УДК 338.22.021.1+621.039.58 **DOI 10.20535/1813-5420.2.2023.279706**

В.І. Коньшин[1], канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0003-2591-3589
Б.Б. Квятковський[1], магістрант, ORCID 0000-0002-8610-3531
[1]Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МАЙБУТНЄ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ З ПОЗИЦІЇ РОЗВИТКУ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ ЕКОНОМІКИ

У даній статті проведено дослідження майбутнього розвитку енергетики з метою скорочення викидів парникових газів. Розглядається три різних варіанти планування використання електрогенеруючих підприємств та визначення найбільш оптимального для довкілля та економіки країни на основі графіків динаміки викидів парникових газів в атмосферу. Оцінка та вибір найбільш оптимального варіанту відбувається на основі Стратегії низьковуглецевого розвитку України.

Визначено види генерації електроенергії, що найбільше забруднюють навколишнє середовище, та ті що практично не забруднюють. Розглянуто у відсотковому співвідношенні, яка частка виробленої електроенергії припадає на кожен вид генерації та динаміку виробництва електроенергії протягом останніх років. Також в даній статті наведено приклад відмови однієї з країн від атомної енергетики, та які наслідки це мало для енергобалансу та розвитку низьковуглецевої економіки. Було визначено найдоцільніший варіант розвитку електростанцій в Україні та розглянуто, яким чином в майбутньому можна збільшити частку електроенергії виробленої на атомних станціях і зменшити частку електроенергії, виробленої на теплових електричних станціях. Розвиток атомної енергетики позитивно впливає на енергонезалежність держави, тому її потрібно розвивати та за можливості переходити на нові типи реакторів для того аби енергетика ставала ще більш безпечною.

Ключові слова: *електроенергія, економіка, атомна енергетика, теплоенергетика, енергоефективність.*

Вступ

Стратегія низьковуглецевого розвитку економіки [1] передбачає зниження викидів парникових газів при економічному зростанні і соціальному розвитку країни. Така стратегія була розроблена з метою вирішення питання зміни клімату шляхом прийняття певних заходів. Останнім часом спостерігається зростання кількості виробництва вуглекислого газу, тому поступово середньорічна температура нашої планети підвищується, тим самим впливаючи на підвищення рівня океану, внаслідок танення льодовиків.

На збільшення кількості вуглекислого газу впливає багато різних чинників. Одним з них є виробництво електроенергії. Безумовно, зелені види енергії [2] є значно безпечнішими для довкілля ніж традиційні [3], проте усі вони мають не тільки переваги, але й суттєві недоліки. Для того, аби майбутні покоління людства не мали проблем з довкіллям, про це потрібно думати вже зараз і приймати якісь рішення.

Для того щоб мати шляхи вирішення цього питання, необхідно зрозуміти, яким чином можна перевести промисловість та інші галузі економіки в потрібне русло, знижуючи при цьому виробництво шкідливих речовин.

Економіка України [4] є дуже енерговитратною. Енергоємність економіки, в час коли наша держава стала незалежною, була вищою у декілька разів ніж у інших європейських держав. З розвитком нашої країни було прийнято низку законів та інших нормативних документів, спрямованих на зниження енергоємності економіки та підвищення енергонезалежності, що є дуже важливим в наш час. Концепція стратегії низьковуглецевого розвитку економіки передбачає поступове зниження відсотку виробленого вуглекислого газу та підвищення енергонезалежності економіки нашої держави, в тому числі завдяки розвитку ядерної енергетики.

Мета та завдання

Метою статті є дослідження шляхів зменшення виробництва парникових газів промисловістю та іншими галузями, визначення методів підвищення ефективності виробництва електроенергії та вибір найбільш ефективного варіанту зниження кількості вуглекислого газу в майбутньому. Завданням статті є визначання оптимального варіанту розвитку енергетики країни для зниження кількості парникових газів відповідно до глобальних цілей сталого розвитку.

