

УДК 725:69.059.28

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040624.48.1058

АНАЛІЗ РУЙНУВАНЬ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЯДЕРНО-ПАЛИВНОГО ЦИКЛУ УКРАЇНИ ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ РФ

БЕЛІКОВ А. С.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
ПИЛИПЕНКО О. В.^{2*}, *канд. техн. наук, доц.*,
ШАЛОМОВ В. А.³, *канд. техн. наук, доц.*,
САНЬКОВ П. М.⁴, *канд. техн. наук, проф.*,
ТИМЧЕНКО П. О.⁵, *асп.*,
РУДЕНКО В. П.⁶, *асп.*

¹ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pylypenko.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9644-3118

³ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

⁴ Кафедра архітектури, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 149-85-41, e-mail: petsrankov5581@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0898-7992

⁵ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: tumchenko.pavlo@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0001-9362-3471

⁶ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: rudenko.vacheslav@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0000-6641-8002

Анотація. Постановка проблеми. У зв'язку з постійними терористичними атаками рф по об'єктах енергетики України заподіяно руйнування енергетичної системи, що спричинило її знеструмлення і, через це, вилучило відключення по всій території країни. Знищення енергетичних потужностей зумовило нестабільну роботу окремих підрозділів критичної інфраструктури з вироблення електроенергії на теплових, атомних та гідроелектростанціях і введення вимушених графіків погодинного відключення електроенергії. Загарбання Чорнобильської атомної електричної станції (АЕС), окупація та повний контроль Запорізької АЕС та Запорізької теплової електричної станції (ТЕС). Повне руйнування Каховської гідроелектростанції (ГЕС), часткове руйнування Дніпровської, Дністровської та Канівської ГЕС. Через війну пошкоджено Криворізьку та Придніпровську ТЕС, повністю зруйновані Луганська (90–100 %), Вуглегірська (90–100 %), Зміївська ТЕС (до 90 %), майже повністю зруйновані Бурштинська (80–90 %) та Ладизинська ТЕС (70–95 %). **Мета статті** полягає у виявленні та аналізі пошкоджень ТЕС, ГЕС та АЕС України, через воєнні дії рф проти України та визначенні можливих наслідків для ядерно-паливного циклу (ЯПЦ) нашої держави і можливі перспективи переходу до нових ядерних реакторів європейських та світових виробників паливних елементів, для удосконалення обладнання та стабілізації на енергетичному ринку в умовах ведення бойових дій. **Висновок.** У ході аналізу потенційних небезпек на радіаційнонебезпечних об'єктах (РНО) України визначено, що основну загрозу становлять аварії на РНО з викидом радіаційної речовини в атмосферу, літосферу та гідросферу. Через захват ворогами Чорнобильської та Запорізької АЕС проведення вимірів стандартними методами дослідження, скринінгу та моніторингу неможливе, доступ представників МАГАТЕ обмежений. Саме тому слід застосовувати новітні методи проведення вимірювань з використанням автономних дистанційно-керованих наземних, надводних та повітряних дронів в автоматичному об'єктовому або вибірковому вимірюванні радіаційних параметрів на РНО. Використання автономних апаратів (дронів) стало наразі найактуальнішим питанням радіаційної безпеки не тільки атомної енергетики, а й усього ЯПЦ як частини екологічної безпеки України. У випадку загарбання ядерного об'єкта чи обмеженого доступу до нього треба змінити й методи досліджень. Якщо об'єкт захоплено частково чи до нього є доступ, тоді можна застосовувати експрес-методи реєстрації радіаційного забруднення або метод забору проб і в подальшому – метод лабораторних досліджень. Проте якщо АЕС або об'єкт, що входять до ядерно-паливного циклу України, захоплені і доступ до нього неможливий, залишаються тільки методи дистанційного вимірювання радіаційної обстановки на ядерних об'єктах і навколо них, за допомогою наземних та повітряних автономних апаратів. Для подальших досліджень необхідно виявити технічні можливості щодо використання власних копалин, що є в Україні, та перехід із радянських реакторів типу РБМК-1000, ВВЕР-440 та ВВЕР-1000 з паливними елементами, які поставляються нам з рф, на більш сучасні типи реакторів європейського та американського виробництва з відповідними елементами завантаження.

