

АНОТАЦІЯ

Лисюк Г. П. Моделі та методи АСК термічної деструкції ТПВ для забезпечення екологічних показників на основі сортування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Національний університет «Одеська політехніка» МОН України, Одеса, 2025.

Дисертаційна робота присвячена розробці та вдосконаленню моделей і методів автоматизованих систем керування (АСК) технологічними процесами піролізу та спалювання твердих побутових відходів (ТПВ) на основі автоматизованого сортування ТПВ за хімічним складом для забезпечення ефективного керування їх термічною деструкцією, підвищення енергоефективності технологій утилізації та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. У роботі враховуються вимоги екологічних регламентів, включаючи контроль утворення шкідливих викидів, таких як кислі гази.

У першому розділі «Моделі та методи АСК термічною деструкцією ТПВ» одержано такі результати:

– Проведено аналіз методів переробки ТПВ показав, що серед усіх застосовуваних технологій найвищу ефективність демонструє термічна деструкція. Основні переваги цієї технології включають ефективне знешкодження відходів, повне знищення патогенної мікрофлори, значне зменшення обсягу відходів за масою та використання їх енергетичного потенціалу. Крім того, термічна деструкція відповідає вимогам бізнес-технологій, забезпечуючи виробництво максимальної кількості цінного кінцевого продукту та мінімальні викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

– Проведено аналіз моделей та методів автоматизації технологічних процесів термічної деструкції ТПВ показав, що для підвищення ефективності

з обов'язковим дотриманням екологічних норм необхідні дослідження в галузі автоматизації сортування ТПВ за хімічним складом, з обов'язковим виділенням груп, що утворюють кислі гази. Властивість ідентичності бруто формул вихідної речовини та продуктів реакцій може стати основою методу визначення складу вуглеводневих речовин при сортуванні ТПВ на основі термохімічної переробки досліджуваної порції сировини.

– Встановлено, що сортування ТПВ через ідентифікацію та класифікацію сировини із заданими характеристиками дозволить провести обробку промислових обсягів ТПВ.

– Виявлено необхідність формулювання критерію прийняття рішення щодо вибору максимально ефективного та екологічно чистого методу термічної деструкції та розробки для нього структури технічних засобів.

У другому розділі «Модель і метод автоматизованого сортування для подальшої переробки методами термічної деструкції» одержано наступні результати:

– Розроблено імітаційну модель різних груп ТПВ, представлену у вигляді таблиці бруто-формул можливих сполук, з яких утворюються обсяги ТПВ, яка дозволить реалізувати спосіб класифікації при ідентифікації проб твердих побутових відходів з виділенням груп, що утворюють кислі гази.

– Розроблено метод сортування ТПВ, який дозволяє забезпечити подальшу переробку кожної групи з максимальною ефективністю та дотриманням екологічних показників. В основу методу покладено: технологічний спосіб проведення сортування; метод сортування сировини, в який інтегровано вимірювальні пристрої для забезпечення заданих характеристик ідентифікації за класифікаційними ознаками імітаційної моделі; принцип застосування вимірювальних пристроїв залежно від типу задачі ідентифікації за якісним або кількісним показником.

– Розроблено імітаційну модель процесу очищення отриманих вуглецево-водневих газів із класифікованих ТПВ, що включають компоненти, що утворюють кислі гази, з дотриманням екологічних стандартів.

Запропоновано формули оцінки показника ефективності та оцінки питомих витрат термічної деструкції різних груп відсортованих ТПВ для подальшого формування критерію вибору між способами термічної деструкції: спалювання ТПВ в повітрі або піролізу з отриманням синтез-газу.

– Сформульовано правило прийняття рішення по вибору способу переробки ТПВ з дотриманням екологічних стандартів та визначення відповідної структури технічних засобів на основі розробленого методу розрахунку витрат, що враховує оцінки показника ефективності та питомих витрат термічної деструкції різних груп відсортованих ТПВ.

– Розроблено комплексну технологічну схему методів термічної деструкції ТПВ, яка забезпечує дотримання екологічних норм на викиди до навколишнього природного середовища при використанні вторинних енергетичних ресурсів, отриманих з ТПВ.