Матеріал і результати досліджень

Стратегія низьковуглецевого розвитку економіки України передбачає модернізацію декількох різних секторів, що мають вплив на зростання кількості вуглекислого газу. Розглядається три найбільш доцільних варіанти прогнозів викидів парникових газів. Проте таке порівняння дає лише показовий

результат для прийняття тих чи інших рішень. Реальні цифри викидів вуглекислого газу [5] пізніше 2022 року можуть суттєво відрізнятись, але динаміка зростання викидів парникових газів дозволяє оцінити та обрати найбільш оптимальний варіант розвитку енергетики України в майбутньому.

В першому варіанті передбачається, що переважним напрямком розвитку буде підвищення енергоефективності [6]. На рисунку 1 можемо спостерігати динаміку викидів парникових газів при цьому сценарії.

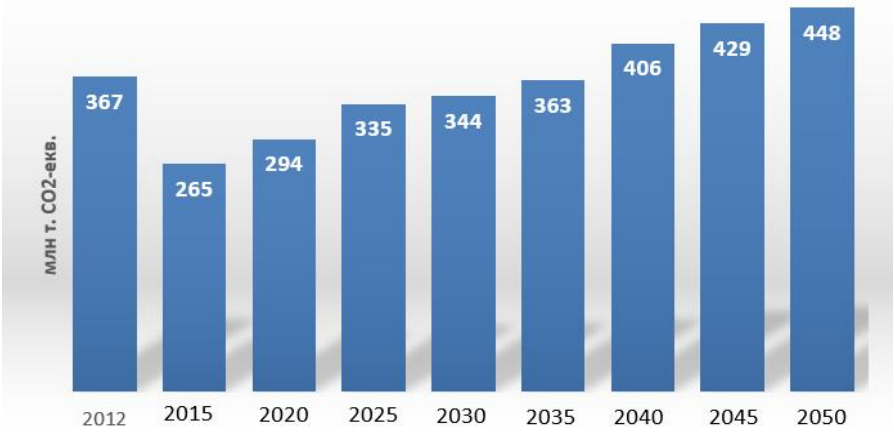

Рисунок 1 – Прогноз викидів парникових газів при варіанті розвитку енергоефективності

Для підвищення енергоефективності, яке передбачає також і зростання енергетичної ефективності будівель, необхідне державне фінансування. Також необхідні певні заходи для більш економічного використання теплової енергії. Потрібно розвивати технології у агропідприємствах і промисловості.

В другому варіанті пропонується, що разом з енергоефективністю необхідно розвивати відновлювальну енергетику [7]. Передбачається, що відновлювальна енергетика повинна частково замінити теплові електричні станції. Виробництво має бути екологічно сталим. Для виробництва теплової і електричної енергії пріоритетним є використання біогазу. Для цього варіанту також є необхідною інтеграція відновлювальної енергетики до міжнародної системи [8]. На рисунку 2 можемо бачити динаміку викидів парникових газів при пріоритеті енергоефективності та відновлювальної енергетики.

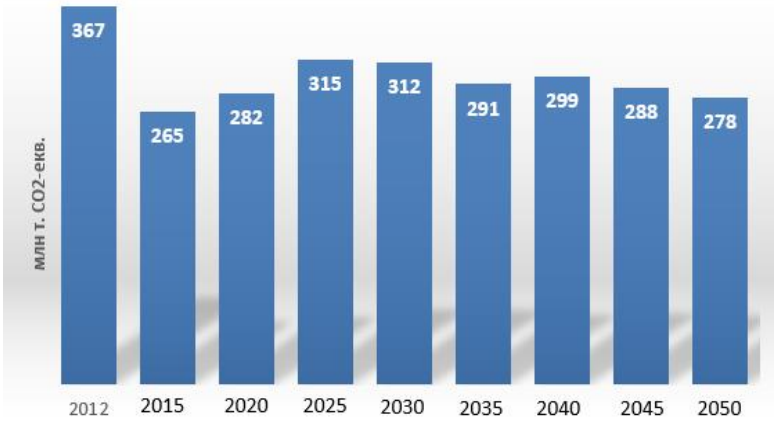

Рисунок 2 – Прогноз викидів парникових газів при варіанті розвитку енергоефективності та відновлювальної енергетики

Третім варіантом є більш розширений другий варіант, що включає модернізацію вже існуючих технологій промисловості та виробництва електроенергії і введення інновацій [9]. Цей варіант передбачає модернізацію багатьох галузей і технологій: теплові електростанції, атомні станції, електричні мережі, транспортна галузь, технології акумулювання енергії, виробництво водню, когенерація на місцевому та регіональному рівнях.