Ключові слова: енергетичні об'єкти; потенційні небезпеки; радіаційна безпека; ядерно-паливний цикл, екологічні наслідки; бойові дії; обстріли; тероризм

ANALYSIS OF THE DESTRUCTION OF UKRAINIAN NUCLEAR FUEL CYCLE ENERGY FACILITIES AS A RESULT OF RUSSIAN MILITARY OPERATIONS

BELIKOV A.S.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
PYLYPENKO O.V.^{2*}, *Cand. Sc.(Tech.), Assoc. Prof.*,
SHALOMOV V.A.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
SANKOV P.M.⁴, *Cand. Sc.(Tech.), Prof.*,
TYMCHENKO P.O.⁵, *Postgraduate Stud.*,
RUDENKO V.P.⁶, *Postgraduate Stud.*

¹ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: pylypenko.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9644-3118

³ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

⁴ Department of Architecture, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 149-85-41, e-mail: petrsankov5581@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0898-7992

⁵ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: tumchenko.pavlo@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0001-9362-3471

⁶ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: rudenko.vacheslav@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0000-6641-8002

Abstract. Problem statement. Due to Russia's ongoing terrorist attacks on Ukraine's energy facilities, the energy system was damaged, resulting in blackouts and rolling blackouts across the country. The destruction of power capacities resulted in the unstable operation of certain critical infrastructure units for electricity generation at thermal, nuclear and hydroelectric power plants and the introduction of forced hourly blackout schedules. Seizure of the Chornobyl Nuclear Power Plant, occupation and full control of the Zaporizhzhia Nuclear Power Plant and the Zaporizhzhia Thermal Power Plant (TPP). Complete destruction of the Kakhovka hydroelectric power station (HPP), partial destruction of the Dnipro HPP, Dniester HPP and Kaniv HPP. During the hostilities, Kryvyi Rih and Prydniprovsk TPPs were damaged, Luhansk TPP (90–100 %), Vuhlehirsk TPP (90–100 %), Zmiiv TPP (up to 90 %) were completely destroyed, Burshtyn TPP (80–90 %) and Ladyzhyn TPP (70–95 %) were almost completely destroyed. **The purpose of the article** is to identify and analyse the damage to Ukrainian TPPs, HPPs and NPPs caused by the Russian military actions against Ukraine and to determine possible consequences for the nuclear fuel cycle of our country and possible prospects for the transition to new nuclear reactors of European and global fuel cell manufacturers, to improve equipment and stabilise the energy market in the context of military operations. **Conclusion.** In the course of the analysis of potential hazards at radiation hazardous facilities (RHF) in Ukraine, it was determined that the main threat is accidents at RHF with release of radiation into the atmosphere, lithosphere and hydrosphere. In the light of recent events regarding the military seizure of the Chornobyl NPP and Zaporizhzhia NPP, measurements using standard methods of research, screening and monitoring are not possible, and access of IAEA representatives is limited, which is why the latest measurement methods should be used with the use of autonomous remote-controlled ground, surface and air drones in automatic object or sample measurement of radiation parameters at RNS. It is the use of autonomous vehicles (drones) that is currently the most pressing issue of radiation safety not only in the nuclear power industry but also in the entire nuclear fuel cycle as part of the environmental safety of Ukraine. In case of seizure of a nuclear facility or limited access to it, research methods should be changed. If the facility is partially seized or access is available, then express methods of radiation contamination registration or sampling can be used and the method of laboratory research can be used in the future. However, if a nuclear power plant or a facility that is part of the nuclear fuel cycle of Ukraine is captured and access to it is impossible, then only methods of remote measurement of the radiation situation at and around nuclear facilities using ground and airborne autonomous vehicles remain. For further research, it is necessary to identify technical possibilities for using Ukraine's own mineral resources and switching from Soviet RBMK-1000, VVER-440 and VVER-1000 reactors with fuel elements supplied to us from the Russian Federation to newer types of European and American reactors with appropriate fuel elements.

Keywords: *energy facilities; potential hazards; radiation safety; nuclear fuel cycle, environmental consequences; hostilities; shelling; terrorism*

Постановка проблеми. У зв'язку з постійними терористичними атаками рф по об'єктах енергетики України заподіяно руйнування енергетичній системі, що зумовило її знеструмлення і, через це, віялові відключення по всій території країни. Знищення енергетичних потужностей спричинило нестабільність роботи окремих підрозділів критичної інфраструктури з вироблення електроенергії на теплових, атомних та гідроелектростанціях і введення вимушених графіків погодинного відключення електроенергії.

