

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.03>
УДК 621.3

Економічна доцільність використання когенераційних установок різних потужностей

Мамалига Володимир Михайлович¹⁾

Канд. техніч. наук, доцент каф. Цифрові технології в енергетиці
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5922-4066>; v.mamalyga@gmail.com

Сегеда Ірина Василівна¹⁾

Канд. економіч. наук, доцент каф. Цифрові технології в енергетиці
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1958-4985>; irynaseg@gmail.com

Войтенко Володимир Андрійович²⁾

Канд. техніч. наук, доцент каф. Електромеханічної інженерії
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2525-6913>; voitenko@op.edu.ua. Scopus ID: 57344261700

Кондрашін Олексій Максимович¹⁾

Бакалавр каф. Цифрові технології в енергетиці
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0939-7837>; oleksii.kondrashin@gmail.com

¹⁾ Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”
Берестейський проспект, 37. Київ, 03056, Україна

²⁾ Національний університет “Одеська політехніка”, пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

АНОТАЦІЯ

Представлено аналіз економічної доцільності використання когенераційних газотурбінних установок різної номінальної потужності 8 MW, 30 MW і 77 MW порівняно з системами живлення від електричної мережі централізованого енергопостачання, як альтернативу закупівлі електроенергії у зовнішніх постачальників. В роботі розглянуто когенераційні газотурбінні установки типу Siemens SGT-300, типу Solar Titan T250, та типу Rolls Royce Trent 60. Для кожної когенераційної установки врахована її потужність, капітальні інвестиції та довгострокові експлуатаційні витрати. При проведенні аналізу ефективності використання когенераційних газотурбінних установок була врахована вартість грошей, які можна залучити для реалізації таких проектів. Результати дослідження показали, що порівняно з живленням від електричної мережі централізованого енергопостачання економічно більш доцільним є використання когенераційних газотурбінних установок. Проведено також аналіз сценарію, за якого необхідно мати декілька когенераційних газотурбінних установок із сумарною потужністю 60 MW. Коли потрібне значення потужності споживання електричної енергії перевищує потужність однієї газотурбінної установки, то додаються ще декілька когенераційних газотурбінних установок того ж типу і потужності. Це потребує проведення оцінки економічної доцільності використання декількох когенераційних установок порівняно із закупівлею електроенергії з мережі централізованого енергопостачання. Для досягнення цільового показника 60 MW потрібно задіяти вісім когенераційних газотурбінних установок типу SGT-300, що призводить до великих капітальних витрат. Тому при вартості грошей більшій 20 % річних цей варіант залишається найдорожчим. Але цей варіант має незначну перевагу (5-8 %) порівняно з когенераційною газотурбінною установкою типу Rolls Royce Trent 60 за вартості грошей менших 20% річних. Найкращі показники будуть при використанні двох когенераційних газотурбінних установок типу Solar Titan T250 при вартості грошей до 80 % річних.

За можливості залучення відносно дешевих грошей (менше 35% річних) кожний з представлених варіантів використання когенераційних газотурбінних установок є економічно більш доцільним порівняно з живленням від електричної мережі централізованого енергопостачання. Окрім того, при використанні когенераційних газотурбінних установок може бути забезпечене більш надійне енергопостачання в умовах війни, що триває. Було також розроблено інтерактивний аналітичний інструмент у формі веб-додатку. Додаток надає користувачеві інтерфейс із повзунками, які дозволяють змінювати усі параметри, що використовуються в розрахункових формулах.

Ключові слова: системи енергопостачання; когенераційні установки; газові турбіни; порівняльний аналіз; економічна доцільність; вартість грошей; капітальні витрати; експлуатаційні витрати; веб-додаток

Метою дослідження є визначення економічної доцільності використання когенераційних установок різної потужності у порівнянні з централізованим енергопостачанням. Порівняння буде проводитись як для номінальних значень потужності кожної когенераційної установки, так і для гіпотетичного сценарія, коли значення потужності споживання електричної енергії перевищує потужність однієї газотурбінної установки.

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk>)

Впровадження когенераційних технологій з використанням альтернативних видів палива є одним із перспективних напрямків подолання дефіциту енергоносіїв в Україні та забезпечення надійного енергопостачання споживачів, а також економії паливно-енергетичних ресурсів. Когенераційні технології є не лише економічно обґрунтованими, але й екологічно важливими для України.