З наведених графіків можна бачити, що другий та третій варіанти є дуже подібними, проте використання відновлювальної енергетики є досить складним питанням, через свої особливості.

Найбільшою перевагою відновлювальної енергетики є те, що джерело енергії постійно відновлювальне і нема необхідності в корисних копалинах. Добування сонячної енергетики є безпечним

для довкілля, проте вітрова енергетика створює певний рівень шуму. Потребу в електроенергії нашої держави можна було б повністю задовольнити, але це б зайняло дуже багато вільної території, яку можна використовувати під сільське господарство. Використання традиційних джерел енергії займає набагато менші площі і такі електричні станції мають набагато більшу потужність. Тому найкращим варіантом є поєднання зеленої енергетики з модернізацією вже існуючих джерел енергії. На рисунку 4 можемо спостерігати графік зростання кількості виробленої електроенергії в Україні протягом останніх років [10].

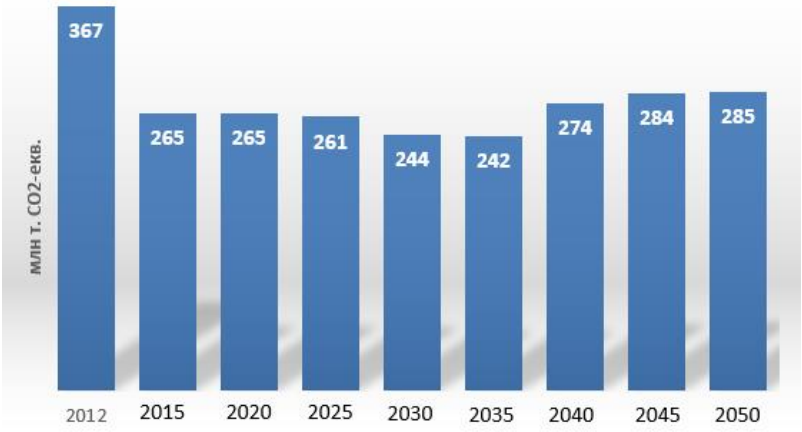

Рисунок 3 – Прогноз викидів парникових газів при варіанті розвитку енергоефективності, відновлювальної енергетики, модернізації технологій та інноваціях

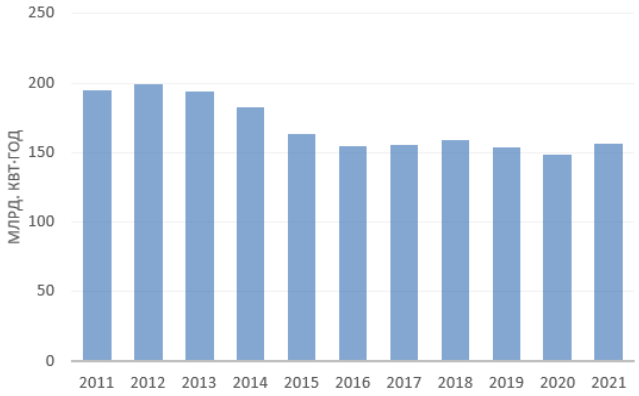

Рисунок 4-Динаміка виробництва електроенергії в Україні

Динаміка виробництва електроенергії в Україні протягом останніх років не мала зростання. Частково це пов'язано з модернізацією обладнання на підприємствах та промисловості.

В 2021 році електроенергія вироблена атомними електричними станціями [11] складала 51% проти 7% виробленої за допомогою відновлювальних джерел енергії, тому можемо бачити, що для повного переходу на відновлювальну енергетику потрібні дуже великі затрати.