У третьому розділі «Метод керування процесом піролізу ТПВ змінного складу та вологості на основі нечіткої логіки» виконано наступне:

– Розглянуто особливості роботи та основні завдання керування узагальненою піролізною установкою, яка використовується для термічної деструкції ТПВ.

– Розроблено метод нечіткого керування процесом піролізу твердих побутових відходів змінного складу та вологості, який забезпечує правильне автоматизоване керування піролізною установкою з визначенням оптимального співвідношення витрати повітря/ТПВ, що дозволяє забезпечити ефективність процесу термічної деструкції та вирішувати завдання стабілізації таких взаємопов'язаних керуваних параметрів процесу, як температура піролізу та значення рівня в газгольдері в перехідних режимах.

– Розроблено структуру АСК піролізною установкою для реалізації запропонованого методу на основі нечіткої логіки.

– Розроблено нечітку підсистему типу Такагі-Сугено визначення оптимальних параметрів процесу піролізу, яка має п'ять вхідних змінних-відсотковий вміст типів суміші, вологість ТПВ і дві вихідні змінні: питомий

коефіцієнт K_α ; температура в реакторі T_s . Питомий коефіцієнт K_α визначається таким чином, щоб забезпечити максимально можливе значення теплотворної здатності одержуваного піролізного газу та найбільшу температуру T_s в реакторі для інтенсифікації процесу піролізу в режимі реального часу.

– Досліджено ефективність методу нечіткого керування процесом піролізу ТПВ змінного складу. Отримані результати комп'ютерного моделювання підтверджують високу ефективність розробленої системи та методу нечіткого керування, що дозволяє вирішити завдання автоматизованого керування піролізною установкою в умовах змінного складу ТПВ та вологості.

У четвертому розділі «Синтез АСК тепловим навантаженням барабанного котла при спалюванні ТПВ» виконано наступне:

– Розглянуто технологію утилізації твердих побутових відходів в установках, що генерують теплову енергію. Обґрунтовано структуру устаткування, що експлуатується при змінному складі палива, а саме ТПВ. Проведено аналіз методів керування навантаженням парових котлів при збуреннях складом ТПВ. При цьому в якості об'єкта керування для подальшого дослідження обрано котел обладнаний топкою з циркулюючим киплячим шаром. Використання ЦКШ дозволяє вирішити задачу регулювання температури шару з метою зменшення викидів шкідливих сполук сірки та хлору.

– Проведено декомпозицію установки з виділенням характерних ділянок: топки ЦКШ; винесеного теплообміннику; теплообмінних поверхонь, що нагрівають теплоносій; процес поглинання сполук сірки вапном. Синтезовано математичну модель, яка поєднує окремі математичні ділянки.

– Синтезовано АСК установкою. При цьому означені регульовані технологічні змінні, керуючі впливи. Виділено чотири основних регулятори, а саме: потужність, температури шару, економічність та викиди шкідливих речовин. Було прийняте рішення відмовитись від введення в регулятор потужності сигналу про теплотворну здатність палива у вигляді ТПВ, оскільки

різкі зміни його витрат можуть призвести до аварійних ситуацій. І навпаки, введення сигналу про теоретичну кількість повітря дозволило збільшити точність підтримання такого складу димових газів, який відповідає мінімальним втратам теплоти від хімічного недопалу та з газами, що відходять. А також за рахунок збільшеної кількості повітря дозволяє зменшити температуру горіння ТПВ в киплячому шарі.

– Імітаційне моделювання системи керування показало, що вона задовольняє вимогам щодо підтримання заданого теплового навантаження та щодо підтримання температури киплячого шару. Незначні відхилення потужності та температури швидко компенсуються, забезпечуючи стабільну роботу установки. Концентрація оксиду сірки у димових газах залишається в межах допустимих значень, що свідчить про екологічну безпеку процесу.

