

АНОТАЦІЯ

Пишибильський В. «Науково-технічні засади використання амонійних сполук для зниження викидів забруднюючих речовин в котлах середньої потужності». Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 «Теплоенергетика». – Національний університет харчових технологій Міністерства освіти та науки України, Київ, 2023.

Сучасні природоохоронні вимоги ставлять на порядок денний розвитку теплоенергетики питання скорочення викидів забруднюючих речовин та парникових газів. Теплоенергетична установка має відповідати принципу HELE – High Efficiency and Low Emission (високої ефективності та низьких викидів), щоб бути конкурентною в час бурхливого розвитку відновлювальних джерел енергії. Для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище котельні установки повинні оснащуватися системами очищення димових газів від забруднюючих речовин, які здатними забезпечити дотримання вимог європейських екологічних. Використання напівсухих технологій сіркоочищення є доцільним заходом зниження викиду діоксидом сірки на котельних агрегатів середньої потужності, оскільки вони мають невеликі капітальні та експлуатаційні затрати та достатню ефективність видалення SO_2 . Для зниження викиду оксидів азоту для котлів середньої потужності доцільно застосовувати селективне некаталітичне відновлення, як захід, що дозволяє знизити викиди NO_x без спорудження спеціальних пристроїв та використання каталізаторів. Використання амонійних реагентів, таких як амоніак чи карбамід в процесі сіркоочищення є перспективним за рахунок отримання як корисного субпродукту сульфату амонію (мінерального добрива). Застосування амонійних сполук дозволить об'єднати системи напівсухого сіркоочищення та системи селективного некаталітичного відновлення в одну комплексну систему газоочищення димових газів. Використання амоніаку як екологічно чистого палива для енергетичних

застосувань дозволить знизити викиди парникових газів та токсичних речовин. Але його застосування як палива стикається з такими проблемами: безвуглецевий синтез амоніаку, спалювання амоніаку, вирішення економічних та екологічних проблем.

Використання розчину карбаміду замість розчину амоніаку в технологіях сіркоочищення димових газів, дасть можливість суттєво спростити використання даної технології щодо питань безпеки та транспортування реагенту. Застосування розчину карбаміду для напівсухої десульфуризації шляхом його введення в димові гази не призводить до зниження рівня діоксиду сірки на виході із реакційної зони через повне випаровування води з розчину, що унеможлиблює процес гідролізу розчину карбаміду. Використання розчину карбаміду для ефективного зв'язування діоксиду сірки у потребує попереднього його термічного гідролізу. В процесі гідролізу карбаміду при температурі кипіння буде утворюватися газоподібний амоніак, який в процесі газофазного реагування зв'язує близько 80% SO_2 при початковій концентрації карбаміду у розчині 30%. Це дає можливість розглядати можливість газофазного зв'язування діоксиду сірки амоніаком без спорудження реактор напівсухого сіркоочищення.

Амоніак є важливою хімічною речовиною, яка широко використовується в сільському господарстві як азотне добриво, в хімічній та холодильній техніці. Річне виробництво NH_3 становить близько 145 млн. т. При сталій тенденції скорочення споживання вуглецевих видів палива світове виробництво амоніаку може досягти в 2050 р. 1,2 млрд. т/рік. Основне виробництво амоніаку базується на процесі Габера-Боша під тиском з використанням природного газу або вугілля для генерації водню при значних викидах вуглекислого газу. Перехід на виробництво «зеленого» амоніаку передбачає генерацію водню з води за електролізними технологіями з подальшим застосуванням або технології Габера-Боша або технологій генерації амоніаку в електрохімічних комірках, які є на стадії досліджень та промислових випробувань. Оскільки генерація «зеленого» амоніаку є

