

АНОТАЦІЯ

Добронос Є.О. - Застосування високотемпературних ядерних реакторів в конверсії органічного палива.- Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 143 «Атомна енергетика» (14 - Електрична інженерія). - Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, 2025.

Ядерна енергія може використовуватися для забезпечення різних промислових технологій, включаючи: вироблення синтез-газу, водню та метанолу; опріснення морської води; централізованого теплопостачання та охолодження; генерації технологічної теплоти для виробництв; інтенсифікації видобутку нафтових ресурсів та переробки нафти; конверсії природного газу та газифікації вугілля; в хімічній та металургійній промисловості.

Очікується, що завдяки неухильно зростаючому глобальному споживанню енергії, обмеженій доступності викопного палива та підвищеному навантаженні при спалюванні викопного палива на навколишнє середовище, попит на ядерну енергію для промислового застосування буде зростати.

Використання високотемпературних газоохолоджувальних ядерних реакторів (ВТГР) для виробництва не тільки електричної енергії, а і для забезпечення високопотенційною тепловою енергією інших (неелектричних) технологій дозволить значно розширити застосування ядерної енергії та зменшити витрати органічних палив і, відповідно, знизити техногенне навантаження на довкілля.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, визначено мету та завдання дослідження, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, відображено її зв'язок з науково-дослідними роботами, що

виконувались в Національному університеті «Одеська політехніка» за напрямком підвищення енергетичної ефективності атомних енергоустановок, відзначений особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** роботи проведено аналіз сучасного стану високотемпературних реакторів у світі, зокрема у США, Великобританії, Німеччині, Японії, КНР. Визначено тренд світового попиту на теплову енергію та дослідження використання теплоти ВТГР у промислових технологічних процесах. Розглянуто технологічні процеси та схеми установок для конверсії природного газу та газифікації вугілля.

У **другому розділі** роботи визначено та проаналізовано проблеми, які треба вирішувати при створенні атомних енерготехнологічних установок з ВТГР та розглянуті принципи побудови технологічних схем атомних енерготехнологічних установок (АЕТУ). Наведені необхідні рівні температур протікання ендотермічних технологічних процесів. Розроблена узагальнена схема енерготехнологічної установки з застосуванням енергії, виробленої ядерним реактором.

Наведено принципові технологічні схеми АЕТУ з пароводяною конверсією природного газу та газифікацією вугілля з розробленими T - S –діаграмами оптимального використання регенерації теплоти.

У **третьому розділі** роботи розглянуто методи дослідження енергетичної ефективності енерготехнологічних установок з ВТГР. Зроблено огляд традиційних методів дослідження енергетичної ефективності технічних систем.

Доведено, що традиційні методи оцінки енергетичної ефективності робочих процесів атомних та теплових електростанцій та теплоелектроцентралей не можуть бути застосовані до установок, виробляючих продукцію як енергетичного, так і неенергетичного виду.

Обґрунтовано вибір методу термодинамічного дослідження атомних енерготехнологічних установок, який дозволяє на єдиній основі визначати

критерії енергетичної ефективності вироблення різномірної продукції. Розраховані значення теплових та ексергетичних еквівалентів для технологічних речовин АЕТУ.

У **четвертому розділі** роботи проведено дослідження енергетичної ефективності установок з ВТГР для конверсії органічного палива.

Розроблено розрахункові технологічні схеми одно- та двоцільових АЕТУ, які використовують у якості технологічної сировини природний газ та вугілля. На основі визначеного у третьому розділі роботи термодинамічного методу аналізу АЕТУ розроблена методика розрахунку та визначення показників ефективності використання теплоти та ексергетичної досконалості як установок в цілому, так і для технологічних частин установок двоцільового призначення. На основі визначених показників проведено порівняльний аналіз енергетичної ефективності досліджених технологічних схем АЕТУ.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблені $T-S$ – діаграми циклів АЕТУ з визначенням максимально можливої регенерації, що дозволяє підвищити енергетичну ефективність технологічних схем;
- розроблено методику розрахунку та визначення показників використання теплоти та ексергетичної досконалості одно- та двоцільових АЕТУ з конверсією природного газу та газифікацією вугілля;
- розроблені розрахункові технологічні схеми, за допомогою яких проведено дослідження енергетичної ефективності використання ВТГР в технологіях конверсії органічних палив;
- вперше запропоновано отримання додаткової кількості технологічної пари для проведення процесу газифікації вугілля за рахунок теплоти продуктів газифікації;

- визначена енергетична ефективність застосування АЕТУ з ВТГР для виробництва синтез-газу при використанні у якості технологічної сировини природного газу та вугілля.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

- отримані результати можуть бути застосовані при виборі технологічних схем та техніко-економічному обґрунтуванні АЕТУ з ВТГР;

- результати дисертації використано у держбюджетній науково-дослідній роботі № 193-42 «Ядерна та радіаційна безпека і ефективність енергоблоків АЕС з урахуванням сучасних проблем та тенденцій в атомній електроенергетиці» (№ д/р 0121U108086);

- результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Національного університету «Одеська політехніка» для підготовки фахівців за спеціальністю 143 – атомна енергетика.