Багато європейських країн зараз прирівнюють атомну енергетику до «зелених» видів енергетики через низький вплив на навколишнє середовище. У порівнянні з тепловими електричними станціями викиди у навколишнє середовище від атомних електричних станцій менші в багато разів. Оскільки майже половина електроенергії України виробляється на АЕС, тому атомна енергетика вносить суттєвий вклад в економіку нашої держави. Також ця електроенергія є найдешевшою для користувачів у порівнянні з іншими способами виробництва електроенергії.

Атомна галузь є однією з найбільш важливих складових економіки, адже завдяки виробленій електроенергії може працювати велика кількість підприємств, при цьому існує велика кількість робочих місць. Низка європейських країн пішла шляхом стимулювання розвитку ядерно-енергетичного комплексу [12].

Важливим питанням на сьогоднішній день є енергонезалежність держави. Для цього необхідно мати власні потужності виробництва палива для підприємств що виробляють електроенергію. Тому потрібно мати атомні станції, що безпосередньо займаються виробництвом електроенергії, заводи, які добувають уранову руду, та заводи, що будуть збагачувати таку руду до необхідного відсотку, і виготовляти

тепловиділяючі збірки, які використовуються в ядерних реакторах. Україна має досить значні поклади уранової руди. Оцінювані запаси складають понад 100 тисяч тон [13]. Цих запасів нам би вистачило б на понад 100 років, проте ми змушені закуповувати тепловиділяючі збірки в інших держав. При налагодженні процесу виробництва ядерного палива в Україні можна було б говорити про незалежність в паливній галузі.

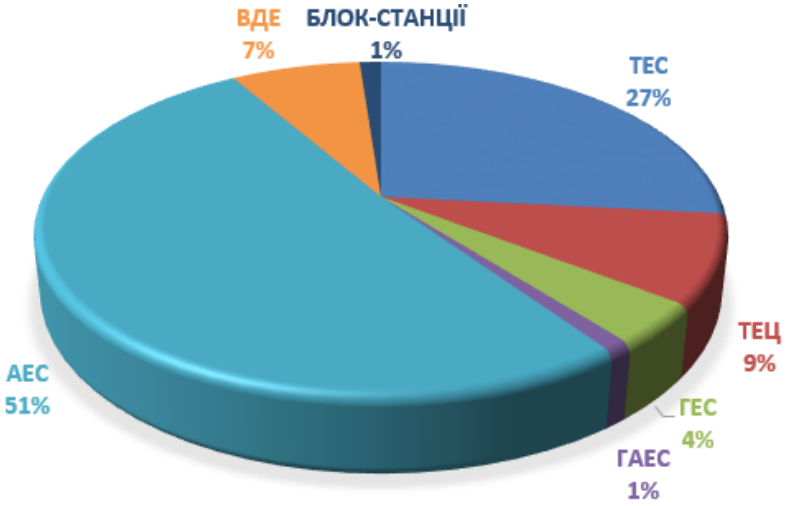

Рисунок 5- Структура виробництва електроенергії

Серед базових видів генерації енергії атомні станції є найбільшим джерелом низьковуглецевої електроенергії. Цей вид енергетики майже не призводить до збільшення викидів CO_2 та є безперебійним джерелом енергії. Міжурядовою групою з питань зміни клімату розробляються сценарії декарбонізації енергетики. Відповідно до них до 2050 року потужність ядерних установок необхідно збільшити на 60-100%. Це дозволить збільшити кількість низьковуглецевої енергії, створити стійку енергосистему з невисокими цінами на електроенергію.

Показовим прикладом доцільності використання атомної енергетики є Німеччина. Відмовившись від виробництва електроенергії на АЕС, було прийнято рішення перейти на відновлювальні джерела енергії. Проте за несприятливих кліматичних умов сонячні та вітрові електричні станції не змогли забезпечити необхідної кількості електроенергії. Компенсувати це довелось за допомогою вугільних теплових електричних станцій. В зв'язку з цим сумарна кількість шкідливих речовин в повітрі перевищила середньостатистичний показник. Це є гарним прикладом того, що сонячна та вітрова енергії не є стабільними. Погода при цьому має одне з найважливіших значень. Потрібно враховувати кількість хмарних і безвітряних днів, опади, пилові бурі, сніжні зими. Тому передбачити скільки вітрової чи сонячної енергії буде вироблено протягом року дуже складно. Виходом з цієї ситуації є певні базові потужності, які в потрібні моменти можуть бути запущені та будуть давати ту кількість електроенергії, яку не можуть в певний час виробити відновлювальні джерела енергії.