Ключові слова: ТПВ, АСК, термічна деструкція, піроліз, спалювання, ідентифікація, класифікація, сортування, синтез-газ, метод нечіткого керування, нечітка підсистема, ЦКШ, екологічні показники.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1. Lysiuk H., Maksymova O. Model and method of solid household waste sorting for their effective thermal disposal. Energy Engineering and Control Systems. 2023. Vol. 9, No. 1. P. 31-46. DOI:<https://doi.org/10.23939/jeeecs2023.01.031>

2. Brunetkin O., Davydov V., Butenko O., Lysiuk G., Bondarenko A. Determining the composition of burned gas using the method of constraints as a problem of model interpretation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 3, N 6 (99). P. 22-30. DOI:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169219> (SCOPUS)

3. Kozlov O., Kondratenko Y., Lysiuk H., Kryvda V., Maksymova O. Fuzzy Automatic Control of the Pyrolysis Process for the Municipal Solid Waste of

Variable Composition . Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems. 2022. Vol.16, № 1. P. 83-94. DOI:10.14313/JAMRIS/1-2022/9 URL:<https://sciendo.com/pl/article/10.14313/jamris/1-2022/9> (SCOPUS)

4. Петік Т.В., Лисюк Г.П. Автоматична система регулювання рівня води в парогенераторі енергоблоку 1000 МВт атомної електричної станції. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. Том 30 (69), Ч. 2, №3. С.7-13. DOI:<https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/02> URL:http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/3_2019/part_2/4.pdf

5. Lysiuk H., Filippov Y., Panin V. Justification of equipment structure for solid municipal waste incineration. Grail of science. 2024. №47. P.461-466. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.20.12.2024.061> URL:<https://archive.journal-grail.science/index.php/2710-3056/issue/view/20.12.2024/35>

6. Сичило А.А., Беглов К.В., Лисюк Г.П. Моделювання АСР потужності енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 в режимі «Т». Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. Том 30 (69) Ч. 1 № 3. С.158-163. DOI:<https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-1/29> URL:http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/3_2019/part_1/3-1_2019.pdf

7. Терлецький В.О., Лисюк Г.П. Моделювання АСР температури пару за редуційно-охолоджуваль ною установкою енергоблоку АЕС ВВЕР 1000 МВт. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. Том 30(69), Ч.1, № 3. С. 170-174. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-1/31> URL:http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/3_2019/part_1/33.pdf

8. Lysiuk H., Sokoliuk S., Solohub O., Stafidov Y. Research on methods to reduce harmful emissions during the combustion of solid municipal waste in circulating fluidized bed furnaces. Modern engineering and innovative technologies. 2024. №36, Part 2. P.77-83. DOI:10.30890/2567-5273.2024-36-00-013

URL:<https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit36-02/meit36-02>

9. Чернофостова К.В., Лисюк Г.П. Підвищення якості регулювання рівня в баці деаератора енергоблоку АЕС із ВВЕР-1000. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. Том 30 (69), Ч. 1 № 3. С. 200-205. DOI:<https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-1/36>

URL:http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/3_2019/part_1/38.pdf

10. Сичило А.А., Беглов К.В., Лисюк Г.П. Розробка АСК потужності енергоблоку АЕС3 ВВЕР-1000 в режимі «Т» (частина 2). Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. 2020. Том 31 (70), Ч. 1 № 2. С.181-186. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-1/28>

11. Maksymova O.B., Lysiuk H.P., Zhanko K.O., Bessarab V.P. Model and method of decision-making rules for the formation of the structure of technical equipment in processes of thermal destruction of msw in the normation of acid gases emissions. Електротехнічні та комп'ютерні системи. 2024. No 39(115). С. 42- 54. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.39.115.2024.5>

12. Лисюк Г.П. Синтез системи управління тепловим навантаженням барабанного котла при спалюванні твердих побутових відходів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2024. Том 35 (74), № 5. С.178-187. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.1/27>

Опубліковані праці апробаційного характеру:

13. Davydov V., Brunetkin V., Lysiuk G. Solution of the Inverse Incorrectly Posed Problem by the Library Method. Proceedings of the 12th International Conference on Applied Innovations in IT (ICAИТ), March 2024 Volume 12, Issue 1. P. 97-103. SCOPUS ISSN 2199-8876 DOI: <http://dx.doi.org/10.25673/115729> (SCOPUS)