Актуальність. Когенераційні газотурбінні установки – це перспективне рішення для забезпечення енергетичних потреб промислових об'єктів і житлового сектору. Використання когенераційних газотурбінних установок забезпечує суттєві переваги за декількома ключовими показниками.

Економічність. Застосування когенераційних газотурбінних установок знижує собівартість енергії, покращує використання палива та підвищує загальну ефективність.

Соціальна складова. Використання когенераційних газотурбінних установок стримує зростання тарифів, покращує якість комунальних послуг і відповідає тренду децентралізації систем опалення, що позитивно впливає на якість життя громадян.

Екологічність. Когенераційні газотурбінні установки можуть споживати екологічно чисті та доступні види палива, що зменшує негативний вплив на довкілля.

Самозабезпечення енергією як засіб контролю витрат та стабільності роботи може сприяти вирішенню проблеми покращення стабільності роботи енергомережі України. Застосування когенераційних газотурбінних установок є особливо актуальним для критично важливих секторів інфраструктури та для великих виробничих підприємств. Одним з можливих способів реалізації енергетичного самозабезпечення є встановлення когенераційних установок на базі газових турбін.

Оцінка економічної доцільності застосування когенераційних газотурбінних установок в сучасних умовах, які характеризуються інфляцією, порушеннями логістики постачання ресурсів та змінами в нормативно-правовій базі країни, робить такий аналіз своєчасним і практично важливим.

Порівняння буде проводитись за допомогою програмного забезпечення у формі веб-додатку. Розроблене програмне забезпечення є інтерактивним аналітичним інструментом, призначеним для порівняння довгострокових витрат на виробництво електроенергії за допомогою когенераційних газотурбінних установок та витрат на закупівлю електроенергії з мережі. Розрахунки базуються на наборі технічних, економічних та експлуатаційних припущень. Результати розрахунків витрат представлені у вигляді дисконтованих залежностей витрат протягом усього терміну реалізації проєкту.

Матеріали та результати дослідження

В якості прикладу розглянемо когенераційні газотурбінні установки типу Siemens SGT-300 потужністю 8 MW [1], типу Solar Titan T250 потужністю 30 MW [2] та типу Rolls Royce Trent 60 потужністю 77 MW [3]. Треба зазначити, що у разі використання когенераційних установок відпрацьоване тепло можна використовувати для опалення приміщень або для технологічних потреб підприємств [4].

Сучасні газові турбіни мають значний ресурс роботи. За умови належного технічного обслуговування їхній термін експлуатації може досягати 30 років [5].

Проведемо аналіз ефективності використання когенераційних газотурбінних установок порівняно з системою централізованого енергопостачання. Витрати при роботі когенераційної установки в денні години (C1) визначаємо за формулою (1). Витрати на закупівлю електроенергії з електричної мережі, тобто без використання когенераційних газотурбінних установок (C2) визначаємо за формулою (2).

$$C1 = \frac{C_{gen}}{(1+i)^0} + \frac{C_{tur}}{(1+i)^1} + \frac{C_{tur}}{(1+i)^2} + \frac{C_{tur}}{(1+i)^3} + \dots + \frac{C_{tur}}{(1+i)^T} \quad (1)$$

$$C2 = \frac{C_{nt}}{(1+i)^1} + \frac{C_{nt}}{(1+i)^2} + \frac{C_{nt}}{(1+i)^3} + \frac{C_{nt}}{(1+i)^4} + \dots + \frac{C_{nt}}{(1+i)^T} \quad (2)$$

де: C_{gen} – вартість когенераційної установки (USD); C_{gas} – вартість газу (USD/м³); Q_{gas} – споживання газу (м³/год.); t – час роботи (365 днів); H_d – кількість денних годин на добу (16 год.) [6]; H_n – кількість нічних годин на добу (8 год.), [6]; C_d – вартість електроенергії в денні години (118,75 USD/MW) [7]; C_n – вартість електроенергії в нічні години (42 USD/MW) [7]; Q_{en} – споживання електроенергії (MW/год.); i – вартість грошей (відн. од.); T – термін служби 30 років; C_{tur} – витрати на використання когенераційної газотурбінної установки в денні години протягом року при потужності $Q_{en}(USD)$; C_{nt} – витрати на закупівлю електроенергії протягом року при потужності $Q_{en}(USD)$.