енерговитратним процесом, то його виробництво може слугувати ефективним засобом регулювання навантаження в енергосистемі. При збереженні поточного рівня виробництва амоніаку в Україні 5 млн. т/рік для його «зеленого» виробництва з використанням технології Габера-Боша потрібно близько 60 млрд. кВтгод електроенергії. Таку кількість електрики можуть виробити 20 атомних енергоблоків потужністю 1000 МВт протягом 8 годин нічного провалу. Це дозволило б повністю відмовитись від генерації електроенергії на вугільних ТЕС в маневреному режимі. Електролізне виробництво з подальшим виробництвом амоніаку дозволить утилізувати піки генерації електроенергії від відновлювальних джерел, потужність яких зростає швидкими темпами, без шкоди сталості частоти та регулюванню потужностей в енергосистемі. Амоніак має дуже низьку ламінарну швидкість горіння та великий час затримки займання через високу енергію активації. Для покращання умов горіння пропонується застосовувати підвищений вміст кисню в окиснику або суміші амоніаку з воднем чи амоніаку з метаном. Це забезпечує зростання ламінарної швидкості горіння в 4 рази. Суміш амоніаку і водню як продукт неповного крекінгу амоніаку є перспективним безвуглецевим паливом для теплоенергетичних установок. Введено в експлуатацію енергоблок потужністю 1000 МВт з реалізацією спільного спалювання вугілля (80%) і амоніаку (20%) в спеціальних вихрових пальниках. Виробництво амоніаку може дозволити відмовитися від споживання вугілля в енергетиці. Тим самим зникнуть викиди діоксиду сірки, пилу, оксиду вуглецю та діоксиду вуглецю. При спалювання суміш палива та амоніаку викиди пилу, SO₂, CO і CO₂ будуть зменшені на частку заміненого амоніаком палива.

Використання амонійних реагентів для видалення забруднюючих речовин дозволить об'єднати технологію десульфуризації та технологію селективного некаталітичного відновлення оксидів азоту в один комплекс, зробити обладнання системи газоочищення більш компактним з використанням одного реагенту, що є актуальним для котельних агрегатів середньої потужності. Розроблена концепція і схема та виконані розрахунки

комбінованої системи газоочищення димових газів водогрійного колосникового котла WR25 з використанням карбаміду або його 40% розчину як реагенту, що дозволить забезпечити концентрацію діоксиду сірки та оксидів азоту нижче вимог Директиви 2015/2193/EU, що визначає граничні значення викидів для середніх спалювальних установок.

Ключові слова: паливо, димові гази, викиди, діоксид сірки, десульфуризація, СНКВ, оксиди азоту, амоніак, карбамід,

Статті в українських наукових фахових виданнях категорії А , що індексуються міжнародними базами даних

1. Volchyn I. A., Haponych L. S., Przybylski W. Ja. Current state and forecast of sulfur dioxide and dust emissions at thermal power plants of Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2021; No. 5. P. 89-95. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/087.
2. Vasilenko S., Samiilenko S., Bondar V., Bilyk O., Mokretsky V., Przybylski W. Thermodynamic analysis of the thermal-technological complex of sugar production: the energy and entropy characteristics of an enterprise. *Eastern-Ukrainian Journal of Enterprise Technologies*. 2020. No. 3/8(105). P. 24-31. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.205148.

Статті в іноземних наукових фахових виданнях, що індексуються міжнародними базами даних

3. Cisek J., Lesniak S., Mokretsky V., Przybylski W. The Influence of Reduxco in the Diesel Fuel on energy Parameters, Exhaust Gas Composition and Rate of Heat Release of a Diesel Engine. *SAE Technical Paper*. 2020-01-2061. 2020. DOI: 10.4271/2020-01-2061.
4. Cisek J., Lesniak S., Stanik W., Przybylski W. The Synergy of Two Biofuel Additive on Combustion Process to Simultaneously Reduce NO_x and PM Emissions. *Energies*. 2021. Vol. 14. No. 10. P. 2784. DOI: 10.3390/en14102784.

