

**ПАСТУХОВ МИКОЛА ВІЛІЙОВИЧ** – кандидат технічних наук, керівник відділу, ПрАТ «ТУРБОГАЗ»; докторант кафедри електричного транспорту та тепловозбудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7784-4725>; e-mail: [pastuhovn@turbogaz.com.ua](mailto:pastuhovn@turbogaz.com.ua).

**РЯБОВ ЄВГЕН СЕРГІЙОВИЧ** ✉ – кандидат технічних наук, доцент кафедри електричного транспорту та тепловозбудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0753-514X>; e-mail: [riabov.ievgen@gmail.com](mailto:riabov.ievgen@gmail.com).

## СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНИХ АГРЕГАТІВ

Використання технологій, які спрямовані на підвищення енергоефективності та енергонезалежності технологічних процесів, є ключовим напрямом розвитку нафтогазової промисловості. Для об'єктів газової інфраструктури можливе використання енергії, яка вивільняється при редукуванні газового потоку. Для цього використовуються установки на основі турбодетандерів. Їх використання для генерування електроенергії дозволяє забезпечити електроживлення споживачів об'єкту газової інфраструктури та скоротити або відмовитися від споживання газу для технологічних процесів. З метою підвищення енергонезалежності об'єктів газової інфраструктури доцільно використання резервних джерел живлення. Для цих цілей запропоновано використання когенераційних установок на основі газопоршневих двигунів. Їх використання не потребує дизельного пального, що зменшує експлуатаційні витрати. Теплова енергія, яка виділяється при роботі когенераційної установки, може використовуватися у технологічних процесах об'єкту газової інфраструктури. Для забезпечення безперебійного енергоживлення необхідно застосування систем накопичення енергії. Розглянуто системи накопичення на основі хімічних елементів та інерційних накопичувачів. Запропоновано та проведено аналіз варіантів побудови системи безперервного енергоживлення для об'єктів газової інфраструктури. Показано, що найменші габаритні розміри буде мати установка, яка містить поршневий двигун, інерційний накопичувач та електричний генератор, інтегровані в єдиний модуль. Подальший розвиток запропонованої концепції полягає у створенні систем генерації енергії з використанням детандер-генераторних агрегатів та когенераційних установок. Це забезпечить живлення критичних споживачів при тривалих відключеннях електроенергії, що підвищить стабільність роботи як об'єктів газової інфраструктури, так і зовнішніх споживачів критичної інфраструктури.

**Ключові слова:** турбодетандер; генератор; накопичувач енергії; система безперебійного живлення; розподілена генерація; електромеханічна система; енергоефективність.

**Вступ.** Одним із напрямів стабільного розвитку є використання технологій, які спрямовані на утилізацію будь-яких доступних енергетичних відходів. На об'єктах газової інфраструктури для цього доцільно використовувати технології на основі турбодетандерних агрегатів, що дозволяє використовувати енергію, яка вивільняється при редукуванні газу [1–3]. Це дозволяє в певній мірі компенсувати енергію, яка витрачена на компресорній станції для перекачування газу.

У газовій промисловості турбодетандери використовують у таких цілях [4]:

1. підготовка газу на об'єктах газового промислу (видобутку) для транспортування трубопровідною системою (охолодження природного газу, проведення низькотемпературної сепарації);
2. скраплення газу (отримання газового конденсату та інших видів вуглеводнів);
3. приводу електричних генераторів для вироблення електричної енергії при редукуванні надлишкового тиску газу.

Останнє дозволяє забезпечити електроенергією як безпосередньо об'єкт газотранспортної інфраструктури, так і утворити об'єкт розподіленої генерації. В умовах нестабільної роботи електроенергетичної системи це дозволяє забезпечити стабільне функціонування газового об'єкту та споживачів критичної інфраструктури. Втім, стабільне виробництво електроенергії за допомогою детандер-генераторних агрегатів можливе лише в умовах стабільних параметрів потоку газу, який проходить

через турбодетандер. В реальних умовах спостерігаються добові та сезонні коливання споживання газу та його тиску. Це може призвести до випадків, коли вироблення енергії буде не достатньо для живлення споживачів. При відсутності зовнішнього електропостачання це призведе до порушення технологічного процесу роботи обладнання, що негативно впливатиме на функціонування об'єкту газової інфраструктури. Тому для забезпечення стабільного функціонування необхідно використання джерел резервного живлення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На рис. 1 показано загальний вигляд (рис. 1 а) та принципову схему вироблення електроенергії (рис. 1 б) на об'єкті газової інфраструктури, на якому застосовано детандер-генераторний агрегат.