Витрати на використання когенераційної газотурбінної установки в денні години протягом року при потужності $Q_{en}(USD)$ визначаємо за формулою (3):

$$C_{tur} = (C_{gas} \cdot Q_{gas} \cdot H_d + C_n \cdot Q_{en} \cdot H_n) \cdot t. \quad (3)$$

Витрати на закупівлю електроенергії протягом року при потужності $Q_{en}(USD)$ визначаємо за формулою (4):

$$C_{nt} = (C_d \cdot Q_{en} \cdot H_d + C_n \cdot Q_{en} \cdot H_n) \cdot t. \quad (4)$$

На рис. 1 представлено витрати (USD) для різної вартості грошей порівняно з системою централізованого енергопостачання з урахуванням формул (1) і (2).

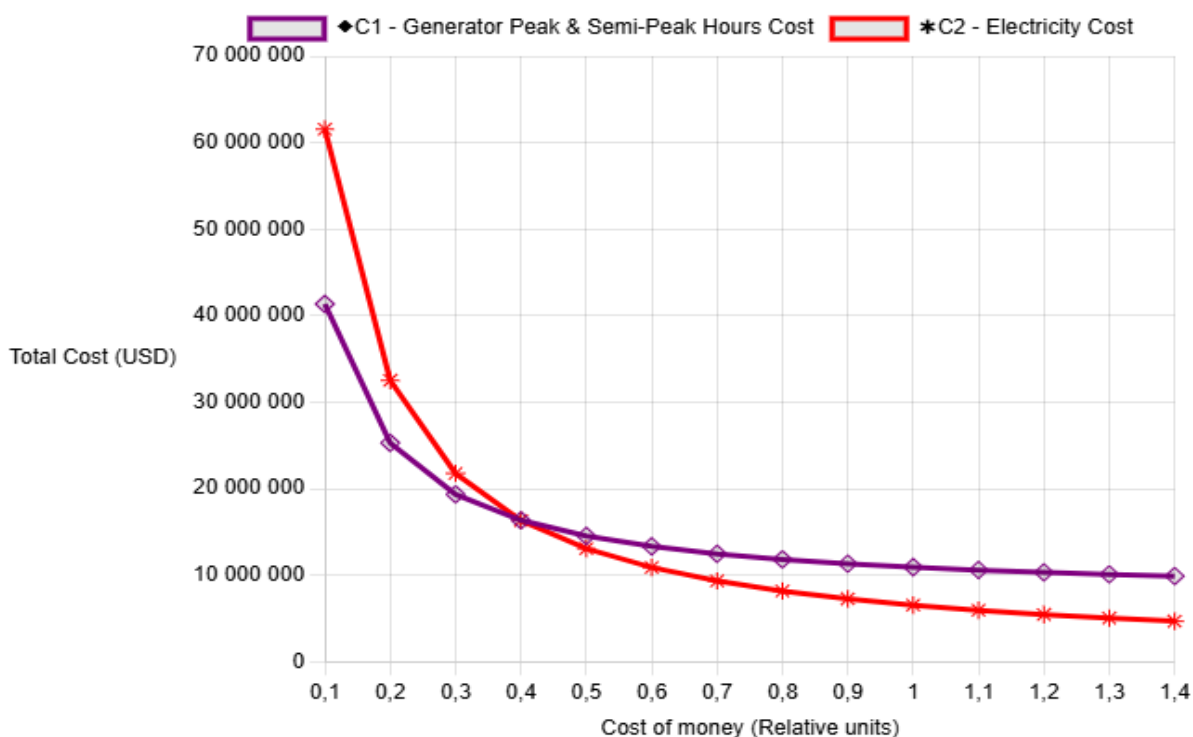


Рис. 1. Витрати (USD) при різній вартості грошей для когенераційної газотурбінної установки типу Siemens SGT-300

Аналіз графіків залежностей, представлених на рис. 1, показує, що використання когенераційних газотурбінних установок типу Siemens SGT-300 є економічно більш доцільним ніж централізоване енергопостачання при вартості грошей, меншій 40% річних.

На рис. 2 представлено графіки витрат на реалізацію проектів з використанням когенераційних газотурбінних установок типу Solar Titan T250. Аналіз показав, що використання когенераційних газотурбінних установок типу Solar Titan T250 є економічно більш доцільним при вартості грошей, меншій 80 % річних.