5. Cisek J., Lesniak S., Borowski A., Przybylski W., Mokretsky V. Visualisation and Thermovision of Fuel Combustion Affecting Heat Release to Reduce NOx and PM Diesel Engine Emissions. *Energies*. 2022. Vol. 15. No. 13. P. 4882. DOI: 10.3390/en15134882.

**Статті в іноземних монографіях, що індексуються
міжнародними базами даних**

6. Volchyn I., Cherevatskyi D., Mokretsky V., Przybylski W. Creating the Holding of Nuclear Power Plants and/or Renewable Energy Sources with Ammonia Production Plants on the Base Circular Economy. Chapter 5. *Nuclear Power Plants – New Insights* / Eds. Prof. Nasser S. S. Awwad and Dr. Hamed M.A. INTECHOPEN. 2023. DOI: 10.5772/intechopen.1001957.
7. Volchyn I., Mokretsky V., Przybylski W. Experimental Study of REDUXCO Fuel Additive Impact on Coal Boiler Performance, Efficiency and Emissions. *System, Decision and Control Energy. Part V.* /Eds. A. Zaporozhets. Springer, 2023. P. 411-423. DOI: 10.1007/978-3-031-35088-7_21.
8. Volchyn I.A., Horyanoi S.V., Mezin S.V., Przybylski W.Ja., Yasynetskyi A.O. Peculiarities of Using Ammonium Reagents in Technologies of Semi-Dry Desulfurization of Flue Gas. *System, Decision and Control Energy. Part V.* /Eds. A. Zaporozhets. Springer, 2023. P. 767-778. DOI: 10.1007/978-3-031-35088-7_44.

Статті в українських наукових фахових виданнях категорії Б

9. Вольчин І., Ясинецький А., Пшибильські В. Екологічні аспекти ролі зеленого амоніаку в енергетиці України. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2022. № 2. С. 76-83. DOI: 10.33070/etars.2.2022.07.

Статті в іноземних наукових фахових виданнях

10. Przybylski W., Majcher M., Borkowski L., Jaroszek A. Określenie wpływu dodania do paleniska katalizatora REDUXCO na skuteczność si niezawodność pracy kotła WR15-N v ciepłownie w Strzelcach-Opolskich. *Rocznik Ochrona Środowiska*. No. 2. S. 947-954 (Pol.)

Матеріали міжнародних конференцій

11. Volchyn I., Iasynetskyi A., Przybylski W., Maicher M. Semi-Dry Desulphurisation for Coal Boilers. *Proceeding of 7-th International Conference on Clean Coal Technologies (CCT15)*. Kraków, Poland. May 17-21, 2015. London: IEA Clean Coal Centre, 2015.
12. Volchyn I., Rashchepkin V., Yasynetskyi A., Przybylski W. Wet Integrated Flue Gas Cleaning. *2nd International Scientific Conference “Chemical Technology and Engineering” Proceeding*. June 24-28, 2019, Lviv, Ukraine – Lviv: Lviv Polytechnical University, 2019, P. 352-357. DOI: 10.23939/cte2019.01.352.
13. Volchyn I., Mezin S., Yasynetskyi A., Przybylski W. Features of Semi-Dry Ammonium Desulfurization. *2nd International Scientific Conference “Chemical Technology and Engineering” Proceeding*. June 24-28, 2019, Lviv, Ukraine – Lviv: Lviv Polytechnical University, 2019, P. 358-363. DOI: 10.23939/cte2019.01.358.
14. Влодзімеж Пшибильський, Ігор Вольчин. Експериментальне дослідження напівсухої амонійної десульфуризації. *Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті»*, 2–3.04.2020 р. Київ: НУХТ. Ч. 2: С. 328. URL: <http://sw.nuft.edu.ua/ConferenceUKR/Books%20of%20abstracts/2020/Part%202.pdf> (дата звернення 17.08.2023 р.).
15. Пшибильські В., Вольчин І. Напівсухе сіркоочищення для вугільних котлів. *6-й Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»: збірник матеріалів*. 23-25 вересня 2020 р. Львів, Україна – Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2020. С. 35. URL: <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2018/11960/importantdoc/zbirniktez2020.pdf>.