Детандер-генераторні агрегати мегаватної потужності комплектуються синхронними турбогенераторами промислової частоти номінальною напругою 6(10) кВ. Таке рішення зменшує капітальні витрати на виготовлення детандер-генераторного агрегату та забезпечує більш просте підключення до електричної мережі. Електроенергія, яка виробляється детандер-генераторним агрегатом, споживається на об'єкті газової інфраструктури та передається до мережі зовнішнього електропостачання.

Найбільшу лінійку детандер-генераторних агрегатів серед вітчизняних виробників пропонує ПрАТ «ТУРБОГАЗ» [5]. Технічні параметри детандер-генераторних агрегатів наведено у табл. 1.

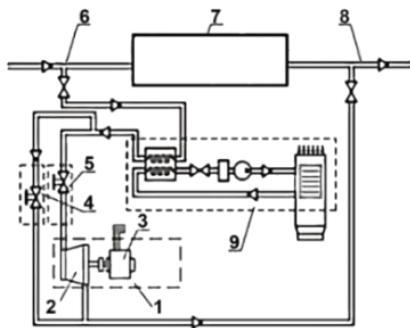


Таблиця 1 – Технічні параметри детандер-генераторів виробництва ПрАТ «ТУРБОГАЗ» [5]

| Найменування детандер-генераторного агрегату | Місце встановлення                           | Витрата газу, млн. м <sup>3</sup> /доба | Номінальна потужність, кВт |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| УТДУ-4000-4,2-3-УХЛ4                         | ГРС м. Запоріжжя                             | 2,6...3,02                              | 4000                       |
| УДЕУ-2500-У2                                 | ГС «Солоха»,<br>ГПУ «Полтавагазвидобування»  | 1,4...4,2                               | 2500                       |
| ДГУ-8                                        | ГРС «Сміла»,<br>УМГ «Черкаситрансгаз»        | 0,043                                   | 8                          |
| УТДУ-4000-4,5-4,5-УХЛ4                       | ГРС м. Сєвєродонецьк                         | 4,2...5,9                               | 4000                       |
| УТДУ-4000-УХЛ4                               | ГРС м. Одеса                                 | 0,8...2,4                               | 4000                       |
| УКС-2-300                                    | КС «Задніпровская»,<br>УМГ «Черкаситрансгаз» | 0,1...0,5                               | 8                          |
| УДЕУ-2500                                    | ГРС-7 Дніпровського ЛП УМГ                   | 1,35...4,5                              | 2500                       |



а



б

1 – турбодетандерний агрегат; 2 – турбодетандер; 3 – електричний генератор; 4,5 – вентилі; 6 – вхідний трубопровід; 7 – газорозподільча станція; 8 – вихідний трубопровід; 9 – підігрівач

Рисунок 1 – Детандер-генераторна енергетична установка:  
а – загальний вигляд утилізаційної детандер-генераторної енергетичної установки УДЕУ-2500

б – схема підключення детандер-генераторного агрегату [1]

Як вказано вище, при несприятливих параметрах потоку газу, який проходить через турбодетандер, та відсутності зовнішнього електропостачання можливе порушення працездатності об'єкту газової інфраструктури. Для цього необхідно використання

джерел резервного живлення. Такий підхід широко застосовується при побудові систем електроживлення для data-центрів, телекомунікаційних компаній, фармакологічних та хімічних виробництв і т. д., де безперебійне живлення є критично важливим для функціонування об'єкту.

**Метою роботи** є аналіз варіантів створення системи електроживлення з використанням детандер-генераторних агрегатів.

**Результати дослідження.** Для створення системи безперебійного енергоживлення необхідно застосування накопичувачів енергії. На сьогодні на ринку представлені системи накопичення енергії багатьох виробників [6–8]. Найпоширенішими є системи, які використовують хімічні елементи. На рис. 2 а показано типову конструкцію модуля накопичення енергії. Його основними елементами є акумуляторні батареї, мережевий інвертор, система охолодження тощо. Альтернативою хімічним елементам є використання інерційних накопичувачів (рис. 2 б).