Декарбонізація енергетики передбачає зниження викидів парникових газів у атмосферу. Порівняльна характеристика викидів парникових газів від різних видів генерації електроенергії [14] зображена в таблиці 1.

Найбільше парникових газів продукують теплові електричні станції, що працюють на газі та на вугіллі. Сонячні електричні станції продукують майже в 10 разів менше вуглекислих газів на одну вироблену кВт·годину. Найменше виробляють вуглекислого газу атомні електричні станції та гідроелектростанції, тому їх використання є пріоритетним.

Таблиця 1- Кількість CO_2 в залежності від виду генерації електроенергії.

Вид генерації електроенергії	Викид CO_2 гр. на 1 кВт·год
ТЕС(вугілля)	879
ТЕС(природний газ)	620
Сонячні електростанції	64
ГАЕС	17
Вітрові електростанції	14
Атомна енергетика	8
ГЕС	6

В Україні також планується побудова нових реакторів з метою знизити викиди парникових газів та зменшення використання ТЕЦ. Планується, що нові енергоблоки будуть американського виробництва

типу AP-1000 [15]. Реактор такого типу володіє найсучаснішими технологіями, тому є набагато безпечнішим, ніж ті, що експлуатуються зараз. Перспективною є технологія побудови малих модульних реакторів. Вони мають низку переваг, легше і швидше будуються, їх можна компактно розмістити. Експлуатація таких енергоблоків є набагато простішою ніж великих реакторів. Хоч нові типи реакторів є набагато сучаснішими ніж ті, що вже експлуатуються, вони все одно потребують уранового палива. Експериментальний тип термоядерного реактора не потребує уранового палива, для реакції необхідне використання дейтерій-тритійової плазми [16]. Процес, що відбувається в реакторі цього типа протилежний до того, що відбувається в звичайному реакторі. В новій установці ядра не розщеплюються, а зливаються, тому тут є свої інженерні і фізичні особливості. Реалізація такого проекту дозволить вийти на новий рівень атомної енергетики і ще більше знизити зростання кількості парникових газів у атмосфері.

Висновки

З розвитком різноманітних технологій потреба в електроенергії лише зростає, проте разом з цим зростають викиди парникових газів до атмосфери. Це призводить до змін клімату і підвищення середньорічної температури. Для того, аби бути в гармонії з природою необхідно усіма можливими способами вже зараз знижувати викиди вуглекислого газу. Завдяки правильному розподілу між різними видами генеруючих установок можна досягти зниження кількості вироблених шкідливих елементів, тим самим сповільнити зміни клімату.

Перехід від спалювання газу та вугілля до відновлювальної і атомної енергетики дозволяє вирішити проблему чистого виробництва електроенергії. Тому поступово необхідно будувати нові енергогенеруючі потужності та вдосконалювати вже існуючі технології. Основним напрямком є розвиток атомної енергетики та перехід від ланцюгової реакції ділення урану до термоядерного синтезу. Хоча зараз ця технологія є досить новою та ще не має практичного застосування, в подальшому вона може повністю замінити реактори, що працюють на природному і збагаченому урановому паливі.

Список використаної літератури

1. Стратегія низьковуглецевого розвитку України. URL: https://mepr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf (дата звернення: 08.09.2022).

2. Розвиток зеленої енергетики в Україні. Екологія промислового краю. URL: https://ecoindustry.pro/avtorski-statti/rozvytok-zelenoyi-energetyky-v-ukrayini (дата звернення: 08.09.2022).

3. Нараєвський, С. В. "Класифікація традиційних та альтернативних джерел і технологій отримання енергії." Економічні науки. Сер.: Економіка та менеджмент,2012: 255-269 с.