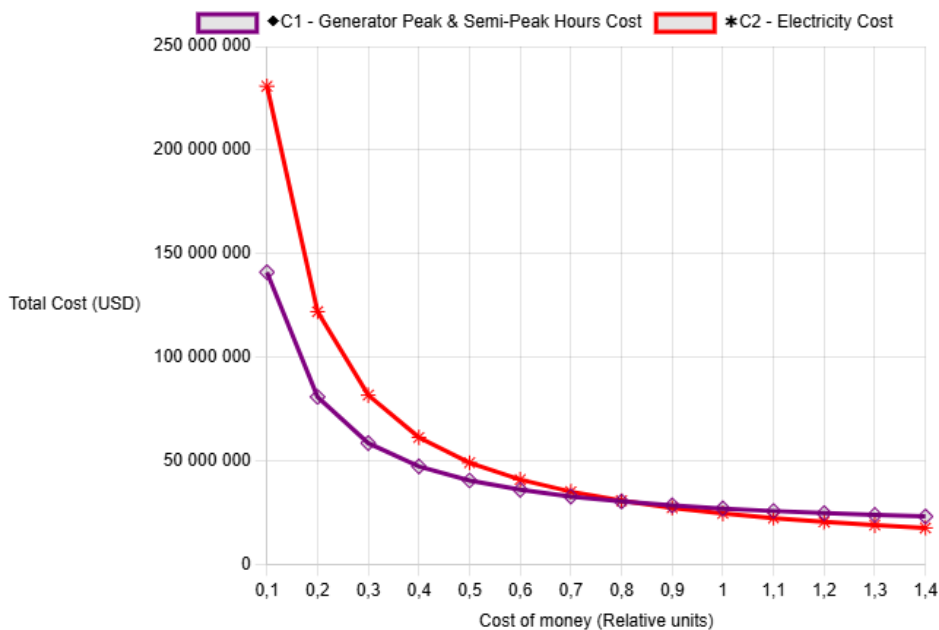


Рис. 2. Витрати (USD) за різної вартості грошей для когенераційної газотурбінної установки типу Solar Titan T250

На рис. 3 представлено графіки витрат на реалізацію проектів з використанням когенераційних газотурбінних установок типу Rolls Royce Trent 60. Аналіз засвідчує, що використання когенераційної газотурбінної установки типу Rolls Royce Trent 60 є економічно більш доцільним, ніж централізоване енергопостачання при вартості грошей меншій 95 % річних.

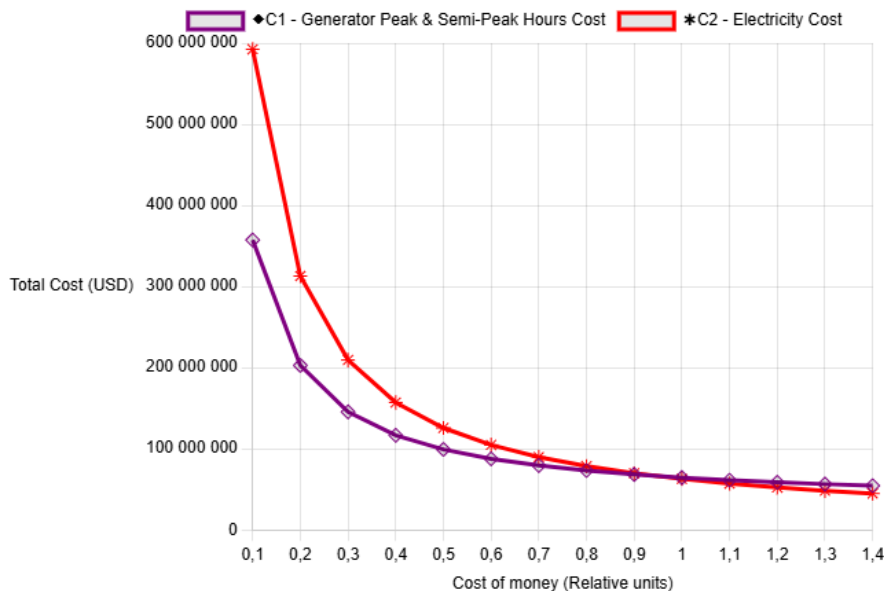


Рис. 3. Витрати (USD) за різної вартості грошей для когенераційної газотурбінної установки типу Rolls Royce Trent 60

Графіки залежностей, наведені на рис. 1 – рис. 3, отримано на підставі припущення, що значення потужності споживання електричної енергії дорівнює номінальному значенню потужності кожного агрегату. Втім реальна ситуація може бути іншою. На рис. 4

представлено сценарій, коли значення потужності споживання електричної енергії дорівнює 60 MW. Якщо потужність споживання електричної енергії перевищує потужність однієї когенераційної газотурбінної установки, то підключають декілька когенераційних газотурбінних установок того ж типу. Тому треба провести оцінку ефективності роботи з частковим навантаженням декількох типів когенераційних газотурбінних установок, порівняно із закупівлею електроенергії з мережі.

