

УДК 696.2

доцент **Юрій Франчук**,

[franchuk.yy@knuba.edu.ua](mailto:franchuk.yy@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-7910-8705

доцентка **Вікторія Коновалюк**

[konovaliuk.va@knuba.edu.ua](mailto:konovaliuk.va@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0001-5115-7188

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

***Анотація.** В умовах, коли росія зруйнувала значну частину української електроенергетичної інфраструктури, а значна частина атомної, відновлюваної та гідроенергетики або пошкоджена, або поки не контролюється на окупованих територіях, найкращим варіантом збалансування системи є використання наявних потужностей газової генерації. На газових електростанціях можна швидко нарощувати та зменшувати потужність генерації електричної енергії. Також перевагами є: можливість швидкого створення об'єктів додаткової генерації; маневреність та незалежність від погодних умов; доступність газових ресурсів та регулювання генерованої потужності у широкому діапазоні. При цьому забезпечується більш стабільна робота та менший вуглецевий слід, ніж при використанні інших джерел енергії (вугілля, мазуту, тощо). В умовах нарощування потужностей газових електростанцій і появи надлишку електричної енергії, її можна використати для виробництва водню. У довгостроковій перспективі актуальна заміна старих вугільних електростанцій на ефективні когенераційні газові установки, які б гарантували резервне постачання електричної енергії.*

***Ключові слова:** енергетичний баланс, об'єм газу, природний газ, біогаз, газові мережі*

**Вступ.** Електрична енергія вироблялась в об'ємі, що повністю задовольняє потреби внутрішніх споживачів, надлишок енергії експортувався до інших країн. Об'єднана енергетична система України будувалася як централізована з великими вузловими електростанціями та системою передачі електричної енергії з високовольтними лініями. Така структура енергетичної системи України є вразливою в умовах надзвичайних ситуацій. Так, у разі пошкодження великої кількості об'єктів генерації та високовольтних трансформаторних підстанцій системи передачі можливе виникнення аварій з тривалим знеструмленням значної кількості споживачів. Зважаючи на необхідність розосередження генерації для посилення стійкості енергосистеми

та масштаб пошкоджень існуючих генеруючих потужностей виникла потреба в розміщенні нової розподіленої генерації. Розподілена генерація - це децентралізоване виробництво електроенергії, яке здійснюється невеликими енергетичними установками безпосередньо біля місць її споживання, вона використовує локальні джерела енергії: сонячні панелі, вітрові електростанції, біогазові установки, малі гідроелектростанції, газові мініТЕЦ (теплоелектроцентралі), генератори на основі відновлюваних або традиційних джерел енергії.

В умовах, коли пошкоджено понад 50% української електроенергетичної інфраструктури і частина потужностей атомної, відновлюваної та гідроенергетики поки знаходиться на окупованих територіях, найкращим варіантом балансування енергетичної системи є використання можливостей газової генерації.

**Актуальність дослідження.** В Україні продовжує здійснюватися видобуток природного газу із газових родовищ і, внаслідок зменшення споживання промисловістю (багато промислових підприємств зруйновано або знаходяться на окупованих територіях), з'явилась можливість застосувати невикористаний об'єм газу для генерації електричної енергії.

**Останні дослідження та публікації.** Згідно з Енергетичною стратегією [1] у балансі споживання енергії Україні планується збільшити частку використання альтернативних джерел енергії і зменшити використання викопних джерел. Розвиток систем газопостачання України здійснюється відповідно до Директиви Європейського парламенту та Ради 2012/27/EU «Про енергоефективність» [2] у напрямку підвищення рівня енергоефективності та надійності інженерних систем. У 2024 році прийнято ряд правових рішень для розвитку розподіленої генерації, в тому числі Постанови Кабінету Міністрів України: №761-р «Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року»; №757-р «Деякі питання проведення пілотних аукціонів з розподілу квоти підтримки у 2024 році»; №756-р «Умови проведення конкурсу на будівництво генеруючої потужності та виконання заходів з управління попитом».