В таких системах акумулювання енергії здійснюється за рахунок кінетичної енергії маховика, який обертається. Перетворення електричної енергії у механічну і навпаки здійснюється електромеханічним перетворювачем енергії (електричною машиною). Незважаючи на можливість створення систем накопичення високої ємності, які можуть забезпечити живлення споживачів тривалий час, більш доцільним вбачається використання установок, які працюють на викопному паливі. А системи накопичення енергії використовуються нетривалий час, який необхідний для введення в дію резервного джерела або компенсації перевантаження. Ця концепція використана в установці mtu KineticPowerPacks [9] (рис. 3), яка поєднує інерційний накопичувач енергії та поршневий двигун.

Таким чином, на поточний момент існують технології для систем безперебійного живлення, які можуть бути використані при побудові системи електроживлення з використанням детандер-генераторних агрегатів.



а

б

Рисунок 2 – Накопичувачі енергії

а – улаштування модулю системи накопичення енергії [10]; б – інерційний накопичувач [11]



Рисунок 3 – Загальний вигляд mtu KineticPowerPacks [12]

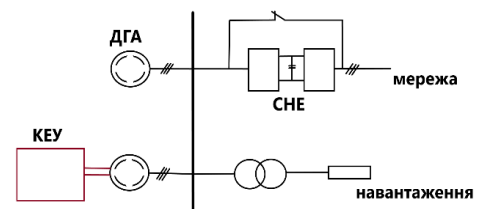
Для забезпечення безперебійної роботи обладнання об'єкту газотранспортної інфраструктури, в тому числі протягом часу запуску та включення, поршневої енергетичної установки необхідно застосування систем накопичення енергії. При використанні систем накопичення енергії з'єднання різних джерел можливе як по шині змінного струму [13, 14], так і по шині постійного струму [15, 16].

На рис. 4 показані варіанти схеми з об'єднанням по шині змінного струму.

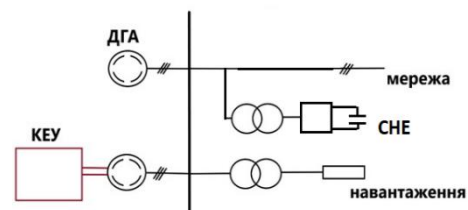
Перевагами схем, показаних на рис. 4, є використання серійного електрообладнання. Певний недолік полягає в тому, що для забезпечення робочої напруги 6(10) кВ необхідне використання додаткових трансформаторів у складі перетворювачів системи накопичення енергії. Це призводить до збільшення масо-габаритних показників та вартості системи накопичення енергії.

При застосуванні енергетичної установки по типу mtu Kinetic PowerPack також використовується підключення по шині змінного струму [17] (рис. 5).

Перевагами використання установки mtu Kinetic PowerPack є мінімізація простору для її встановлення, оскільки всі компоненти інтегровані в єдину систему. Та водночас це ускладнює конструкцію, що є певним недоліком.



а



б

ДГА – детандер-генераторний агрегат; KEU – когенераційна енергетична установка; CNE – система накопичення енергії

Рисунок 4 – Варіант системи живлення з системи накопичення енергії з подвійним перетворенням та об'єднанням по шині змінного струму  
а – з подвійним перетворенням енергії,  
б – з паралельним підключенням

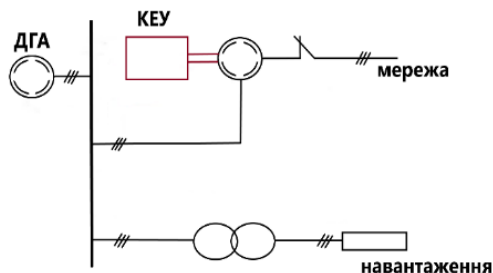


Рисунок 5 – Підключення установки mtu Kinetic PowerPack (позначення – див. рис. 4)

Можливим варіантом є створення системи з об'єднанням по шині постійного струму (рис. 6).

Перевагами такої системи є можливість оптимізації детандер-генераторного агрегату, зокрема, використання безредукторного приводу високошвидкісного генератора та використання. Недолік такої схеми полягає у більшій кількості обладнання.