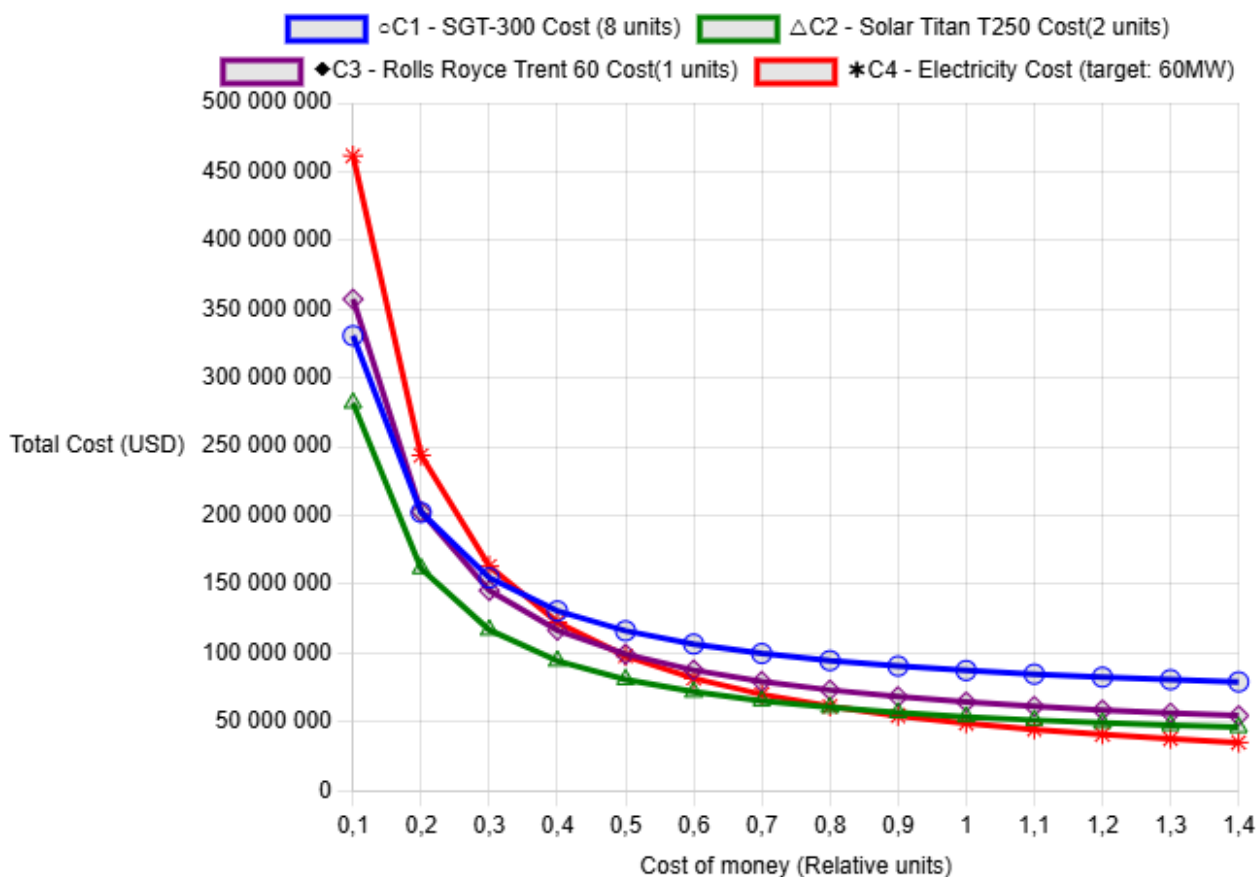


Рис. 4. Витрати (USD) при різній вартості грошей для потужності споживання електричної енергії 60MW

У разі використання когенераційної установки типу SGT-300, для досягнення цільового показника споживання електричної енергії з потужністю 60 MW потрібно вісім когенераційних газотурбінних установок, що призводить до найвищих капітальних витрат і, отже, залишається найдорожчим варіантом для вартості грошей більше 20% річних. Цей варіант має незначну перевагу (5-8 %) лише порівняно з Rolls Royce Trent 60 при вартості грошей менше 20 % річних. Найкращі показники будуть у разі використання двох когенераційних установок типу Solar Titan T250 при вартості грошей до 80% річних. Необхідно брати до уваги, що лише одна когенераційна газотурбінна установка типу Rolls Royce Trent 60 може задовольнити попит на споживання електричної енергії потужністю 60 MW, що спрощує експлуатацію обладнання.