Захоплення Чорнобильської атомної електричної станції (АЕС), окупація та повний контроль Запорізької АЕС та Запорізької теплової електричної станції (ТЕС). Повне руйнування Каховської гідроелектростанції (ГЕС), часткове руйнування Дніпровської, Дністровської та Канівської ГЕС. Ворог пошкодив Криворізьку та Придніпровську ТЕС, зазнали повного руйнування Луганська (90–100 %), Вуглегірська (90–100 %), Зміївська ТЕС (до 90 %), майже повністю зруйновані Бурштинська (80–90 %) та Ладижинська ТЕС (70–95 %) (станом на 1 квітня 2024 року).

Аналіз публікацій. В Україні масовані обстріли ГЕС можуть їх зруйнувати, що матиме катастрофічні наслідки для життя українців і довкілля, адже зруйнована гребля може затопити землі та населені пункти далеко вниз по течії. Використання води як інструменту для досягнення військових цілей – не нове явище. Наприклад, під час Другої світової війни радянська влада спеціально підірвала ДніпроГЕС, щоб не «пустити» німецькі війська далі на Схід і потопити ворожі підрозділи, які розташовувались у плавнях.

Прорив будь-якої греблі за руйнівними наслідками, зокрема екологічними, можна порівняти із вибухом атомної бомби, бо греблі повинні стримувати мільйони тонн води. Цих сил достатньо, щоби руйнувати бетон. Наслідки від руйнування гребель так само розраховуються по зонах, як і наслідки від підриву ядерних бомб. У 1-й зоні ураження вода змітає геть усе: бетонні

споруди, будівлі, будь-які укріплення. Науковці називають це «зоною катастрофічного затоплення», тобто це територія, де можуть загинути люди, тварини, рослини та завдано шкоди об'єктам економіки й довкілля.

Мета дослідження полягає у виявленні та аналізі пошкоджень ТЕС, ГЕС та АЕС, внаслідок воєнних дій рф проти України та визначенні можливих наслідків для ядерно-паливного циклу (ЯПЦ) нашої держави і перспектив переходу до нових ядерних реакторів європейських та світових виробників паливних елементів, для удосконалення обладнання та стабілізації на енергетичному ринку в умовах ведення бойових дій.

Через масовані руйнування об'єктів цивільної, промислової та енергетичної інфраструктури виникає одне з базових завдань, а саме проведення обстежень, досліджень та оцінювання руйнувань пошкоджених об'єктів.

Результати досліджень. 28 червня 2022 року війська рф випустили шість ракет на Дніпропетровщину, а саме по Криворізькій ТЕС у м. Зеленодольську (рис. 1). За даними Дніпропетровської ОВА [1], через «прильоти» зруйновано залізничну інфраструктуру та промислове підприємство. За чотири місяці ворог випустив близько 160 ракет різних типів по Дніпропетровській області, з яких чверть була спрямована саме на енергетичні об'єкти інфраструктури та життєзабезпечення.

Криворізька ТЕС розташована на території Дніпропетровської області. Будівництво здійснювалося у три черги блоками 300 МВт: перша – блоки № 1 – 4, друга – блоки № 5 – 8, третя – блоки № 9 – 10. Перший головний енергоблок введено в експлуатацію у 1965-му, останній – у 1973 році. Проектне паливо – пісне вугілля, резервне – мазут, газ. Електрична енергія видається напругою 150 та 330 кВ з відкритих розподільчих пристроїв. У 2019 році енергоблок № 1 переведено на спалювання вугілля марки Г. Станом на

01.01.2021 р. встановлена потужність Криворізької ТЕС – 2 079 МВт.



Рис. 1. Криворізька ТЕС

Ракетний удар ворожими військами 22 березня 2024 року став однією з найпотужніших атак на енергосистему України за увесь час повномасштабного вторгнення рф. Зміївську ТЕС, одну з найбільших ТЕС України (рис. 2), виведено з ладу, жодний з енергоблоків не працює, розбір завалів може тривати тиждень, а її ремонт затягнеться на два роки, за умов постачання досить специфічного обладнання [3]. 22 березня росіяни масовано обстріляли м. Харків, що спричинило повний блекаут того ж дня. У ніч на 29 березня російські окупаційні війська завдали масованої комбінованої атаки по енергетичній інфраструктурі Харківської області та України в цілому.