16. Вольчин І., Пшибильські В. Технологічні аспекти застосування амоніаку як палива. *Збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку»*, жовтень 2020 р., Київ. – Київ: ІВЕ НАН України. 2020. С. 133-138. DOI: 10.48126/conf2020.
17. Włodzimierz Przybylski, Igor Volchyn. Evaluation of Urea Use Conditions for Flue Gas Desulfurization. *87 International scientific conference of young scientist and students “Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution”*, April 15–16, 2021. Book of abstract. Part 2., Kyiv: NUFT. P. 283. URL: <http://conferencenuft.ho.ua/Books%20of%20abstracts/2021/Part%202.pdf>.
18. Пшибильські В., Вольчин І.А., Ясинецький А.О. Напівсухе амонійне сіркоочищення для ТЕЦ цукрового заводу. *Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку»*. 19-20 жовтня 2021 р., Київ – Київ: ІТЕТ НАН України. С. 74-78. DOI: 10.48126/conf2021.
19. Ясинецький А.О., Воловик О.В., Горяной С.В., Мезин С.В., Пшибильські В. Особливості термічного розкладу розчину карбаміду. *Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку»*. 19-20 жовтня 2021 р. Київ – Київ: ІТЕТ НАН України. С. 49-52. DOI: 10.48126/conf2021.
20. Вольчин І.А., Ясинецький А.О., Пшибильські В. Екологічні аспекти ролі зеленого амоніаку в енергетиці України. *Збірник наукових праць XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теплоенергетика: шляхи реновації та розвитку»* 18–19 жовтня 2022 р., Київ – Київ: ІТЕТ НАН України. С. 113-118. DOI: 10.48126/conf2022
21. Przybylski W., Volchyn I. (2023) Peculiarities of the Decomposition of an Urea Water Solution for Environmental Application. *89 International scientific conference of young scientist and students “Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution”*, April 3–7, 2023. Book of abstract.

Part 2. Kyiv: NUFT. P. 273. URL:

https://drive.google.com/file/d/1SAKWDXUxNBFheYE_epEgb8bJbpj9vJuO/view (дата звернення 17.08.2023 р.).

ABSTRACT

Przybylski W." Scientific and technical principles of the use of ammonium compounds to reduce emissions of pollutants in medium capacity boilers ". Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 144 "Thermal Power Engineering". – National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2023.

The modern environmental protection requirements put the issue of reducing emissions of pollutants and greenhouse gases on the agenda for the development of thermal power industry. A thermal power facility must comply with the principle of High Efficiency and Low Emission in order to be competitive at a time of rapid development of renewable energy sources. For reducing the negative impact on the environment, boiler units must be equipped with systems for cleaning flue gas from pollutants, which are able to ensure compliance with European environmental requirements. The use of semi-dry desulfurisation technologies is a reasonable measure to reduce the emission of sulfur dioxide on boiler units of medium capacity, since they have low capital and operating costs and sufficient SO₂ removal efficiency. To reduce the emission of nitrogen oxides for boilers of medium capacity, it is advisable to use selective non-catalytic reduction as a measure that allows reducing NO_x emissions without the construction of special devices and the catalyst use. The use of ammonium reagents, such as ammonia or urea in the desulfurisation process, is promising due to the production of ammonium sulphate (a mineral fertilizer) as a useful by-product. The use of ammonium compounds will make it possible to combine semi-dry desulfurization systems and selective non-catalytic reduction systems into one complex flue gas purification system. Using ammonia as an environmentally friendly fuel for energy applications will reduce emissions of greenhouse gases and toxic substances. But its use as a fuel faces the following problems: carbon-free ammonia synthesis, ammonia combustion, solving economic and environmental problems.