4. Бойчук, Н.Я.; Острянко, М. М. Проблеми енергозбереження та підвищення енергоефективності економіки України. Сучасні проблеми економіки і підприємництво, 2017: 25-34 с.

5. Концентрація CO_2, показники доіндустріальної епохи. Українська Енергетика. URL: https://ua-energy.org/uk/posts/kontsentratsiia-co2-vpolovynu-perevyshchyla-pokaznyky-doindustrialnoi-epokhy (дата звернення: 08.09.2022).

6. Бєлєнкова, О. Ю.; Остапенко, І. О. Економічна оцінка заходів з підвищення енергоефективності. Будівельне виробництво, 2013: 28-31 с.

7. Дороніна, І.І.. Нормативно-правове забезпечення розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Public Administration, 2020: 44 с.

8. ЛІР, В. Енергетична політика сталого розвитку як вектор інтеграції Україна-ЄС. Науковий вісник [Одеського національного економічного університету], 2016: 158-176.

9. Олексюк, В. М. Енергетичні інновації як фактор досягнення енергетичної незалежності економіки України. Ефективна економіка, 2014: 3 с.

10. Динаміка і структура виробництва електроенергії в Україні. URL: https://vse.energy/spec-projects/infographpek/1615-electricity (дата звернення: 08.09.2022).

11. Структура електрогенерації в Україні та її зв'язок із тарифами на електроенергію. ТЕК - Надійний постачальник електричної енергії та газу в Україні. URL: https://tek.energy/news/struktura-elektrogeneratsii-v-ukraini-ta-ii-zvyazok-iz-tarifami-na-elektroenergiyu (дата звернення: 08.09.2022).

12. «Зелено-жадібно»: чому альтернативна енергетика не рятує довкілля. URL: https://mind.ua/publications/20206516-zeleno-zhadibno-chomu-alternativna-energetika-ne-ryatue-dovkillya (дата звернення: 08.09.2022).

13. Уранові родовища України: Історія відкриття та розроблення. Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка. URL: https://www.cuspu.edu.ua/ua/mizhnarodna-naukovo-praktychna-internet-konferentsiia-stratehii-innovatsiinoho-rozvytku-pryrodnychykh-dystsyplin-dosvid-problemy-ta-perspektyvy/sektsiia-3-heohrafiia-ta-pryrodokorystuvannia/10934-uranovi-rodovyshcha-ukrayiny-istoriya-vidkryttya-ta-rozroblennya (дата звернення: 08.09.2022).

14. Викиди та поглинання парникових газів в України. Кафедра аналітичної хімії, Хімічний факультет, КНУ ім. Тараса Шевченка. URL: https://anchem.knu.ua/books/zuy/clim_3.htm (дата звернення: 08.09.2022).

15. Tjanjono, Hendro. Effect of air condition on AP-1000 containment cooling performance in station black out accident. Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega, 2015.

16. Гончар, Д.Р. Термоядерна генерація: переваги та недоліки, економічна доцільність використання. Редакційна колегія, 2008.

V. Konshin[1], Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0003-2591-3589
B. Kviatkoskyi[1], graduate student, ORCID 0000-0002-8610-3531
[1]National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

THE FUTURE OF ATOMIC ENERGY IN UKRAINE FROM THE POSITION OF THE DEVELOPMENT OF A LOW-CARBON ECONOMY

This article studies the future development of the energy industry with the aim of reducing greenhouse gas emissions. Three different options for planning the use of electricity-generating enterprises and determining the most optimal for the environment and economy of the country based on graphs of the dynamics of greenhouse gas emissions into the atmosphere are considered. The assessment and selection of the most optimal option is based on the Low-Carbon Development Strategy of Ukraine.