14. Лисюк Г.П., Белов В.О., Рябошапка Р.М., Торопенко О.В. Метод сортування твердих побутових відходів для їх ефективної термічної

утилізації. III Міжнародна науково-практична конференція «Science in the modern world: innovations and challenges». Торонто, Канада. 2024. С.281-287. URL: https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/SCIENCE-IN-THE-MODERN-WORLD-INNOVATIONS-AND-CHALLENGES-21-23.nov_.24.pdf

15. Лисюк Г.П., Лінник О.О., Лесів Б.І., Горалік О.Є. Метод нечіткого керування процесом піролізу твердих побутових відходів змінного складу. I Міжнародна науково-практична конференція «Future of science: innovations and perspectives». Стокгольм, Швеція. 2024. С.265-269. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/FUTURE-OF-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PERSPECTIVES-25-27.11.24.pdf>

16. Лисюк Г.П., Арику І.В., Соколюк С.О. Нечітка підсистема визначення оптимальних параметрів процесу піролізу. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Innovations in modern education: European and global context». Краків, Польща. 2024. С.308-310. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2024/10/INNOVATIONS-IN-MODERN-EDUCATION-EUROPEAN-AND-GLOBAL-CONTEXT.pdf>

17. Лисюк Г.П., Бабенко О.В., Захаров Ю.Ф., Міт'яєв В.Б., Попов О.Ю. Удосконалення математичної моделі спалювання твердого палива змінного складу в топках з циркулюючим киплячим шаром. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Cultural and artistic processes in the context of the European scientific space». Валенсія, Іспанія. 2024. С.337-341. URL: <https://isg-konf.com/uk/cultural-and-artistic-processes-in-the-context-of-the-european-scientific-space/>

18. Лисюк Г.П., Скліфасовський Д.Є., Сологуб О.В., Стафідов Є.Б. Ефективність та керування термічною утилізацією твердих побутових відходів у топках із киплячим шаром. XLIX Міжнародна науково-практична конференція «New Areas of Scientific Research: Exploring New Frontiers». Неаполь, Італія. 2024. С.38-43. URL: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/11/New_areas_of_scientific_research_exploring_new_frontiers_November_27-29_2024_Naples_Italy.pdf

19. Лисюк Г.П., Сухань Р.В., Хирний В.І., Чебаненко М.О. Метод розрахунку витрат на забезпечення термічної утилізації твердих побутових відходів з дотриманням екологічних нормативів. IV Міжнародна науково-практична конференція «Science and technology: challenges, prospects and innovations». Осака, Японія. 2024. С.261-266. URL:<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/SCIENCE-AND-TECHNOLOGY-CHALLENGES-PROSPECTS-AND-INNOVATIONS-28-30.11.24.pdf>

ABSTRACT

Lysiuk H. P. Models and Methods of Automated Control Systems for the Thermal Destruction of MSW to Ensure Environmental Indicators Based on Sorting. – Manuscript copyright.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 151 – Automation and Computer-Integrated Technologies. – Odessa Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2025.

The dissertation is dedicated to the development and improvement of models and methods for automated control systems (ACS) in the technological processes of pyrolysis and incineration of municipal solid waste (MSW) based on automated MSW sorting by chemical composition. The goal is to ensure effective control over their thermal destruction, enhance the energy efficiency of waste utilization technologies, and minimize negative environmental impacts. The study takes into account environmental regulations, including monitoring the formation of harmful emissions such as acid gases.

In the first chapter, "Models and Methods of ACS for the Thermal Destruction of MSW," the following results were obtained:

– An analysis of MSW processing methods showed that thermal destruction is the most effective among all applied technologies. Its key advantages include effective waste neutralization, complete elimination of pathogenic microorganisms, a significant reduction in waste volume by mass, and the utilization of its energy potential. Additionally, thermal destruction meets business technology requirements by maximizing the production of valuable end products and minimizing harmful emissions into the environment.