The use of a urea solution instead of an ammonia solution in flue gas desulfurisation technologies will make it possible to significantly simplify the use of this technology in terms of safety and reagent transportation. The use of urea solution for semi-dry desulfurization by introducing it into the flue gas does not lead to a decrease in the level of sulfur dioxide at the exit from the reaction zone due to the complete evaporation of water from the solution, which makes the hydrolysis of the urea solution impossible. The use of urea solution for effective binding of sulfur dioxide requires its preliminary thermal hydrolysis. In the process of hydrolysis of urea at the boiling temperature, gaseous ammonia will be formed, which in the process of gas-phase reaction binds about 80% of SO₂ at the initial concentration of urea in the solution of 30%. This makes it possible to consider the possibility of gas-phase bonding of sulfur dioxide with ammonia without building a semi-dry desulfurisation reactor.

Ammonia is an important chemical that is widely used as a nitrogen fertilizer in the agriculture, in chemical and refrigeration technology. The annual production of NH₃ is about 145 million tons. With a constant trend of reducing the consumption of carbon fuels, the world production of ammonia may reach 1.2 billion tons per year in 2050. The main production of ammonia is based on the pressurized Haber-Bosch process using natural gas or coal to generate hydrogen with significant carbon dioxide emissions. The transition to the production of "green" ammonia involves the generation of hydrogen from water using electrolysis technologies with the subsequent application of either Haber-Bosch technology or ammonia generation technologies in electrochemical cells, which are at the stage of research and industrial testing. Since the generation of "green" ammonia is an energy-consuming process, its production can serve as an effective means of regulating the load in the power system. If the current level of ammonia production in Ukraine is maintained at 5 million t/a, its "green" production using Haber-Bosch technology will require about 60 billion kWh of electricity. This amount of electricity can be produced by 20 nuclear power units with a capacity of 1000 MW during 8 hours of night failure. This would make it possible to completely abandon the generation of electricity at

coal-fired thermal power plants in a manoeuvrable mode. Electrolysis production with subsequent production of ammonia will make it possible to utilize the peaks of electricity generation from renewable sources, the capacity of which is growing at a rapid pace, without harming the stability of the frequency and capacity regulation in the power system. Ammonia has a very low laminar burning speed and a long ignition delay due to its high activation energy. To improve the combustion conditions, it is suggested to use an increased oxygen content in the oxidizer or a mixture of ammonia with hydrogen or ammonia with methane. This ensures a 4-time increase in the laminar combustion speed. A mixture of ammonia and hydrogen as a product of incomplete cracking of ammonia is a promising carbon-free fuel for thermal power plants. A power unit with a capacity of 1,000 MW was put into operation with the implementation of joint combustion of coal (80%) and ammonia (20%) in special vortex burners. The production of ammonia can allow to abandon the consumption of coal in the energy sector. Thus, emissions of sulfur dioxide, dust, carbon monoxide and carbon dioxide will disappear. When burning a mixture of fuel and ammonia, emissions of dust, SO₂, CO and CO₂ will be reduced by the fraction of the fossil fuel replaced by ammonia.

The use of ammonium reagents for the removal of pollutants will allow combining the technology of desulfurization and the technology of selective non-catalytic reduction of nitrogen oxides into one complex, making the equipment of the gas cleaning system more compact with the use of one reagent, which is relevant for boiler units of medium capacity. The concept and scheme were developed, and calculations were made of the integrated flue gas cleaning system of the water heating grate boiler WR25 using urea or its 40% solution as a reagent, which will ensure the concentration of sulfur dioxide and nitrogen oxides below the requirements of Directive 2015/2193/EU, which determines the emission limit values for medium combustion plants.

Key words: fuel, flue gas, emission, sulphur dioxide, desulphurisation, SNCR, nitrogen oxides, ammonia, urea.

