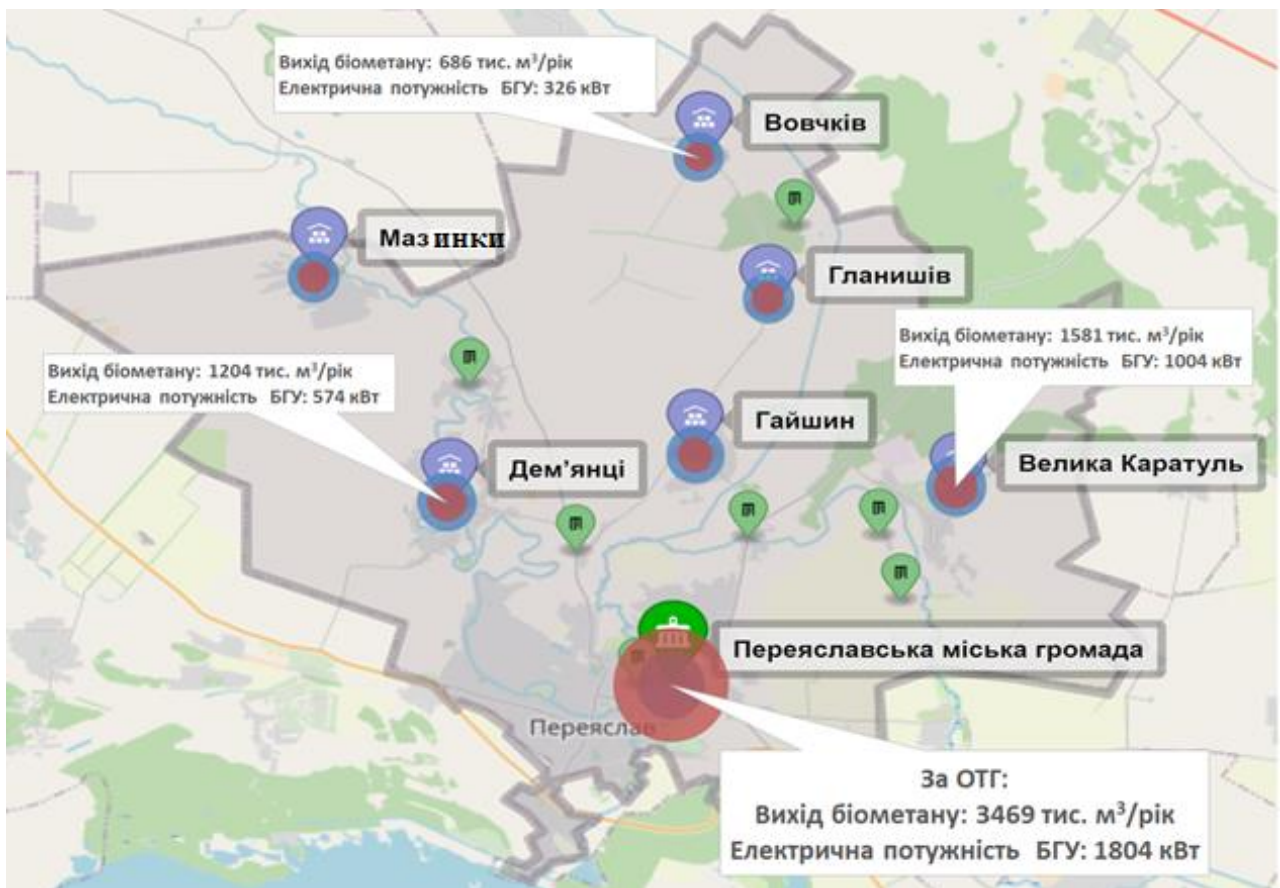


Рис. 7. Діаграма прогнозованого виходу біометану за опорними місцями його виробництва

Як видно з діаграми (рис. 7) неперспективними, з точки зору виробництва біометану, є опорні місця: Гайшин, Гланишів та Мазінки. Тому на другому етапі синтезу конфігурації місць розташування біогазових виробництв за критерієм мінімальної відстані між більш потужними БГУ та неперспективними виробництвами в опорних місцях: Гайшин, Гланишів та Мазінки – їх БГУ вилучались, а їх СВ для виробництва біометану додавались до більш потужних та найближчих опорних БГУ. На основі застосування ШНМ були визначені найбільш перспективні (оптимальні) місця розташування біогазових виробництв (рис. 8).



**Рис. 8. Перспективні місця розташування біогазових виробництв
Переяславської ОТГ**

Таким чином, як показують результати двоетапного синтезу конфігурації місць розташування біогазових виробництв на основі застосування ШНМ на території Переяславської ОТГ доцільно будівництво трьох біогазових установок в опорних пунктах Вовчків, Дем'янці та Велика Каратуль.