Рис. 2. Зміївська ТЕС

З 1 липня 2002 року Бурштинська ТЕС була відокремлена від об'єднаної енергосистеми України і працювала у складі «Бурштинського острова» паралельно з об'єднаною енергетичною системою європейських країн (UCTE). Робота у межах «острова» вимагала завантаження до дев'яти енергоблоків станції, тоді як перед тим на

станції працювало не більше шести енергоблоків. Приєднання до енергетичної системи європейських країн відкрило широкі можливості для збільшення експортних поставок електроенергії з України. З приєднанням енергосистеми України до ENTSO-E станція знову опинилась у складі об'єднаної енергосистеми України, 12 енергоблоків (потужністю по 200 МВт кожний) були введені в експлуатацію в 1965–1969 роках. Завдяки вдалому географічному розташуванню і зараз два–три енергоблоки постійно працюють на експорт.



Рис. 3. Бурштинська ТЕС

22 березня 2024 року Бурштинська ТЕС (рис. 3.), що в Івано-Франківській області, зазнала масштабного обстрілу з боку військ рф. Ми втратили 50 % встановленої потужності. Постраждали усі блоки ТЕС. Виконавчий директор ДТЕК зазначив, що енергоблоки перебувають у різному ступені руйнації: від повної до понад 50 %. Це означає, що станція зазнала дуже серйозних руйнувань і потребує навіть не місяців, а років відновлення. Можливо, один-два блоки почнуть працювати раніше, але загалом це від 12 до 24 місяців ремонтних робіт [2].

Бурштинська ТЕС піддавалася обстрілам тричі: під час обстрілу українських міст 10 жовтня 2022 року 4 ракети влучили у відкриті розподільчі пристрої. Як наслідок, в енергомережі Івано-Франківської області різко знизилася напруга й Обленерго регулювало графіки електропостачання. Споживачі області були забезпечені електрикою повністю.

19 жовтня 2022 року станція знову зазнала ракетного обстрілу, через влучання ворожих ракет спалахнула пожежа, на

щастя, минулось без жертв. Станція була тимчасово відключена від енергосистеми [4]. 22 березня 2024 року Бурштинська ТЕС втратила ворожого ракетного обстрілу, в результаті чого пошкоджено усі блоки станції.

Також цього дня [2] російські окупанти двічі атакували Ладизинську теплоелектростанцію у Вінницькій області (рис. 4). Війська РФ запустили два дрони-камікадзе. Унаслідок цієї атаки є постраждалі.

Ладизинська ТЕС зазнала повторного удару російських терористичних військ, який відбувся у той момент, коли на місці працювали рятувальники ДСНС, на жаль були постраждалі (за попередньою інформацією – шість осіб).



Рис. 4. Ладизинська ТЕС

Ладизинська ТЕС розташована у м. Ладизин, Вінницької області закладена у 1968 році, введена в експлуатацію у 1970 р., будівництво завершилося у 1972 р., з 2012 року стала структурним підрозділом ДТЕК «Західенерго». Електростанція має шість енергоблоків потужністю 300 МВт кожен. У 2003 році ТЕС включено до переліку особливо важливих об'єктів електроенергетики України і передано під воєнізовану охорону у взаємодії зі спеціалізованими підрозділами МВС України.

Завантаження потужностей станції відбувається на основі енергобалансу електроенергетичної системи України. Станція з'єднана лініями електропередач напругою 330 кВ із південними і центральними регіонами України. За 2014 рік Ладизинська ТЕС виробила 5,4 млрд кВт·год, це один із найбільших

показників обсягу електроенергії, виробленої цією ТЕС з 2000 року.

24–26 лютого 2022 року, протягом перших днів повномасштабного вторгнення ворожих військ не вщухали обстріли Луганської ТЕС, яка знаходилася поряд із лінією розмежування у м. Щастя. Пошкоджено трансформатор зв'язку, у результаті чого на території станції виникло загоряння. Пожежу неможливо було локалізувати через постійні обстріли. Крім того, були пошкоджені будівлі навчального корпусу, кисневої станції і блоків № 10 і № 15.

Луганська ТЕС – найбільший виробник електричної енергії в Луганській області. Від її надійної роботи залежить енергозабезпечення стратегічних підприємств та об'єктів критичної інфраструктури, шкіл, дитсадків, медичних установ тощо, а також теплозабезпечення мешканців міста [5].