Ключові слова: високотемпературний ядерний реактор, температура, регенератор, термодинамічний аналіз, конверсія, ядерне паливо, газифікація, ядерна енергетична установка, теплота.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові роботи, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Дубковський В., **Добронос Є.** Арсірій В. Визначення оптимальних умов організації технологічних циклів енерготехнологічних установок з ВТГР. Ядерна та радіаційна безпека. Вип.3(99),2023, с.63-66. [https://doi.org/10.32918/nrs.2023.3\(99\).06](https://doi.org/10.32918/nrs.2023.3(99).06). *Автором запропоновано раціональний технологічний процес та паросиловий цикл енерготехнологічної установки з високотемпературним газоохолодженням реактором.*

2. Дубковський В., Сегеда В., **Добронос Є.** Використання високотемпературних ядерних реакторів для енерготехнології. Ядерна та

радіаційна безпека. Вип.2(102),2024, с.68-73.

[https://doi.org/10.32918/nrs.2024.2\(102\).07](https://doi.org/10.32918/nrs.2024.2(102).07). Автором проаналізовано напрями використання високотемпературних реакторів для забезпечення технологічних процесів: конверсії викопних палив, чорної металургії, виробництва водню, хімічної промисловості.

3. Дубковський В., Сегеда В. , **Добронос Є.** Можливості застосування модульних високотемпературних реакторів для конверсії органічних палив. Праці Одеського політехнічного університету. Вип.2(70), 2024. с. 39-47. <https://doi.org/10.15276/opu.2.70.2024.05>. Автором визначені можливості та переваги модульних високотемпературних газоохолоджуваних реакторів малої потужності при їх застосуванні для конверсії органічних палив.

Наукові роботи, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. V.O.Dubkovsky, **E.O. Dobronos**, V.O.Segeda. Use of high-temperature nuclear reactors in non-electrical technologies. /International conference nuclear energy for the people.28 September - 1 October, 2022, Burgas, Bulgaria.

2. Дубковський В., **Добронос Є** Визначення оптимальної організації технологічних процесів енерготехнологічних установок з високотемпературними газоохолоджуваними реакторами. / 32 Міжнародна науково-практична конференція «Global Trends and Direction of Scientific Research Development» Секція «Технічні науки». 31.07-02.08.2024, Гамбург, Німеччина.

3. V.O.Dubkovsky, **E.O. Dobronos**, V.O.Segeda. Thermodynamic efficiency of nuclear energy technology plants with high-temperature

gas-cooled reactors. /International conference nuclear energy for the people. 01-04 October, 2024, Burgas, Bulgaria.

4. V.O. Dubkovsky 1 , **E.O. Dobronos**, V.O. Segeda Use of High-Temperature Nuclear Reactors in Non-Electrical Technologies. BgNS TRANSACTIONS volume 26 number 1 (2022/23) pp. 9–14.

ABSTRACT

Dobronos E.O. - Application of high-temperature nuclear reactors in the conversion of organic fuel.- Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 143 "Nuclear Energy" (14 - Electrical Engineering). - National University "Odesa Polytechnic", Odesa, 2025.

Nuclear energy can be used to provide various industrial technologies, including: production of synthesis gas, hydrogen and methanol; desalination of sea water; centralized heat supply and cooling; generation of process heat for production; intensification of oil resources extraction and oil refining; conversion of natural gas and gasification of coal; in the chemical and metallurgical industries.

It is expected that due to the steadily increasing global energy consumption, limited availability of fossil fuels and increased environmental burden from fossil fuel combustion, the demand for nuclear energy for industrial applications will increase.

The use of high-temperature gas-cooled nuclear reactors to produce not only electrical energy, but also to provide high-potential thermal energy for other (non-electric) technologies will significantly expand the use of nuclear energy and reduce the consumption of organic fuels and, accordingly, reduce the man-made burden on the environment.

The **introduction** substantiates the relevance of the work, defines the purpose and objectives of the study, the scientific novelty and practical significance of the results obtained, reflects its connection with the research work carried out at the National University "Odesa Polytechnic" in the direction of increasing the energy efficiency of nuclear power plants, and notes the personal contribution of the applicant.

Chapter 1 of the work analyzed the current state of high-temperature reactors in the world, in particular in the USA, Great Britain, Germany, Japan, and the People's Republic of China. The trend of global demand for thermal energy and research into the use of HTGR heat in industrial technological processes are determined. Technological processes and schemes of plants for natural gas conversion and coal gasification are considered.

Chapter 2 of the work identifies and analyzes the problems that need to be solved when creating nuclear power technological plants with HTGR on the considered principles of constructing technological schemes of nuclear energy technology installations (NETI). The necessary temperature levels for the flow of endothermic technological processes are given. A generalized scheme of an energy technology installation using energy generated by a nuclear reactor has been developed.