Висновки і перспективи. На основі проведеного дослідження розроблено методичний апарат формування ресурсно-сировинної бази біогазового виробництва

з використанням бази даних «Трипілля», що значно скорочує часові витрати на підготовку вхідних даних для ШНМ. Обґрунтовано принципи двоетапного синтезу перспективних місць розташування БГУ на основі застосування ШНМ. Розроблено пропозиції щодо будівництва БГУ на території Переяславської ОТГ.

Подяка. За підтримки Національного фонду досліджень України конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди», гранту №202/0129.

Список використаних джерел

1. Біометан – газ майбутнього, джерело сталої, відновлюваної та чистої енергії. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uabio.org/materials/video/15400/>
2. Гелетука Г., Кучерук П., Матвеев Ю. Перспективи виробництва біометану в Україні. 2022. Аналітична записка № 29. БАУ. 60 с.
3. Масдемонт П. Р., Галіндо Д. Г., Угіна А. М., Карампініс М., Драгнев С., Железна Т. Енергія з агропромислових залишків. К., 2022. 60 с.
4. Веб-портал “Трипілля”. Підприємства АПК. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://tripoli.land/ua/companies#>
5. Altug S., Mo-Yuen C., Joel H. (1999). Trussell Fuzzy Inference Systems Implemented on Neural Architectures for Motor Fault Detection and Diagnosis. IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol, 46, № 6.
6. Cook, R. Dennis; Weisberg, Sanford. (1982). Residuals and Influence in Regression. New York: Chapman and Hall. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://hdl.handle.net/11299/37076>.
7. Suleiman, A. A., Abdullahi, U. A., & Ahmad, U. A. (2015). An Analysis of Residuals in Multiple Regressions. International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, 3(1), 563-570.

Reference

1. Biometan – haz maibutnoho, dzherelo staloi, vidnovliuvanoi ta chystoi enerhii [Biomethane is the gas of the future, a source of sustainable, renewable and clean energy]. Available at: <https://uabio.org/materials/video/15400/>
2. Georgy Heletukha, Petro Kucheruk, Yuriy Matveev (2022). Perspektyvy vyrobnytstva biometanu v Ukraini [Prospects of biomethane production in Ukraine]. Analytical note No. 29 of the Bioenergy Association of Ukraine, 60.
3. Masdemont P.R., Galindo D.G., Ugina A.M., Karampinis M., Dragnev S., Zhelezna T. (2022). Enerhiia z ahropromyslovykh zalyshkiv [Energy from agricultural residues]. Kyiv, 60.
4. Veb-portal “Trypillia”. Pidpryiemstva APK. [“Tripillia” web portal. Agricultural enterprises]. Available at: <https://tripoli.land/ua/companies#>
5. Altug S., Mo-Yuen C., Joel H. (1999). Trussell Fuzzy Inference Systems Implemented on Neural Architectures for Motor Fault Detection and Diagnosis. IEEE Transactions On Industrial Electronics, 46 (6).

6. Cook, R. Dennis; Weisberg, Sanford. (1982). Residuals and Influence in Regression. New York: Chapman and Hall. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy.

7. Suleiman, A. A., Abdullahi, U. A., & Ahmad, U. A. (2015). An Analysis of Residuals in Multiple Regressions. International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, 3(1), 563-570.

PRINCIPLES OF FORMING BIOGAS PLANT LOCATION PLACES USING A NEURONETWORK

M. Zablodskiy, S. Shvorov, V. Polishchuk, V. Trokhaniak, T. Lendiel

Abstract. *Currently, in the conditions of the wartime and post-war period, the problem of energy independence of both the whole of Ukraine and each united territorial community is acute. A particularly urgent task in this context is the determination of local energy resources and, on this basis, the formation of the locations of biogas plants - stable energy sources of the community.*

The purpose of the work is to substantiate the principles of the location of biogas plants within territorial communities based on the use of an artificial neural network.

To achieve the specified goal, the following tasks were solved: development of a methodical apparatus for the formation of the resource-raw material base of biogas production and substantiation of the principles of the location of biogas plants based on the use of an artificial neural network.

The most important results of the research are the development of a methodical apparatus for the formation of the resource-raw material base of biogas production using the "Tripillia" melon base and the synthesis of the configuration of the location of biogas production using a neural network, which allows to significantly reduce the time spent on the justification and construction of energy-independent united territorial communities of Ukraine. An example of the application of the proposed methodical apparatus for determining the location of biogas plants in the Pereyaslav territorial community is presented.

Key words: *biomethane, neural network, biogas plant, installed electric and thermal capacity, database*