У [3, 4] розглянута можливість сумісного використання традиційного газу у суміші з іншими газами за умови, що отримані суміші будуть відповідати вимогам діючих нормативних документів з якості газу [5, 6]. Потенційні можливості використання мережевого газу та альтернативних газів у двигунах внутрішнього згорання розглянуто в [7]. У [8] проаналізовані способи переобладнання дизельних двигунів для роботи на стиснутому природному газі. У роботі [9] стверджується, що використання альтернативних джерел енергії, таких як біопаливо рослинного чи тваринного походження, скраплений

природний газ тощо, дозволить використовувати двигуни автотранспортних засобів для отримання енергії, при цьому відсутня потреба значної зміни їх конструкції. У роботі [10] визначено, що газові суміші, за характеристиками подібні до бензину, можуть бути заміниками традиційного нафтового палива. Проведений аналіз показав, що газове паливо краще за бензин як за експлуатаційними, так і за екологічними показниками, та має меншу вартість. Тому доцільно переведення силових установок на газове паливо.

**Формулювання цілей статті.** Враховуючи наявний дисбаланс забезпечення споживачів електричною енергією провести аналіз можливих варіантів джерел енергії для балансування енергозабезпечення за рахунок використання традиційного паливного газу і біогазу.

**Основна частина.** Згідно Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» природний газ є одним з основних видів енергії в енергобалансі України. На його долю припадає біля 30% енергії. Частка біопалива зараз складає біля 10%, але планується її збільшення. Третину енергобалансу створюють атомні електростанції, ГЕС, сонячна та вітрова енергетика.

В Україні є добре розвинена інфраструктура для транспортування та зберігання природного газу. Газові мережі України розраховані на постачання газу споживачам понад 100 млрд м<sup>3</sup>. Споживання газу в Україні до широкомасштабного вторгнення росії складало біля 30 млрд м<sup>3</sup> природного газу. Наразі в силу воєнних дій, зупинки багатьох підприємств тощо споживання газу в цілому по Україні знизилось до 15 млрд м<sup>3</sup>. Видобуток природного газу останні роки в середньому складає біля 20 млрд м<sup>3</sup>. Потенціал виробництва біометану/біогазу в Україні за оцінкою Біоенергетичної асоціації України складає 21,8 млрд м<sup>3</sup> на рік [11, 12]. Розглянувши баланс споживання природного газу можна відмітити що маємо значний резерв. До цього можна додати ще певний запас зрідженого газу, штучних газів, тощо.

Один метр кубічний природного газу в залежності від його складу має 10 кВт-год енергії. Тобто, при ціні одного м<sup>3</sup> газу 7,8 грн, з врахуванням доставки вартість 1 кВт-год складатиме біля 1 грн. наразі діючий тариф на 1 кВт-год електроенергії дорівнює 4,31 грн. Вартість енергії на європейському ринку наступна. Станом на серпень 2024 року, найдорожча електроенергія у Німеччині, де вартість 1 кВт-год становить 0,39 євро; у Чехії - 0,37 євро, Ірландії - 0,36 євро, Великій Британії - 0,34 євро, Сербії та Угорщині - 0,10 євро, Болгарії - 0,9 та Норвегії - по 0,07 євро. В Україні вартість електроенергії в перерахунку становить 0,10 євро [13]. Тобто, вартість електричної енергії, виробленої з природного газу, буде конкурентоздатною і для європейського ринку.

Незважаючи на доступну вартість, частка природного газу, що використовується в якості первинного джерела енергії ще дуже низька (складає менше 1%). Розподіл первинних джерел енергії, що були використані в Україні та світових країнах для отримання електричної енергії у 2023 році наведений у табл. 1 [14, 15].

Використання газу для виробництва електроенергії активно відбувається у європейських країнах. Так, Швейцарія використовує мобільні газові турбіни TM2500 потужністю 50 МВт. Крім газу вони можуть працювати і на водні. Німеччина вводить у роботу пікові газові електростанції потужністю 17-21 ГВт, які також можуть працювати на водні. Водночас, Європейське Співтовариство розглядає Україну важливим партнером на шляху до декарбонізації.

Таблиця 1. Частка первинних джерел для виробництва електричної енергії на 1 кВт·год

Джерело енергії	частка витрат, %	
	Україна	інші країни
природний газ	0,26	27
відновлювані джерела енергії	2,94	9
гідроенергія (об'єкти великої гідроенергетики)	16,28	17
вугілля	17,03	34
інші джерела	17,16	3
ядерне паливо	46,33	10

Вплив на навколишнє середовище викидів CO<sub>2</sub>, спричинений виробництвом електроенергії складе 227 г/кВт·год, радіоактивні відходи при цьому не утворюються.