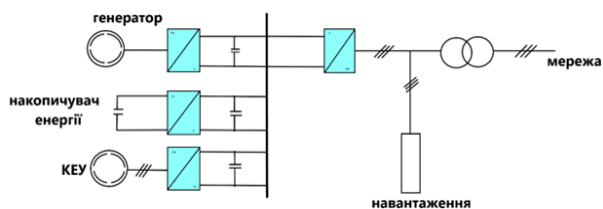


Рисунок 6 – Варіант системи живлення з об'єднанням по постійному струму

Запропоновані варіанти систем електроживлення з використанням детандер-генераторних агрегатів потребують подальших досліджень, що включають використання фактичних даних по енергоспоживанню на об'єктах газової інфраструктури, врахування масогабаритних та вартісних показників обладнання, визначення раціональної структури системи тощо. Подальшим розвитком напрямку є створення систем розподіленої генерації для оптимізації роботи систем електропостачання [18].

**Висновки.** Для підвищення ефективності об'єктів газової інфраструктури доцільне використання детандер-генераторних агрегатів, які забезпечують використання енергії, яка вивільняється при редуванні. Важливим напрямом є виробництво електроенергії енергоживлення об'єкту газової інфраструктури та інших споживачів.

При створенні систем електроживлення з використанням детандер-генераторних агрегатів необхідно використання додаткових автономних джерел та систем накопичення енергії. Перші забезпечать енергоживлення при недостатності потужності детандер-генераторного агрегату, другі забезпечать безперебійність живлення.

Запропоновані варіанти побудови систем електроживлення з використанням детандер-генераторних агрегатів та відзначено, що вибір найбільш ефективного варіанту потребує проведення комплексних досліджень.

## Список літератури

1. Моїсєєв О. М. Електромеханічний комплекс автономного електроживлення з турбодетандером для станцій газотранспортування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03. Харків, 2012. 19 с.
2. Підвищення ефективності роботи газорозподільної станції в умовах змінного навантаження / Л. Волянська та ін. *Наукові технології*. 2024. Т. 62, № 2. С. 209–218. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.62.18818>.
3. Говдяк Р. М. Утилізація енергії тиску природного газу в турбодетандерних установках на об'єктах газової промисловості. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2014. Т. 14, № 1. С. 7–12.
4. Високотехнологічні автономні турбодетандерні електричні станції задля енергобезпеки та енергонезалежності : монографія / М. А. Ткачук та ін. Харків : ФОП Панов А. М., 2025. 196 с.
5. TurboGaz – турбодетандерні установки та енергетичні рішення. *Турбогаз* | *TURBOGAZ*. URL: <https://turbogaz.com.ua> (дата звернення: 27.04.2025).
6. ABB. UPS Systems. *UPS and Power Conditioning*. URL: <https://new.abb.com/ups/systems> (дата звернення: 27.04.2025).
7. Energy Storage System. *mtu Solutions – Sustainable power that matters*. URL: <https://www.mtu-solutions.com/eu/en/applications/power-generation/power-generation-products/energy-storage-system.html> (дата звернення: 27.04.2025).
8. Toshiba International Corporation. *Toshiba | Business to Business Integrated Solutions*. URL: <https://www.toshiba.com/tic/power-electronics> (дата звернення: 27.04.2025).
9. mtu Kinetic PowerPack. *mtu Solutions – Sustainable power that matters*. URL: <https://www.mtu-solutions.com/eu/en/applications/power-generation/power-generation-products/mtu-kinetic-powerpack.html> (дата звернення: 27.04.2025).
10. X-Pact® Battery Storage. *Leading partner in the world of metals - SMS group GmbH*. URL: <https://www.sms-group.com/services/x-pact-battery-storage> (дата звернення: 27.04.2025).
11. Regenerative drives and motors unlock the power of flywheel energy storage to stabilize Europe's grids | ABB. *ABB*. URL: <https://new.abb.com/news/detail/93092/regenerative-drives-and-motors-unlock-the-power-of-flywheel-energy-storage-to-stabilize-europes-grids> (дата звернення: 27.04.2025).
12. Rolls-Royce: mtu Kinetic PowerPack approved for HVO. *Powertrain International*. URL: <https://www.powertraininternationalweb.com/powergen/rolls-royce-mtu-kinetic-powerpack-approved-for-hvo/> (дата звернення: 27.04.2025).
13. Tammemäe T., Nieto C. Microgrid and Battery Energy Storage. Enabling low-carbon operations with new revenue streams for data centers. ABB Ltd., 2023. 14 с. URL: <https://library.e.abb.com/public/bf60031827274b0899efe5bae0eb9c0e/Microgrid%20and%20Battery%20Energy%20Storage%209AKK108467A5981%20REV.B.pdf> (дата звернення: 27.04.2025).
14. Grid-Connected Energy Storage Systems: State-of-the-Art and Emerging Technologies / G. G. Farivar et al. *Proceedings of the IEEE*. 2022. Vol. 111, no. 4. P. 397–420. DOI: <https://doi.org/10.1109/jproc.2022.3183289>.
15. Gajewski P., Pieńkowski K. Control of the hybrid renewable energy system with wind turbine, photovoltaic panels and battery energy storage. *Energies*. 2021. Vol. 14, no. 6. 1595. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14061595>.
16. Review of power sharing, voltage restoration and stabilization techniques in hierarchical controlled DC microgrids / Y. Han et al. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 149202–149223. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2946706>.
17. Maluck L. mtu Kinetic PowerPacks: How Dynamic Uninterruptible Power Supply systems work. *mtu Solutions – Sustainable power that matters*. URL: <https://www.mtu-solutions.com/en/en/stories/power-generation/ups-dups-and-a-lot-of-kinetic-energy-how-dynamic-uninterruptible-power-supply-systems-work.html> (дата звернення: 27.04.2025).
18. Самойлик О. В., Курбака Г. В. Оптимізація засобів розподіленої генерації у складі локальних електротехнічних