The articles in Ukrainian scientific publications of the A category indexed by international databases

1. Volchyn I. , Haponych L.S., Przybylski W.Ja. Current state and forecast of sulfur dioxide and dust emissions at thermal power plants of Ukraine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2021. No. 5. P. 89-95. DOI: 10.33271/nvngu/2021-5/087.
2. Vasilenko S., Samiilenko S., Bondar V., Bilyk O., Mokretskyy V., Przybylski W. Thermodynamic analysis of the thermal-technological complex of sugar production: the energy and entropy characteristics of an enterprise. *Eastern-Ukrainian Journal of Enterprise Technologies*. 2020. No. 3/8 (105). P. 24-31. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.205148.

The articles in foreign scientific publications indexed by international databases

3. Cisek J., Lesniak S., Mokretskyy V., Przybylski W. The Influence of Reduxco in the Diesel Fuel on energy Parameters, Exhaust Gas Composition and Rate of Heat Release of a Diesel Engine. *SAE Technical Paper*. 2020-01-2061. 2020. DOI: 10.4271/2020-01-2061.
4. Cisek J., Lesniak S., Stanik W., Przybylski W. The Synergy of Two Biofuel Additive on Combustion Process to Simultaneously Reduce NO_x and PM Emissions. *Energies*. 2021. Vol. 14. No. 10. P. 2784. DOI: 10.3390/en14102784.
5. Cisek J., Lesniak S., Borowski A., Przybylski W., Mokretskyy V. Visualisation and Thermovision of Fuel Combustion Affecting Heat Release to Reduce NO_x and PM Diesel Engine Emissions. *Energies*. 2022. Vol. 15. No. 13. P. 4882. DOI: 10.3390/en15134882.

The articles in foreign monographs indexed by international databases

6. Volchyn I., Cherevatskyi D., Mokretskyy V., Przybylski W. Creating the Holding of Nuclear Power Plants and/or Renewable Energy Sources with Ammonia Production Plants on the Base Circular Economy. Chapter 5. *Nuclear*

Power Plants – New Insights / Eds. Prof. Nasser S. S. Awwad and Dr. Hamed M.A. INTECHOPEN. 2023. DOI: 10.5772/intechopen.1001957.

7. Volchyn I., Mokretskyy V., Przybylski W. Experimental Study of REDUXCO Fuel Additive Impact on Coal Boiler Performance, Efficiency and Emissions. *System, Decision and Control Energy. Part V.* /Eds. A. Zaporozhets. Springer, 2023. P. 411-423. DOI: 10.1007/978-3-031-35088-7_21.
8. Volchyn I.A., Horyanoi S.V., Mezin S.V., Przybylski W.Ja., Yasynetskyi A.O. Peculiarities of Using Ammonium Reagents in Technologies of Semi-Dry Desulfurization of Flue Gas. *System, Decision and Control Energy. Part V.* /Eds. A. Zaporozhets. Springer, 2023. P. 767-778. DOI: 10.1007/978-3-031-35088-7_44.

The articles in Ukrainian scientific publications of the B category

9. Volchyn I., Yasynetskyi A., Przybylski W. Environmental aspects of the role of green ammonia in the energy industry of Ukraine. *Energy Technologies & Resource Saving.* 2022. No. 2. P. 76-83. DOI: 10.33070/etars.2.2022.07. (Ukr)

The articles in foreign scientific publications

10. Przybylski W., Majcher M., Borkowski L., Jaroszek A. Określenie wpływu dodania do paleniska katalizatora REDUXCO na skuteczność i niezawodność pracy kotła WR15-N w ciepłowni w Strzelcach-Opolskich. *Rocznik Ochrona Środowiska.* 2010. No. 2. S. 947-954 (Pol.)