Слід зазначити, що вартість грошей в банках України не перевищує 20 % річних [8]. Тому при можливості залучення відносно дешевих грошей (менше 20 % річних) кожен з представлених варіантів використання когенераційних газотурбінних установок є економічно більш доцільним в порівнянні з живленням від електричної мережі централізованого енергопостачання. Треба взяти до уваги, що за можливості залучення

відносно дешевих грошей використання когенераційних газотурбінних установок є не тільки більш економічно доцільним порівняно з живленням від електричної мережі централізованого енергопостачання, але й може забезпечити більш надійне енергопостачання в умовах війни.

Усі графіки, наведені на рис.1 – рис.4, були створені за допомогою розробленого інтерактивного аналітичного інструменту у формі веб-додатку. Додаток надає користувачеві інтерфейс із повзунками, які дозволяють змінювати усі параметри, що використовуються в формулах (1, 2, 3, 4). Фрагмент користувацького інтерфейсу, що містить повзунки та текстові поля для керування параметрами, наведено на рис. 5. Користувачеві надається змога змінювати значення параметрів перетягуючи маркер на повзунку за допомогою мишки. Для більш точного налаштування, поряд з повзунками знаходяться кнопки збільшення та зменшення значення на відповідному повзунку, які при взаємодії змінюють значення відповідного параметру на один крок. Керування значенням вартості когенераційних установок здійснюється за допомогою введення відповідного числа в текстові поля.

Cost Comparison of Generator vs Electricity over Time

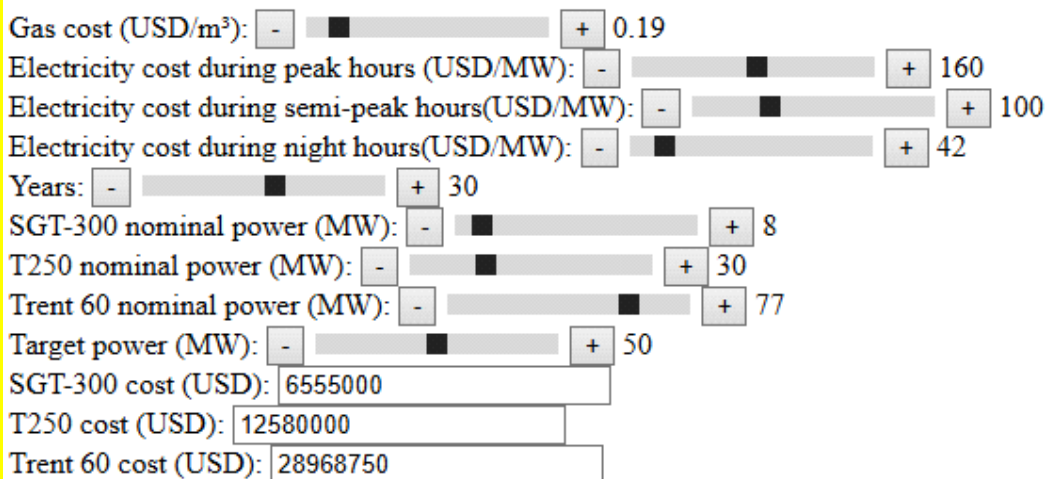


Рис. 5. Фрагмент користувацького інтерфейсу, що містить повзунки та текстові поля для керування параметрами

Кожного разу, коли змінюється значення параметрів, обробник подій фіксує взаємодію та запускає модуль обчислення витрат, який перераховує відповідні дані в режимі реального часу. Оновлені результати потім надсилаються до компонента Chart.js, який оновлює результати розрахунків і формує графік. Реалізований робочий процес гарантує, що кожна зміна, внесена користувачем, миттєво відображається у візуальному виведенні, що дозволяє швидко аналізувати та порівнювати різні сценарії. Діаграму послідовності роботи додатка наведено на рис. 6.