комплексів. *Молодий вчений*. 2019. № 5 (69). С. 272–275. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-5-69-60>. (англійською)

## References

1. A. N. Moiseyev, "Electromechanical complex of independent power supply with turbodetender for gas-transport stations", extended abstract of dissertation of Candidate of Technical Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute," Kharkiv, 2012. (in Ukrainian)
2. L. Volianska, G. Nikitina, V. Ratynskiy, and I. Babichev, "Increasing the efficiency of gas distribution station operation in conditions of variable capacity", *Science-Based Technologies*, vol. 62, no. 2, pp. 209–218, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.62.18818> (in Ukrainian)
3. R. M. Hovdiak, "Utylizatsiia enerhii tysku pryrodnoho hazu v turbodetandernykh ustanovkakh na ob'ekтах hazovoi promyslovosti [Utilisation of natural gas pressure energy in turboexpander units at gas industry facilities]", *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, vol. 14, no. 1, pp. 7–12, 2014. (in Ukrainian)
4. M. A. Tkachuk, I. V. Babichev, M. A. Hnatiuk, and A. A. Vysokotekhnolohichni avtonomni turbodetanderni elektrychni stantsii zadlia enerhobezpeky ta enerhonezalezhnosti [High-tech autonomous turbodetender power stations for energy security and energy independence]. Kharkiv: FOP Panov A. M., 2025. (in Ukrainian)
5. "Турбогаз | TURBOGAZ." Турбогаз | TURBOGAZ. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://turbogaz.com.ua>
6. ABB. "UPS systems." UPS and Power Conditioning. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://new.abb.com/ups/systems>
7. "Energy Storage System." mtu Solutions – Sustainable power that matters. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.mtu-solutions.com/eu/en/applications/power-generation/power-generation-products/energy-storage-system.html>
8. "Toshiba International Corporation." Toshiba | Business to Business Integrated Solutions. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.toshiba.com/tic/power-electronics>
9. "mtu Kinetic PowerPack." mtu Solutions – Sustainable power that matters. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.mtu-solutions.com/eu/en/applications/power-generation/power-generation-products/mtu-kinetic-powerpack.html>
10. "X-Pact® battery storage." Leading partner in the world of metals - SMS group GmbH. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.sms-group.com/services/x-pact-battery-storage>
11. "Regenerative drives and motors unlock the power of flywheel energy storage to stabilize Europe's grids | ABB." ABB. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://new.abb.com/news/detail/93092/regenerative-drives-and-motors-unlock-the-power-of-flywheel-energy-storage-to-stabilize-europes-grids>
12. "Rolls-Royce: mtu Kinetic PowerPack approved for HVO." Powertrain International. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.powertraininternationalweb.com/powergen/rolls-royce-mtu-kinetic-powerpack-approved-for-hvo/>
13. T. Tammemäe and C. Nieto, "Microgrid and Battery Energy Storage. Enabling low-carbon operations with new revenue streams for data centers", ABB Ltd., 2023. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://library.e.abb.com/public/bf60031827274b0899efe5bae0eb9c0e/Microgrid%20and%20Battery%20Energy%20Storage%209AKK108467A5981%20REV.B.pdf>
14. G. G. Farivar et al., "Grid-Connected energy storage systems: State-of-the-art and emerging technologies", *Proceedings of the IEEE*, vol. 111, no. 4, pp. 397–420, 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/jproc.2022.3183289>
15. P. Gajewski and K. Pieńkowski, "Control of the hybrid renewable energy system with wind turbine, photovoltaic panels and battery energy storage", *Energies*, vol. 14, no. 6, Mar. 2021, Art. no. 1595, doi: <https://doi.org/10.3390/en14061595>
16. Y. Han, X. Ning, P. Yang, and L. Xu, "Review of power sharing, voltage restoration and stabilization techniques in hierarchical controlled DC microgrids", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 149202–149223, 2019, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2946706>
17. L. Maluck, "mtu Kinetic PowerPacks: How Dynamic Uninterruptible Power Supply systems work." mtu Solutions – Sustainable power that matters. Accessed: Apr. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.mtu-solutions.com/cn/en/stories/power-generation/ups-dups-and-a-lot-of-kinetic-energy-how-dynamic-uninterruptible-power-supply-systems-work.html>
18. O. Samoiluk and H. Kurbaka, "Optimization of means of distributed generation in the structure of local electrotechnical complexes", *Young Scientist*, no. 5 (69), pp. 272–275, May 20196 doi: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-5-69-60>