Рис. 5. Луганська ТЕС

Вуглегірська ТЕС (Донбаська № 1), розташована у м. Світлодарськ Донецької області (рис. 6). Встановлена потужність ТЕС складає близько 3 600 МВт, що виробляють сім енергоблоків станції. Проектне паливо: для енергоблоків 300 МВт – вугілля; для енергоблоків 800 МВт – газ. Частка використання природного газу в структурі палива у 2007 році енергоблоками 300 МВт становила 1,98 %.

На початку серпня 2015 року в результаті бойових дій були зруйновані повітряні лінії електропередачі напругою 330 кВ Вуглегірської ТЕС. Відновити їх та підключити ТЕС до енергосистеми вдалось 7 серпня 2015 року, а у серпні 2016 року снаряди російських найманців знову

влучили в цей об'єкт, зруйнували резервуар питної води та пошкодили лабораторію з контролю очистки та якості води.



Рис. 6. Вуглегірська ТЕС

10 березня 2022 року обстрілами пошкоджено газогін-відвід до ГРС Вуглегірської ТЕС. Відновити його роботу вдалось лише 18 березня 2022 року. Ворожі війська 12 червня 2022 року завдали два удари ракетами типу Х-22 по селу Миколаївка Покровського району Донецької області. У результаті цих ударів, серед усього іншого, сильно пошкоджено адміністративну будівлю Вуглегірської ТЕС, залізничне полотно, автомобіль «швидкої допомоги», лінії електропередач тощо. Без світла залишилися міста Бахмут і Красногорівка [6]. Місто Світлодарськ було захоплене російськими військовими ще на початку літа, проте територію Вуглегірської ТЕС збройні сили України контролювали аж до серпня 2022 року.



Рис. 7. Придніпровська ТЕС

Не уникла обстрілів й Придніпровська ТЕС (рис. 7). Будівництво ТЕС почалося ще у 1951 році, на захід від козацького селища Чаплі, та на момент спорудження вона була найпотужнішою у колишньому СРСР. Перший енергоблок потужністю 100 МВт ввели в експлуатацію 28 грудня 1954 року й

упродовж кількох наступних років розвиток станції відбувався за рахунок блоків саме такої ж потужності.

За період з 1964 по 1966-й щороку вводилось по одному об'єкту 300 МВт, що довело загальну потужність станції до 2 400 МВт, а це у чотири рази перевищувало потужність ДніпроГЕСу. Крім того це був найбільший показник серед теплових електростанцій України до завершення будівництва Запорізької ТЕС.

Окупація Чорнобильської АЕС тривала з першого дня повномасштабного вторгнення військ РФ, з 24 лютого 2022 року – до виведення ворожих формувань з території Київської області 2 квітня 2022 року. Тобто Чорнобильська АЕС була першим ядерним об'єктом та першою АЕС, яка була захоплена під час війни однієї країни проти іншої, в сучасних реаліях. Окупація Чорнобильської АЕС тривала 37 днів.



Рис. 8. Запорізька АЕС

Загарбання Запорізької АЕС, сталося уже після окупації Чорнобильської АЕС, а саме 3 березня 2022 року, о 23:28 за місцевим часом. До електростанції під'їхала колона з 10 одиниць російської бронетехніки та двох танків. Бої за м. Енергодар почалися 4 березня 2022 року. За повідомленням часопису «Українська правда» від 12 березня 2022 року, влада РФ заявила керівництву станції, що тепер Запорізька АЕС належить державній атомній енергетичній компанії Росії – «росатом». Нею продовжує керувати український персонал під контролем військових та фахівців РФ.

26 квітня дві російські крилаті ракети пролетіли на низькій висоті над майданчиком Запорізької АЕС у напрямку Запоріжжя. В Енергоатомі України цю подію кваліфікували як ядерний тероризм, що наражає світ на небезпеку повторення ядерної катастрофи.

Запорізька атомна електростанція розташована на південному сході України

(це найбільша атомна електростанція в Європі) та входить до 10 найбільших у світі. Вона побудована ще за часів Радянського Союзу поблизу м. Енергодар. Станція має шість ядерних реакторів типу ВВЕР-1000 (рис. 8), кожен із яких працює на збагаченому урані (235U) і генерує 950 МВт, із загальною вихідною потужністю 5 700 МВт. Перші п'ять енергоблоків були послідовно введені в мережу між 1985 і 1989 роками, а шостий доданий у 1995 році.