– An analysis of models and methods for automating technological processes of MSW thermal destruction indicated that improving efficiency while complying with environmental standards requires research in the field of automated sorting by chemical composition, particularly focusing on groups that generate acid gases. The property of identity between the gross formulas of the raw material and the reaction products can serve as the basis for determining the composition of hydrocarbon

substances during MSW sorting, based on the thermochemical processing of the studied raw material samples.

- It was established that sorting MSW through identification and classification of raw materials with specified characteristics allows for the processing of industrial volumes of MSW.

- The necessity of formulating a decision-making criterion for selecting the most efficient and environmentally friendly thermal destruction method and developing the corresponding technical means structure was identified.

In the second chapter, "Model and Method of Automated Sorting for Further Processing by Thermal Destruction Methods," the following results were obtained:

- A simulation model of different MSW groups was developed, presented as a table of gross formulas for possible compounds forming MSW volumes. This model enables classification during the identification of MSW samples, particularly isolating groups that produce acid gases.

- A sorting method for MSW was developed, ensuring the most efficient processing of each group while meeting environmental standards. The method is based on a technological approach to sorting, a raw material sorting method incorporating measuring devices to ensure specified identification characteristics based on the classification features of the simulation model, and the application of measuring devices depending on the identification task, whether qualitative or quantitative.

- A simulation model of the purification process for carbon-hydrogen gases obtained from classified MSW, which includes components forming acid gases, was developed with compliance to environmental standards. Formulas for evaluating efficiency indicators and specific costs of thermal destruction for various sorted MSW groups were proposed. These formulas help develop a criterion for selecting between thermal destruction methods: MSW incineration in atmospheric air or pyrolysis for syngas production.

- A decision-making rule for choosing the MSW processing method while adhering to environmental standards was formulated, along with defining the

corresponding technical means structure based on the developed cost calculation method. This method considers efficiency indicators and specific costs of thermal destruction for different sorted MSW groups.

- A comprehensive technological scheme for MSW thermal destruction methods was developed, ensuring compliance with environmental regulations on emissions into the natural environment while utilizing secondary energy resources derived from MSW.

In the third chapter, "Method of Controlling the Pyrolysis Process of MSW with Variable Composition and Moisture Content Based on Fuzzy Logic," the following tasks were completed:

- The features of operation and main control tasks of a generalized pyrolysis unit used for MSW thermal destruction were examined.

- A fuzzy control method for the pyrolysis process of MSW with variable composition and moisture content was developed. This method enables accurate automated control of the pyrolysis unit by determining the optimal air/MSW consumption ratio. It ensures process efficiency and stabilizes interrelated controlled parameters, such as pyrolysis temperature and the gas holder level in transient modes.

- The ACS structure for the pyrolysis unit was developed to implement the proposed fuzzy logic-based method.

- A Takagi-Sugeno type fuzzy subsystem for determining optimal pyrolysis process parameters was designed. It includes five input variables (percentage composition of MSW types, MSW moisture content) and two output variables: specific coefficient and reactor temperature. The specific coefficient is determined to maximize the calorific value of the resulting pyrolysis gas while ensuring the highest reactor temperature to intensify the pyrolysis process in real-time.

- The effectiveness of the fuzzy control method for the pyrolysis process of MSW with variable composition was studied. Computer modeling results confirmed the high efficiency of the developed system and fuzzy control method, allowing for

automated control of the pyrolysis unit under changing MSW composition and moisture content.

In the fourth chapter, "ACS Synthesis for the Thermal Load of a Drum Boiler during MSW Incineration," the following tasks were completed:

- The technology of MSW utilization in energy-generating plants was reviewed. The structure of equipment operating with variable fuel composition (MSW) was justified. The analysis of steam boiler load control methods under disturbances in MSW composition was conducted. A boiler equipped with a circulating fluidized bed (CFB) furnace was chosen as the control object for further study. The use of CFB technology enables the regulation of bed temperature to reduce emissions of harmful sulfur and chlorine compounds.
- The system was decomposed into characteristic sections: CFB furnace, external heat exchanger, heat exchange surfaces heating the coolant, and the process of sulfur compound absorption with lime. A mathematical model integrating these sections was synthesized.