Технологія виробництва електроенергії на природному газі проста і відпрацьована. Більш активне використання газу у порівнянні з вугіллям дозволяє не лише спростити технологію і оптимізувати логістичні витрати, а й сприятиме дотриманню екологічних стандартів. Розвиток генерації електроенергії з природного газу може вирішити питання збалансування системи у разі надзвичайних обставин. Проекти газової генерації можуть бути використані і для балансування відновлюваних джерел енергії.

Шляхом встановлення генеруючих установок середньої та малої потужності що працюють на різних газах можна оперативно вирішити питання забезпечення споживачів електричною енергією.

Такі генератори можуть працювати на різних видах палива, включаючи

біогаз, генераторний газ, природний газ, скраплений газ тощо. Найбільш популярні на вітчизняному ринку газогенератори використовують скраплений пропан-бутан. Газогенератор використовується як резервне джерело живлення для сеансів тривалістю від 5 до 10 годин. Установка може отримувати газ з балона або шляхом підключення до основної системи газопостачання.

Найнижча вартість кіловата електроенергії, виробленої газовими генераторами, сьогодні є їх найвагомішою перевагою. Частково це пояснюється тим, що газ набагато дешевший, ніж бензин і дизельне паливо. Але в перспективі, вартість газу може зростати.

Наступним позитивним фактором є те що розведення джерел генерації енергії зменшує ризик їх ураження та пошкоджень, а ціна виведення генерацій з ладу при обстрілі їх ракетами зростає. Вартість ракети складає мільйони доларів, а вартість установок генерацій електрики лише тисячі доларів

Газотранспортна система менш уразлива до пошкоджень від руйнувань, так як видобуток газу досить розосереджений і мережа має переважно підземне прокладання. Вразливими є компресорні станції, які забезпечують необхідний тиск газу для його транспортування. Наявність запасу газу в газових сховищах підвищує надійність роботи системи.

Ефективним заходом для підтримання балансу електричної енергії є маневрова мобільна генерація на основі газових турбін. Ця технологія може швидко забезпечити надходження енергії в критичній ситуації на базі існуючої газової інфраструктури. Це резерв, який страхуватиме за потреби всю енергетичну систему. Тому необхідно максимально впроваджувати встановлення такого обладнання (газових турбін, двигунів внутрішнього згоряння, тощо).

Пропонується розмістити генеруючі установки що працюють на газі в місцях трас газопроводів де споживачі відчувають нестачу електроенергії, виробляти цю енергію та транспортувати безпосередньо споживачам. В інших випадках де є потреба в електричній енергії і немає газових мереж генеруючі установки рекомендується заживлювати від біогазу чи зрідженого газу.

Газові турбіни порівняно з традиційним виробництвом електричної енергії мають наступні переваги: більш тривалий термін експлуатації, швидкий запуск і вихід на необхідну потужність, менша кількість шкідливих викидів.

Для підтримання належного рівня енергетичної безпеки пропонуємо застосовувати маневрову мобільну генерацію на основі газових турбін. Такі технології достатньо ефективні, швидко встановлюються на базі існуючої газової інфраструктури та можуть оперативно забезпечити живлення в критичній ситуації.

Декілька ключових технічних особливостей роботи

газотурбінних/газопоршневих установок (ГТУ/ГПУ): перш за все це висока маневрова здатність, але доволі низький ККД. Це швидкий монтаж за рахунок модульної конструкції, але на сьогодні найвища собівартість виробленої кВт·год у порівнянні з технічними конкурентами.

Перспективним є використання комбінованої енергетики: «природний газ плюс водень» [4] та «природний газ плюс біометан». Ці технології активно впроваджуються у європейських країнах. Біометан може використовуватись як паливо для двигунів і для виробництва електричної енергії.

За підрахунками Біоенергетичної асоціації України економічно вигідна для виробників вартість біометану становить 800-900 євро за 1000 куб. м, залежно від сировини та потужності установки. При цьому вартість природного газу сьогодні істотно нижча – 300 євро за 1000 куб.

**Висновок.** Українську газотранспортну систему можна розглядати як основу для розвитку децентралізованої балансуючої газової генерації електроенергії. Така розгалужена, маневрена система дасть можливість працювати в умовах нестачі енергії та її надлишку, вона забезпечить зберігання надлишкової енергії з подальшим використанням у години пікового споживання. Для балансування системи постачання електричної енергії в умовах потенційних обстрілів територій пропонується впровадження наступних коротко- і довготермінових заходів. Короткотермінові заходи:

1. Застосування газової генерації для балансування системи електропостачання.