Станція виробляє майже половину електроенергії країни, отриманої від атомної енергетики, і понад п'яту частину загальної електроенергії, виробленої в Україні [7]. Поруч розташована Запорізька ТЕЦ. Окупація Запорізької АЕС та Запорізької ТЕЦ продовжується вже понад два роки.



Рис. 9. Підрив Каховської ГЕС

6 червня 2023 року ворожі війська зруйнували греблю Каховської ГЕС, підірвавши зсередини 11 із 28 прольотів греблі (рис. 9). Орієнтовна ширина прорану

склала понад 170 м. Протягом 5–6 годин мільйони кубометрів води хлинули на нижче розташовані населені пункти Херсонської області, протягом двох тижнів Каховське водосховище повністю спорожніло. У зону затоплення потрапило близько 80 населених пунктів. Загибло та пропало безвісті понад 20 осіб. Ефект скорочення оброблюваних площ та зниження урожайності триватиме протягом наступних 2024-2028 років, завдано шкоди довіллю України на мільярди гривень. Це перший акт екологічного тероризму за останні 50 років.

Руйнування одного з найбільших водосховищ спричинить також спустошення багатьох зрошувальних каналів, з яких найбільшими були Каховський, Дніпро–Кривий Ріг та Північнокримський. Зникнуть річкові порти та елеватори, дороги, залізниці. Масштаби і наслідки руйнувань будуть катастрофічними для регіону.

Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України [8] анонсувало рівні використання Каховського водосховища, де зазначило, що падіння рівня нижче відмітки в 12,7 м призведе до екологічної та радіаційної катастрофи не лише в Україні, а й у низці інших країн, таких як: Туреччина, Болгарія, Румунія, Угорщина та ін. (рис. 10).



Рис. 10. Рівні небезпек для Каховської ГЕС

22 березня 2024 року армія РФ завдала вісім ударів по Дніпровській ГЕС у м. Запоріжжі (рис. 11). Через цей обстріл дві станції гідроелектростанції (ГЕС-1 та ГЕС-2) виведені з ладу. Крім того, екологічні інспектори зафіксували витік нафтопродуктів у р. Дніпро та велику кількість уламків греблі.



Рис. 11. Руїнування «тіла» Дніпровської ГЕС 22 березня 2024 року

25 березня 2024 року гендиректор ПрАТ «Укргідроенерго» Ігор Сирота повідомив, що внаслідок атаки на ДніпроГЕС енергосистема України втратила понад тисячу мегават потужності, а рятувальні служби й досі розбирають завали одного з машинних залів станції. В Укргідроенерго зазначили, що на відновлення ДніпроГЕС потрібні роки. Щодо рівня засмічення ґрунтів поблизу однокамерного шлюзу греблі Дніпровської ГЕС у місці захаращення уламками від вибуху були відібрані проби ґрунту і, за попередніми даними Держекоінспекції, зафіксовано засмічення ґрунтів та пляму нафтопродуктів орієнтовною масою 0,5 т, яка рухається нижче за течією Дніпра.

Орієнтовна сума збитків, завданих внаслідок забруднення водних ресурсів, розрахованих Держекоінспекцією відповідно до затвердженої Методики, становить близько 140–160 млн грн, про це 27 березня 2024 року повідомив міністр захисту довкілля та природних ресурсів України Руслан Стрілець [9].

На момент подання статті до видання стало відомо про ще один масований комбінований удар по енергетичних об'єктах ЯПЦ України, зокрема, йдеться про обстріл Канівської та Дністровської ГЕС. Обстріл був масований – росіяни запустили по Україні 99 ракет і дронів-камікадзе. Сили

протиповітряної оборони України збили 58 безпілотних літальних апаратів типу Shahed і 26 ракет.

Президент Володимир Зеленський під час засідання Ставки заявив: «Цієї ночі (29.03.24 р. – авт.) свідомими цілями ворога стали Канівська та Дністровська ГЕС. Країна-терорист хоче повторення екологічної катастрофи на Херсонщині, але тепер під загрозою не лише Україна, а й Молдова. Вода не зупиниться перед прикордонними стовпами, як не зупиниться і російська війна, якщо разом і вчасно не зупинити її в Україні», – наголосив Глава держави [10].

Висновки.