Висновки. Проведений аналіз наочно демонструє, що застосування сучасних газотурбінних установок є економічно обґрунтованим рішенням для покриття пікових навантажень порівняно з традиційним централізованим енергопостачанням.

Особливо треба відзначити, що використання когенераційних газотурбінних установок великої потужності типу Rolls-Royce Trent 60 є економічно доцільним порівняно з живленням від електричної мережі централізованого енергопостачання навіть за високої вартості грошей (до 50 % річних).

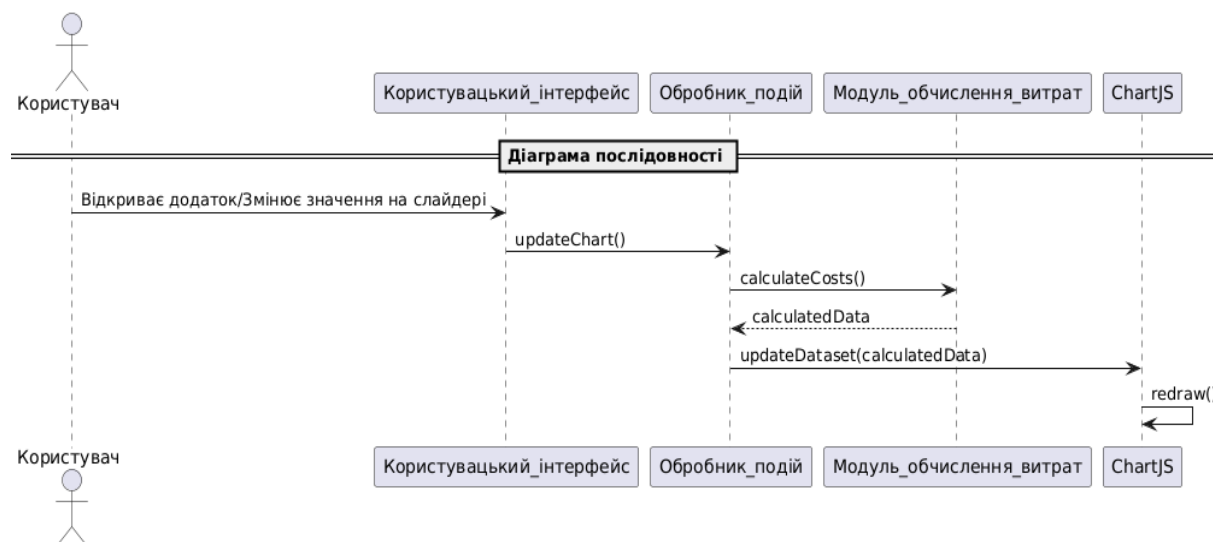


Рис. 6. Діаграма послідовності роботи інтерактивного аналітичного інструменту

Аналіз підтверджує важливість відповідності потужності когенераційних установок значенню потужності споживання електричної енергії. Коли добуток кількості турбін та їх номінальної потужності наближається до фактичної потужності споживання електричної енергії, то використання когенераційних газотурбінних установок стає більш економічно доцільним порівняно з можливими альтернативами. Це свідчить про те, що на практиці доцільно враховувати як мінімальні, так і максимальні очікувані вимоги щодо потужності проекту. Це дозволить більш точно вибрати когенераційні установки відповідної потужності і уникнути перевищення потужності і вартості обладнання. Одночасно, використання когенераційних газотурбінних установок забезпечить надійне покриття пікового попиту споживання електричної енергії і призведе до більш економічно ефективних інвестицій.

Якщо вартість грошей для встановлення та експлуатації когенераційних газотурбінних установок не буде перевищувати 35 % річних, то когенераційні установки є економічно доцільною альтернативою закупівлі електроенергії з електричної мережі централізованого енергопостачання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. “8.2 MW 2021 new Siemens SGT-300 DLE natural gas power plant generator sets for sale in China”. *USPE Global*. 2025. URL: <https://www.uspeglobal.com/listings/6907815-8-2-mw-2021-new-siemens-sgt-300-dle-natural-gas-power-plant-generator-sets>.
2. “30 MW 2016 new Solar Titan T250 natural gas turbine without generator for sale in Asia”. *USPE Global*. 2025. URL: <https://www.uspeglobal.com/listings/4970748-30-mw-2016-new-solar-titan-t250-natural-gas-turbine-without-generator>.
3. “77 MW 2016 new Rolls Royce Trent 60 natural gas turbine generator set for sale in Asia”. *USPE Global*. 2025. URL: <https://www.uspeglobal.com/listings/4827376-77-mw-2016-new-rolls-royce-trent-60-natural-gas-turbine-generator-set>.
4. “Cogeneration. Everything to know at one glance”. *2G Energy AG*. 2025. – URL: <https://2-g.com/en/innovation-knowledge/combined-heat-and-power-generation>.
5. Rose B. “What is the typical lifespan of a gas-fired power plant and how is maintenance and replacement managed?”. *Medium*. 2023. URL: <https://medium.com/@Breadarose/what-is-the>