The types of electricity generation that most pollute the environment and those that practically do not pollute have been determined. The share of produced electricity accounted for by each type of generation and the dynamics of electricity production in recent years were considered in percentage terms. Also, this article provides an example of one of the countries abandoning nuclear energy, and what consequences this had for the energy balance and the development of a low-carbon economy. The most appropriate option for the development of power plants in Ukraine was determined and it was considered how in the future it is possible to increase the share of electricity produced at nuclear power plants and reduce the share of electricity produced at thermal power plants. The development of nuclear energy has a positive effect on the country's energy independence, so it must be developed and, if possible, switched to new types of reactors in order to make energy even more secure.

Keywords: *electricity, economy, nuclear energy, heat energy, energy efficiency.*

References

1. Low-carbon development strategy of Ukraine. [Online]. Avaible at: https://mepr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf. [Accessed: 8-Sep-2022].

2. Development of green energy in Ukraine. [Online]. Avaible at: https://ecoindustry.pro/avtorski-statti/rozvytok-zelenoyi-energetyky-v-ukrayini. [Accessed: 8-Sep-2022].

3. S. V. Narayevskyi, "Classification of traditional and alternative energy sources and technologies." Economic sciences. Economics and management,2012: 255-269 p.

4. N.Y. Boychyk, M. M Ostryanko. Problems of energy saving and increasing energy efficiency of the economy of Ukraine. Modern problems of economy and entrepreneurship, 2017: 25-34 p.

5. CO2 concentration, indicators of the pre-industrial era. Ukrainian Energy. [Online]. Avaible at: https://ua-energy.org/uk/posts/kontsentratsiia-co2-vpolovynu-perevyshchyla-pokaznyky-doindustrialnoi-epokhy. [Accessed: 8-Sep-2022].

6. O. Y. Belenkova; I. O. Ostapenko, Economic assessment of energy efficiency improvement measures. Construction production, 2013: 28-31 p.

7. I.I. Doronina, Regulatory and legal support for the development of renewable energy in Ukraine. Public Administration, 2020: 44 p.

8. V. LIR, Energy policy of sustainable development as a vector of Ukraine-EU integration. Scientific journal [Odessa National Economic University], 2016: 158-176p.

9. V. M.Oleksyuk, Energy innovations as a factor in achieving energy independence of the Ukrainian economy. Efficient economy, 2014: 3 p.

10. Dynamics and structure of electricity production in Ukraine. [Online]. Avaible at: https://vse.energy/spec-projects/infographpek/1615-electricity. [Accessed: 8-Sep-2022].

11. The structure of electricity generation in Ukraine and its connection with electricity tariffs. TEK - A reliable supplier of electricity and gas in Ukraine. [Online]. Avaible at: https://tek.energy/news/struktura-elektrogeneratsii-v-ukraini-ta-ii-zvyazok-iz-tarifami-na-elektroenergiyu [Accessed: 8-Sep-2022].

12. "Green-greedy": why alternative energy does not save the environment. [Online]. Avaible at: https://mind.ua/publications/20206516-zeleno-zhadibno-chomu-alternativna-energetika-ne-ryatue-dovkillya [Accessed: 8-Sep-2022].

13. Uranium deposits of Ukraine: History of discovery and development. Central Ukrainian State Pedagogical University named after Volodymyr Vinnichenko. [Online]. Avaible at: https://www.cuspu.edu.ua/ua/mizhnarodna-naukovo-praktychna-internet-konferentsiia-stratehii-innovatsiinoho-rozvytku-pryrodnychykh-dystsyplin-dosvid-problemy-ta-perspektyvy/sektsiia-3-heohrafiia-ta-pryrodokorystuvannia/10934-uranovi-rodovyshcha-ukrayiny-istoriya-vidkryttya-ta-rozroblennya [Accessed: 8-Sep-2022].

14. Emissions and absorption of greenhouse gases in Ukraine. Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, aras Shevchenko National University of Kyiv. [Online]. Avaible at: https://anchem.knu.ua/books/zuy/clim_3.htm [Accessed: 8-Sep-2022].

15. Tjanjono, Hendro. Effect of air condition on AP-1000 containment cooling performance in station black out accident. Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega, 2015.

16. D.R. Gonchar, Thermonuclear generation: advantages and disadvantages, economic feasibility of use. Editorial board, 2008.

Надійшла: 28.12.2022
Received: 28.12.2022