- An ACS for the installation was synthesized, defining regulated technological variables and control influences. Four main regulators were identified: power, bed temperature, efficiency, and emissions of harmful substances. It was decided to exclude the signal on the calorific value of MSW from the power regulator, as abrupt changes in fuel consumption could lead to emergency situations. However, the introduction of a signal on theoretical air consumption increased the accuracy of maintaining the flue gas composition at a level that minimizes heat losses due to chemical underburning and exhaust gases. Additionally, an increased air supply allows for a reduction in the combustion temperature of MSW in the fluidized bed.

- Simulation modeling of the control system demonstrated compliance with the required heat load and fluidized bed temperature stability. Minor deviations in power and temperature were quickly compensated, ensuring stable operation of the system. The concentration of sulfur oxides in the flue gases remained within permissible limits, indicating the environmental safety of the process.

Keywords: MSW, ACS, thermal destruction, pyrolysis, incineration, identification, classification, sorting, syngas, fuzzy control method, fuzzy subsystem, CFB, environmental indicators.

LIST OF PUBLICATIONS OF THE ACQUIRER

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

1. Lysiuk H., Maksymova O. Model and method of solid household waste sorting for their effective thermal disposal. Energy Engineering and Control Systems. 2023. Vol. 9, No. 1. P. 31-46. DOI: <https://doi.org/10.23939/jeeecs2023.01.031>

2. Brunetkin O., Davydov V., Butenko O., Lysiuk G., Bondarenko A. Determining the composition of burned gas using the method of constraints as a problem of model interpretation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 3, No. 6 (99). P. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169219> (SCOPUS)

3. Kozlov O., Kondratenko Y., Lysiuk H., Kryvda V., Maksymova O. Fuzzy Automatic Control of the Pyrolysis Process for the Municipal Solid Waste of Variable Composition. Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems. 2022. Vol. 16, No. 1. P. 83-94. DOI:10.14313/JAMRIS/1-2022/9 URL:<https://sciendo.com/pl/article/10.14313/jamris/1-2022/9> (SCOPUS)

4. Petik T.V., Lysiuk H.P. Automatic water level control system in the steam generator of a 1000 MW power unit of a nuclear power plant. Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences. 2019. Vol. 30 (69), Part 2, No. 3. P. 7-13. DOI:<https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/02> URL:http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/3_2019/part_2/4.pdf

5. Lysiuk H., Filippov Y., Panin V. Justification of equipment structure for solid municipal waste incineration. Grail of science. 2024. №47. P. 461-466. DOI:<https://doi.org/10.36074/grail-of-science.20.12.2024.061> <https://archive.journal-grail.science/index.php/2710-3056/issue/view/20.12.2024/35>

6. Sychilo A.A., Beglov K.V., Lysiuk H.P. Modeling of the power control system of a nuclear power plant unit with VVER-1000 in "T" mode. Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences. 2019. Vol. 30 (69), Part 1, No. 3. P. 158-163.

URL:http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/3_2019/part_1/31.pdf

7. Terletskyi V.O., Lysiuk H.P. Modeling of the steam temperature control system for the reduction-cooling installation of a VVER-1000 MW nuclear power plant unit. Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences. 2019. Vol. 30 (69), Part 1, No. 3. P. 170-174.

URL:http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/3_2019/part_1/33.pdf

8. Lysiuk H., Sokoliuk S., Solohub O., Stafidov Y. Research on methods to reduce harmful emissions during the combustion of solid municipal waste in circulating fluidized bed furnaces. Modern engineering and innovative technologies. 2024. №36, Part 2. P. 77-83. DOI:10.30890/2567-5273.2024-36-00-013

URL:<https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit36-02/meit36-02>

9. Chornofostova K.V., Lysiuk H.P. Improving the quality of level control in the deaerator tank of a nuclear power plant unit with VVER-1000. Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences. 2019. Vol. 30 (69), Part 1, No. 3. P. 200-205.