2. Виробництво електроенергії на мобільних енергетичних установках з використанням в якості палива природного і зрідженого газу, біогазу, водню чи суміші цих газів.

3. У випадку неможливості самостійного забезпечення балансу системи електропостачання застосовувати екстрені постачання енергії з інших країн.

4. Ремонт та відновлення пошкодженої інфраструктури.

5. Оптимізація споживання енергії.

Довготермінові заходи:

1. Розширення діапазону джерел генерації електричної енергії.

2. Розвиток та модернізація енергетичної інфраструктури.

3. Інтеграція з європейськими ринками енергії.

4. Залучення міжнародних партнерів та інвесторів.

Ці заходи, як у короткотерміновій так і в довготерміновій перспективі, допоможуть зміцнити енергетичну незалежність України та забезпечити стабільне постачання енергії для всіх секторів економіки. Запропоновані рішення розвитку розподіленої генерації в Україні багатообіцяючі. Вони особливо актуальні в умовах наявних руйнувань системи енергопостачання

внаслідок військової агресії. Актуальність використання газової генерації не зменшиться і в післявоєнний час в умовах відбудови енергетичної системи. Інші варіанти генерації (атомна, сонячна, водяна, тощо) складніші, менш маневрені по потужності та довготривалі у будівництві. Крім того газова генерація в перспективі може бути переведена на альтернативний газ, такий як біометан або синтетичний газ.

### References

1. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 r. «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist». – Skhval. rozporiadzhenniam KМУ vid 18.08.2017 r. №605-r. URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=245234085](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085).
2. Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady 2012/27IeS vid 25 zhovtnia 2012 roku pro enerhoefektyvnist, vnesennia zmin ... (Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending ...) (In Ukrainian). [online] [19.03.2024]. Available at: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_017-12#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_017-12#Text)
3. Franchuk Yu., Konovaliuk V. Analiz vidpovidnosti skladu hazovykh sumishei normatyvnym vymoham do yakosti hazu // Prykladni naukovo-tekhnichni doslidzhennia : materialy VI mizhnar. nauk.-prak. konf., 14-16 trav. 2024 r. – Akademiia tekhnichnykh nauk Ukrainy. – Ivano-Frankivsk : Vydavets Kushnir H. M. – 2024. – 292 s., s. 125-128. <https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2024/05/conf2024.pdf>
4. Franchuk Y., Kosilov V., Kovalchuk Y. Determing the physical-chemical parametere of fuel mixtures of gas with hydrogen in gas networks // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 6 (132) 2024, p. 49-58. SCOPUS. <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/318930/310277>
5. Kodeks hazotransportnoi systemy: zatv. Post. Nats. komis., shcho zdiisniue derzh. rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komun. posluh vid 30.09.2015 r. № 2493: stanom na 29 berez. 2024 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15#Text>
6. DSTU 27577:2005 Haz pryrodnyi palyvnyi komprymovannyi dlia dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia. Tekhnichni umovy (HOST 27577-2000, IDT).
7. Franchuk Yu., Konovaliuk V. Vykorystannia biometanu i vodniu u dvyhunakh vnutrishnoho zghoriannia // Ventyliatsiia, osvittennia i teplohazopostachannia: nauk. tekhn. zbirnyk. – vyp. 48 – K. KNUBA, 2024. – s. 32-39. URL: <http://vothp.knuba.edu.ua/article/>
8. Zakharchuk O.V. Vykorystannia hazovoho palyva v avtotraktornii tekhnitsi: monohrafiia /Oleh Viktorovych Zakharchuk. - Lutsk: RVV Lutskoho NTU,

2016. - 164 s.