typical-lifespan-of-a-gas-fired-power-plant-and-how-is-maintenance-and-replacement-24aec33dad14.

6. «Тарифи та ціни». *Міністерство енергетики України*. 2024. – URL: <https://www.mev.gov.ua/storinka/taryfy-ta-tsiny>.

7. «ЦІНИ/ТАРИФИ». *Київська обласна енергопостачальна компанія*. 2025. – URL: <https://koe.com.ua/page?root=23>.

8. «Облікова ставка Національного банку». *Національний банк України*. 2025. – URL: <https://bank.gov.ua/ua/monetary/archive-rish>.

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.03>

UDC 621.3

Economic feasibility of using cogeneration plants of various capacities

Volodymyr M. Mamalyga¹⁾

PhD, Assistant Professor of the Department of Digital Technologies in Energy
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5922-4066>; v.mamalyga@gmail.com

Iryna V. Segeda¹⁾

Candidate of Economic Sciences, Assistant Professor of the Department of Digital Technologies in Energy
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1958-4985>; irynaseg@gmail.com

Volodymyr A. Voitenko²⁾

PhD, Assistant Professor of the Department of Electromechanical Engineering
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2525-6913>; voitenko@op.edu.ua. Scopus ID: 57344261700

Oleksii M. Kondrashin¹⁾

Bachelor of the Department of Digital Technologies in Energy
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0939-7837>; oleksii.kondrashin@gmail.com

¹⁾National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, building No.5
6, Polytechnic Str. Kyiv, 03056 Ukraine

²⁾Odesa National Polytechnic University, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

ABSTRACT

The article presents an analysis of the economic feasibility of using cogeneration gas turbine plants of different nominal capacities of 8 MW, 30 MW and 77 MW compared to power systems from the centralized power supply network, as an alternative to purchasing electricity from external suppliers. The paper considers cogeneration gas turbine plants of the Siemens SGT-300 type, Solar Titan T250 type, and Rolls Royce Trent 60 type. For each cogeneration plant, its capacity, capital investments and long-term operating costs were taken into account. When analyzing the effectiveness of using cogeneration gas turbine plants, the cost of money that can be attracted for the implementation of such projects was taken into account. The results of the study showed that compared to power from the centralized power supply network, the use of cogeneration gas turbine plants is economically more expedient. An analysis of the scenario in which it is necessary to have several cogeneration gas turbine plants with a total capacity of 60 MW was also conducted. When the required value of the power consumption of electric energy exceeds the capacity of one gas turbine unit, several more cogeneration gas turbine units of the same type and capacity are added. This requires an assessment of the economic feasibility of using several cogeneration units compared to purchasing electricity from the centralized power supply network. To achieve the target figure of 60 MW, eight SGT-300 type cogeneration gas turbine units are required, which leads to large capital costs. Therefore, with a cost of money of more than 20% per annum, this option remains the most expensive. But this option has a slight advantage (5-8 %) compared to a Rolls Royce Trent 60 type cogeneration gas turbine unit with a cost of money of less than 20% per annum. The best indicators will be when using two Solar Titan T250 type cogeneration gas turbine units with a cost of money of up to 80% per annum.

Given the possibility of attracting relatively cheap money (less than 35% per annum), each of the presented options for using cogeneration gas turbine plants is economically more feasible compared to power from the centralized power supply network. In addition, the use of cogeneration gas turbine plants can ensure a more reliable power supply in the conditions of an ongoing war. An interactive analytical tool in the form of a web application was also developed. The application provides the user with an interface with sliders that allow changing all parameters used in the calculation formulas.

Keywords: Energy supply systems; cogeneration plants; gas turbines; comparative analysis; economic feasibility; value for money; capital costs; operating costs; web application