URL:http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2019/3_2019/part_1/38.pdf

10. Sychilo A.A., Beglov K.V., Lysiuk H.P. Development of the power control system of a nuclear power plant unit with VVER-1000 in "T" mode (part 2). Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. 2020. Vol. 31 (70), Part 1, No. 2. P. 181-186. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-1/28>

11. Maksymova O.B., Lysiuk H.P., Zhanko K.O., Bessarab V.P. Model and method of decision-making rules for the formation of the structure of technical equipment in processes of thermal destruction of MSW in the normation of acid gases emissions. Electrotechnical and Computer Systems. 2024. No. 39(115). P.42-45. DOI:<https://doi.org/10.15276/eltecs.39.115.2024.5>

12. Lysiuk H.P. Synthesis of the control system for the thermal load of a drum boiler when burning solid household waste. Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences. 2024. Vol. 35 (74), No. 5. P. 178-187. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.1/27>

Published works of approbation nature:

13. Davydov V., Brunetkin V., Lysiuk G. Solution of the Inverse Incorrectly Posed Problem by the Library Method. Proceedings of the 12th International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIT), March 2024, Volume 12, Issue 1. P. 97-103. SCOPUS ISSN 2199-8876 DOI: <http://dx.doi.org/10.25673/115729> (SCOPUS)

14. Lysiuk H.P., Belov V.O., Ryaboshapka R.M., Toropenko O.V. Method of sorting solid household waste for their effective thermal utilization. III International Scientific and Practical Conference "Science in the modern world: innovations and challenges". Toronto, Canada. 2024. P. 281-287. URL: https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/SCIENCE-IN-THE-MODERN-WORLD-INNOVATIONS-AND-CHALLENGES-21-23.nov_.24.pdf

15. Lysiuk H.P., Linnik O.O., Lesiv B.I., Horalik O.Ye. Method of fuzzy control of the pyrolysis process of solid household waste of variable composition. I International Scientific and Practical Conference "Future of science: innovations and perspectives". Stockholm, Sweden. 2024. P. 265-269. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/FUTURE-OF-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PERSPECTIVES-25-27.11.24.pdf>

16. Lysiuk H.P., Aryku I.V., Sokoluk S.O. Fuzzy subsystem for determining the optimal parameters of the pyrolysis process. XIII International Scientific and Practical Conference "Innovations in modern education: European and global context". Krakow, Poland 2024. P. 308-310. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2024/10/INNOVATIONS-IN-MODERN-EDUCATION-EUROPEAN-AND-GLOBAL-CONTEXT.pdf>

17. Lysiuk H.P., Babenko O.V., Zakharov Yu.F., Mityaev V.B., Popov O.Yu. Improvement of the mathematical model of combustion of solid fuel of variable

composition in furnaces with a circulating fluidized bed. XIII International Scientific and Practical Conference "Cultural and artistic processes in the context of the European scientific space". Valencia, Spain. 2024. P. 337-341. URL: <https://isg-konf.com/uk/cultural-and-artistic-processes-in-the-context-of-the-european-scientific-space/>

18. Lysiuk H.P., Sklyfasovskyi D.Ye., Sologub O.V., Stafidov Ye.B. Efficiency and control of thermal utilization of solid household waste in fluidized bed furnaces. XLIX International Scientific and Practical Conference "New Areas of Scientific Research: Exploring New Frontiers". Naples, Italy. 2024. P. 38-43. URL: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/11/New_areas_of_scientific_research_exploring_new_frontiers_November_27-29_2024_Naples_Italy.pdf

19. Lysiuk H.P., Sukhan R.V., Khyrnyi V.I., Chebanenko M.O. Method for calculating the costs of ensuring the thermal utilization of solid household waste in compliance with environmental standards. IV International Scientific and Practical Conference "Science and technology: challenges, prospects and innovations". Osaka, Japan. 2024. P. 261-266. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/SCIENCE-AND-TECHNOLOGY-CHALLENGES-PROSPECTS-AND-INNOVATIONS-28-30.11.24.pdf>