1. У попередніх дослідженнях [11] проведено аналіз стану ядерних блоків ЯПЦ, де зазначалось, що Україна має у своєму розпорядженні чотири діючі атомні електростанції (Рівненська, Хмельницька, Запорізька, Південноукраїнська) та одну зупинену (Чорнобильська), що налічують загалом 15 (+ 4) реакторів та забезпечують 53,6 % електроенергії України.

2. У ході аналізу потенційних небезпек на радіаційно-небезпечних об'єктах (РНО) України [12] визначено, що основну загрозу становлять аварії на РНО з викидом радіаційної речовини в атмосферу, літосферу та гідросферу.

3. Через загарбання Чорнобильської та Запорізької АЕС проведення вимірів [12] стандартними методами дослідження, скринінгу та моніторингу не можливе, доступ представників МАГАТЕ обмежений. Саме тому слід застосовувати новітні методи вимірювань із використанням автономних дистанційно-керованих наземних, надводних та повітряних дронів в автоматичному об'єктовому або вибірковому вимірюванні радіаційних параметрів на РНО.

Використання автономних апаратів (дронів) сьогодні бачиться найактуальнішим питанням радіаційної безпеки не тільки атомної енергетики, а й усього ЯПЦ як частини екологічної безпеки України.

4. У випадку загарбання ядерного об'єкта чи обмеженого доступу до нього треба змінити й методи досліджень. Якщо об'єкт захоплено частково чи до нього є

доступ, можна застосовувати експрес-методи реєстрації радіаційного забруднення або метод забору проб і в подальшому – метод лабораторних досліджень.

Проте якщо АЕС або об'єкт, що входять до ядерно-паливного циклу України, захоплений і доступ до нього неможливий, залишаються тільки методи дистанційного вимірювання радіаційної обстановки на ядерних об'єктах і навколо них за допомогою наземних та повітряних автономних апаратів [13].

5. Для подальших досліджень необхідно виявити технічні можливості щодо використання власних копалин [14], що є в

Україні, та заміну з радянських реакторів типу РБМК-1000, ВВЕР-440 та ВВЕР-1000 з паливними елементами, які поставлялися нам з рф, на більш нові типи реакторів європейського та американського виробництва з відповідними елементами завантаження.

6. Після масованих обстрілів та руйнувань об'єктів цивільної, промислової та енергетичної інфраструктури на місце влучань виїжджають судові експерти для проведення експертиз відповідно до нової методики оцінювання руйнувань, для з'ясування можливості відшкодування заподіяних збитків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Російські війська вдарили по Криворізькій ТЕС – Лукашук. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/news-rosiyskyy-obstril-kryvorizkoyi-tes-lukashuk/31920102.html/> (дата звернення: 30.03.2024).
2. Унаслідок атаки РФ 22 березня були пошкоджені всі енергоблоки Бурштинської та Ладижинської ТЕС. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/burshtynska-ta-ladizhynska-tes-unaslidok-udaru-rf-22-bereznia-buli-poshkodzheni-vsi-energobloki-50405109.html/> (дата звернення: 30.03.2024).
3. «Знищено всі блоки»: дуже погані новини по найбільшій в Україні ТЕС. URL: <https://kyiv.ukrainianwall.com/uk/124681-znishcheno-vsi-bloki-duzhe-pogani-novini-po-naybilshiy-v-ukrajini-tes/> (дата звернення: 30.03.2024).
4. Бурштинська ТЕС. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%80%D1%88%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%A2%D0%95%D0%A1/ (дата звернення: 30.03.2024).
5. ДТЕК Луганська ТЕС перебуває під постійними обстрілами. URL: <https://dtek.com/media-center/news/dtek-luganska-tes-perebuvaе-pid-postiynimi-obstrilam/> (дата звернення: 30.03.2024).
6. Вуглегірська ТЕС. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вуглегірська_ТЕС (дата звернення: 30.03.2024).
7. Святослав Наумичев, працівник Запорізької АЕС: «Це війна не за територію, а за те, яким світ буде надалі»: веб-сайт. URL: <https://energoatom.com.ua/> (дата звернення: 30.03.2024).
8. Наслідки від підриву росією греблі Каховської ГЕС: веб-сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/> (дата звернення: 30.03.2024).
9. Внаслідок атаки РФ по ДніпроГЕС докільню завдано збитків на понад 140 млн гривень – Р. Стрілець. URL: <https://suspilne.media/715240-vnaslidok-ataki-rf-po-dniproges-dovkillu-zavdano-zbitkiv-na-ponad-140-mln-griven-strilec> (дата звернення: 30.03.2024).
10. Зеленський – після Ставки: Цієї ночі цілями ворога були Канівська та Дністровська ГЕС. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3846245-zelenskij-pisla-stavki-ciei-noci-cilami-voroga-buli-kanivska-ta-dnistrovska-ges.html/> (дата звернення: 30.03.2024).
11. Пилипенко О. В., Клименко Г. О., Дракіна К. М. *Основи використання радіонуклідів : зб. тез доп. IX міжнар. наук.-практ. конф. «Безпека життєдіяльності в XXI столітті»*. Дніпро, 17–18 листопада 2022. С. 51–54.
12. Пилипенко О. В., Саньков П. М., Дзюбан О. В., Папірник Р. Б., Ткач Н. О. *Особливості організації радіаційного контролю на об'єктах ядерно-паливного комплексу України*. Токуо, Japan : Otsuki Press, 2022. С. 196–206.
13. Пилипенко О. В., Маринченко О. І. *Засоби та методи виявлення радіації при аваріях на атомних станціях. Проблеми гарантування безпеки людини в умовах сучасних викликів : матер. Всеукр. наук.-практ. конф.* Луцьк, 23–24 березня 2023. С. 27–30.
14. Диверсифікація палива для реакторів ВВЕР. URL: <https://ukrns.org/publications/dyversyfikacziya-palyva-dlya-reaktoriv-vver/> (дата звернення: 30.03.2024).