9. Kovbasenko S.V. Mozhlyvosti pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky transportnykh zasobiv z dyzeliamy zastosuvanniam alternatyvnykh palyv. Visnyk mashynobuduvannia ta transportu No2(16), 2022, s. 51–57. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-16-2-51-57>

10. Dobrovolskyi O.S., Stupak N.S. Dotsilnist perevedennia avtomobilnoho parku na hazove palyvo. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky, vyp. № 1 (37), 2017. s. 124-132. <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/124.pdf>

11. Spivpratsia Ukrainy ta YeS v biometanovomu sektori: perspektyvy ta pereshkody // POLICY BRIEF. – Kyiv: HO “DIKSI HRUP”, 2024 r, 22 s. Rezhym dostupu: [https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2024/03/policy-brief\\_spivpraczya-ukrayiny-ta-yes-v-biometanovomu-sektori.pdf](https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2024/03/policy-brief_spivpraczya-ukrayiny-ta-yes-v-biometanovomu-sektori.pdf)

12. Potensial vyrobnytstva biohazu v Ukraini stanovyt 21,8 miliarda kubometriv na rik - DiXi Group /Ukrinform [Elektronnyi resurs]. – 2024. – Rezhym dostupu: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3835014-potencial-virobnictva-biogazu-v-ukraini-stanovit-218-milarda-kubometriv-na-rik-dixi-group.html>

13. Skilky koshtue elektroenerhiia v Yevropi: de naideshevsha ta naidorozhcha, [Elektronnyi resurs] Mind.ua, 2024. – Rezhym dostupu: <https://mind.ua/publications/20279030-skilki-koshtue-elektroenergiya-v-evropi-de-najdeshevsha-ta-najdorozhcha>

14. Informatsiia shchodo chastky kozhnoho dzherela enerhii, yaka bula vykorystana u zahalnij strukturi balansu kuplenoi elektrychnoi enerhii za 2023 rik [Elektronnyi resurs]. – 2024. – Rezhym dostupu: <https://www.ez.rv.ua/informatsiya-shhodo-chastky-kozhnogo-dzherela-energiyi-yaka-bula-vykorystana-u-zagalnij-strukturi-balansu-kuplenoyi-elektrychnoyi-energiyi-za-2023-rik/>

15. Heneratsiia elektroenerhii u sviti [Elektronnyi resurs]. – 2024. – Rezhym dostupu: <https://expro.com.ua/novini/generacya-elektroenerg-u-svt-za-2020r-vugllya-34-gaz--27-gdro--17-aes--10-ves-ta-ses--9>.



UDC 696.2

Associate Professor **Yurii Franchuk**,

[franchuk.yy@knuba.edu.ua](mailto:franchuk.yy@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0002-7910-8705,

Associate Professor **Viktoriia Konovaliuk**,

[konovaliuk.va@knuba.edu.ua](mailto:konovaliuk.va@knuba.edu.ua), ORCID: 0000-0001-5115-7188

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

## USE OF GAS GENERATION TO BALANCE THE ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM

*In a situation where Russia has destroyed a significant part of Ukraine's electricity infrastructure, and a significant part of nuclear, renewable and hydropower is either damaged or still not controlled in the occupied territories, the best option for balancing the system is to use the available gas generation capacities. At gas-fired power plants, it is possible to quickly increase and decrease the power of generating electricity. Also, the advantages are: the ability to quickly create additional generation facilities; maneuverability and independence from weather conditions; availability of gas resources and regulation of generated power over a wide range. This ensures more stable operation and a smaller carbon footprint than when using other energy sources (coal, fuel oil, etc.). In conditions of increasing the capacity of gas power plants and the emergence of a surplus of electrical energy, it can be used to produce hydrogen. It is recommended to use gas from secondary and renewable sources. Along with the 20 billion cubic meters of gas produced from Ukrainian fields, there is a significant potential for biogas from secondary and renewable sources. It is estimated at 21.8 billion cubic meters. Gas consumption after 2022 is less than 20 billion cubic meters. The use of a mixture of biomethane with methane from a gas field has significant potential. Such a mixture can be used to feed the gas transmission network or be burned to generate electricity. The reserve of gas fuel is formed as a result of reducing the loads of industrial consumers. Also, as a result of the installation of more efficient equipment, new production technologies in certain sections of the network, the possibility of redirecting unused gas to generate electricity is created. The concentration of the generators of electrical energy generation and their maneuverability in the minds of a during a state of war camp promote the reliability of providing electrical energy to residents. This is due to the reduced likelihood of destruction of generation sources. In the long term, the replacement of old coal-fired power plants with efficient cogeneration gas plants, which would guarantee a backup supply of electricity, is urgent.*

*Key words: energy balance, gas volume, natural gas, biogas, gas networks.*