Proceeding the international conferences

11. Volchyn I., Iasynetskyi A., Przybylski W., Maicher M. Semi-Dry Desulphurisation for Coal Boilers. *Proceeding of 7-th International Conference on Clean Coal Technologies (CCT15).* Kraków, Poland. May 17-21, 2015. London: IEA Clean Coal Centre, 2015.
12. Volchyn I., Rashchepkin V., Yasynetskyi A., Przybylski W. Wet Integrated Flue Gas Cleaning. *2nd International Scientific Conference “Chemical Technology and Engineering” Proceeding.* June 24-28, 2019, Lviv, Ukraine –

- Lviv: Lviv Polytechnical University, 2019, P. 352-357. DOI: 10.23939/cte2019.01.352.
13. Volchyn I., Mezin S., Yasynetskyi A., Przybylski W. Features of Semi-Dry Ammonium Desulfurization. *2nd International Scientific Conference “Chemical Technology and Engineering” Proceeding*. June 24-28, 2019, Lviv, Ukraine – Lviv: Lviv Polytechnical University, 2019, P. 358-363. DOI: 10.23939/cte2019.01.358
 14. Włodzimierz Przybylski, Igor Volchyn. The experimental study of semi-dry ammonium desulfurisation. *86 International scientific conference of young scientist and students “Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution”*, April 02–03, 2020. Book of abstract. Part 2. – Kyiv: NUFT. P. 328. (Ukr) URL: <http://sw.nuft.edu.ua/ConferenceUKR/Books%20of%20abstracts/2020/Part%202.pdf>.
 15. Przybylski W., Volchyn I. Semi-dry desulfurization for coal boilers. *6th International Youth Congress “Sustainable Development: Environmental Protection. Energy Saving. Sustainable Environment Management” Proceeding*. September 23-25, 2020. Lviv, Ukraine. – Lviv: West Ukrainian Consulting Center (WUCC). P.35. (Ukr) URL: <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2018/11960/importantdoc/zbirniktez2020.pdf>.
 16. Volchyn I., Przybylski W. Technological aspects of using the ammonia as fuel. *Proceeding the XVI International Scientific and Practical Conference “Coal Thermal Energy: Ways of Rehabilitation and Development”*. October, 2020. Kyiv – Kyiv: CETI of the NASU. 2020. P. 133-138. DOI: 10.48126/conf2020.
 17. Włodzimierz Przybylski, Igor Volchyn. Evaluation of Urea Use Conditions for Flue Gas Desulfurization. *87 International scientific conference of young scientist and students “Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution”*, April 15–16, 2021. Book of abstract. Part 2., Kyiv:

NUFT. P. 283. URL:

<http://conferencenuft.ho.ua/Books%20of%20abstracts/2021/Part%202.pdf>.

18. Przybylski W., Volchyn I., Yasynetskyi A. Semi-dry ammonium desulfurization for the CHPP of a sugar factory. *Proceeding the XVII International Scientific and Practical Conference “Coal Thermal Energy: Ways of Rehabilitation and Development”*. October 19-20, Kyiv, 2021. – Kyiv: TETI of the NASU. 2021. P. 74-78. DOI: 10.48126/conf2021.
19. Yasynetskyi A.O., Volovyk O.V., Horyanoi S.V., Mezin S.V., Prybylski W. Peculiarities of thermal decomposition of the urea solution. *Proceeding the XVII International Scientific and Practical Conference “Coal Thermal Energy: Ways of Rehabilitation and Development”*. October 19-20, Kyiv, 2021. – Kyiv: TETI of the NASU. 2021. P. 49-52. DOI: 10.48126/conf2021.
20. Volchyn I., Yasynetskyi A. Przybylski W. Environmental aspects of the green ammonia role in the power industry of Ukraine. *Proceeding the XVIII International Scientific and Practical Conference “Thermal Energy: Ways of Renovation and Development”*. October 19-20, Kyiv, 2021. – Kyiv: TETI of the NASU. 2021. P.113-118. DOI: 10.48126/conf2022.
21. Przybylski W., Volchyn I. (2023) Peculiarities of the Decomposition of an Urea Water Solution for Environmental Application. *89 International scientific conference of young scientist and students “Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution”*, April 3–7, 2023. Book of abstract. Part 2. – Kyiv: NUFT P. 273. URL:
https://drive.google.com/file/d/1SAKWDXUxNBFheYE_epEgb8bJbpj9vJuO/view.