Надійшла (received) 07.06.2025

UDC 621.31:621.6

**PASTUKHOV MYKOLA** – Candidate of Technical Sciences (PhD), Head of Department, PJSC "TURBOGAZ"; Doctoral Student of the Department of Electric Transport and Locomotive Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7784-4725>; e-mail: [pastuhovn@turbogaz.com.ua](mailto:pastuhovn@turbogaz.com.ua).

**RIABOV YEVHEN** ✉ – Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Electric Transport and Locomotive Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0753-514X>; e-mail: [iabov.ievgen@gmail.com](mailto:iabov.ievgen@gmail.com).

## CREATION OF POWER SUPPLY SYSTEMS USING EXPANDER-GENERATOR UNITS

The use of technologies aimed at increasing energy efficiency and energy independence of technological processes is a key direction in the development of the oil and gas industry. For gas infrastructure facilities, it is possible to use the energy released when reducing the gas flow. For this purpose, installations based on turboexpanders are used. Their use for generating electricity allows to provide power supply to consumers of the gas infrastructure facility and reduce or abandon gas consumption for technological processes. In order to increase the energy independence of gas infrastructure facilities, it is advisable to use backup power sources. For these purposes, the use of cogeneration plants based on gas piston engines is proposed. Their use does not require diesel fuel, which reduces operating costs. Thermal energy released during the operation of the cogeneration plant can be used in technological processes of the gas infrastructure facility. To ensure uninterrupted power supply, it is necessary to use energy storage systems. Storage systems based on chemical elements and inertial accumulators are considered. The options for constructing an uninterrupted power supply system for gas infrastructure facilities have been proposed and analyzed. It has been shown that the smallest overall dimensions will be those of a plant that contains a piston engine, an inertial storage device and an electric generator integrated into a single module. Further development of the proposed concept consists in creating energy generation systems using expander-generator units and cogeneration plants. This will ensure the power supply of critical consumers during long power outages, which will increase the stability of operation of both gas infrastructure facilities and external consumers of critical infrastructure.

**Keywords:** turboexpander; generator; energy storage; uninterruptible power supply system; distributed generation; electromechanical system; energy efficiency.