The principle technological schemes of an NETI with steam-water conversion of natural gas and coal gasification with developed T - S - diagrams of optimal use of heat regeneration have been presented.

Chapter 3 of the work considers methods for studying the energy efficiency of energy-technological installations with HTGR. A review of traditional methods for studying the energy efficiency of technical systems is made.

It is proved that traditional methods for assessing the energy efficiency of working processes of nuclear and thermal power plants and combined heat and power plants cannot be applied to installations producing both energy and non-energy products.

The choice of the method of thermodynamic research of nuclear energy-technological installations is justified, which allows determining the criteria for the energy efficiency of the production of heterogeneous products on a single basis. The values of thermal and exergy equivalents for technological substances of AETU are calculated.

Chapter 4 of the work, a study of the energy efficiency of installations with HTGR for the conversion of organic fuel is carried out.

Calculation technological schemes of single- and dual-purpose NETIs , which use natural gas and coal as technological raw materials, are developed. Based on the thermodynamic method of NETI analysis defined in the third section of the work, a methodology for calculating and determining the indicators of heat utilization efficiency and exergy perfection of both the installations as a whole and for the technological parts of dual-purpose installations has been developed. Based on the determined indicators, a comparative analysis of the energy efficiency of the investigated technological schemes of NETI has been carried out.

Scientific novelty of the obtained results:

- for the first time developed T - S - diagrams of NETI cycles with the determination of the maximum possible regeneration, which allows to increase the energy efficiency of technological schemes;
- developed a methodology for calculating and determining the indicators of heat use and exergy perfection of single- and dual-purpose NETIs with natural gas conversion and coal gasification;
- developed calculation technological schemes, with the help of which a study of the energy efficiency of the use of HTGR in organic fuel conversion technologies was conducted;
- for the first time proposed obtaining an additional amount of process steam for the coal gasification process at the expense of the heat of gasification products;
- determined the energy efficiency of using NETI with HTGR for the production of synthesis gas when using natural gas and coal as technological raw materials.

The practical significance of the obtained results is that:

- the obtained results can be applied in the selection of technological schemes and feasibility study of NETI with HTGR;
- the results of the dissertation are used in the state budget research work No. 193-42 "Nuclear and radiation safety and efficiency of NPP power units taking into account modern problems and trends in nuclear power" (No. d/r 0121U108086);
- the results of the dissertation are used in the educational process of the National University "Odesa Polytechnic" for the training of specialists in the specialty 143 - nuclear power.

Keywords: high-temperature reactor, temperature, regenerator, thermodynamic analysis, conversion, nuclear fuel, gasification, nuclear power plant, heat.

LIST OF APPLICANT'S PUBLICATIONS

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Dubkovsky V., **Dobronos E.** Arsiriy V. Determination of optimal conditions for organizing technological cycles of energy technology installations with HTGR. Nuclear and radiation safety. Issue 3(99), 2023, pp. 63-66. [https://doi.org/10.32918/nrs.2023.3\(99\).06](https://doi.org/10.32918/nrs.2023.3(99).06).

2. Dubkovsky V., Segeda V., **Dobronos E.** The use of high-temperature nuclear reactors for energy technology. Nuclear and radiation safety. Issue 2(102), 2024, pp. 68-73. [https://doi.org/10.32918/nrs.2024.2\(102\).07](https://doi.org/10.32918/nrs.2024.2(102).07).

3. Dubkovsky V., Segeda V. , **Dobronos E.** Possibilities of using modular high-temperature reactors for conversion of organic fuels. Proceedings of Odessa Polytechnic University. Issue 2(70), 2024. c.39-47. <https://doi.org/10.15276/opu.2.70.2024.05>.

Scientific papers certifying the approbation of the dissertation materials:

1. V.O.Dubkovsky, **E.O. Dobronos**, V.O.Segeda. Use of high-temperature nuclear reactors in non-electrical technologies. /International conference nuclear energy for the people.28 September - 1 October, 2022, Burgas, Bulgaria.

2. Dubkovsky V., **Dobronos E.** Determination of the optimal organization of technological processes of energy technological installations with high-temperature gas-cooled reactors. / 32nd International Scientific and Practical Conference "Global Trends and Direction of Scientific Research Development" Section "Technical Sciences". 31.07-02.08.2024, Hamburg, Germany.

3. V.O.Dubkovsky, **E.O. Dobronos**, V.O.Segeda. Thermodynamic efficiency of nuclear energy technology plants with high-temperature

gas-cooled reactors. /International conference nuclear energy for the people.
01-04 October, 2024, Burgas, Bulgaria.

4. V.O. Dubkovsky 1 , **E.O. Dobronos**, V.O. Segeda Use of
High-Temperature Nuclear Reactors in Non-Electrical Technologies. BgNS
TRANSACTIONS volume 26 number 1 (2022/23) pp. 9–14.