REFERENCES

1. *Rosiiski viiska vdaryly po Kryvorizkii TES – Lukashuk* [Russian troops strike at Kryvyi Rih thermal power plant]. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/news-rosiyskyy-obstril-kryvorizkoyi-tes-lukashuk/31920102.html/> (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).
2. *Unaslidok ataky RF 22 bereznia buly poshkodzheni vsi enerhobloky Burshtynskoi ta Ladyzhynskoi TES* [All power units at Burshtyn and Ladyzhyn TPPs were damaged as a result of the Russian attack on 22 March]. URL:

<https://nv.ua/ukr/ukraine/events/burshtynska-ta-ladzhinska-tes-unaslidok-udaru-rf-22-bereznia-buli-poshkodzheni-vsi-energobloki-50405109.html/> (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

3. “*Znyshcheno vsi bloky*” : *duzhe pohani novyny po naibilshii v Ukraini TES* [“All units destroyed” : very bad news about Ukraine's largest thermal power plant]. URL: <https://kyiv.ukrainianwall.com/uk/124681-znishcheno-vsi-bloki-duzhe-pogani-novini-po-naybilshiy-v-ukrajini-tes/> (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

4. *Burshtynska TES* [Burshtyn TPP]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%80%D1%88%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%A2%D0%95%D0%A1/ (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

5. *DTEK Luhanska TES perebuvaie pid postiynymy obstrilamy* [DTEK Luhanska TPP is under constant shelling]. URL: <https://dtek.com/media-center/news/dtek-luganska-tes-perebuvae-pid-postiynimi-obstrilam/> (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

6. *Vuhlehirska TES* [Vuhlehirska TPP]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вуглегірська_ТЕС/ (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

7. *Svyatoslav Naumychev, pratsivnyk Zaporizkoi AES: “Tse viina ne za terytoriiu, a za te, yakym svit bude nadali”* [Svyatoslav Naumychev, employee of Zaporizhzhya NPP: “This is not a war for territory, but for what the world will be like in the future”]. URL: <https://energoatom.com.ua/> (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

8. *Naslidky vid pidryvu rosiieiu hrebli Kakhovskoi HES* [Consequences of Russia's blowing up of the Kakhovka hydroelectric dam]. URL: <https://mepr.gov.ua/> (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

9. *Vnaslidok ataky RF po DniproHES dovkilliu zavdano zbytkiv na ponad 140 mln hryven – R. Strilets* [Russian attack on Dnipro hydroelectric power station caused more than UAH 140 million in environmental damage – R. Strelets]. URL: <https://suspilne.media/715240-vnaslidok-ataki-rf-po-dniproges-dovkilliu-zavdano-zbitkiv-na-ponad-140-mln-griven-strilec> (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

10. *Zelenskyi – pislia Stavky: Tsiiei nochi tsiliamy voroha buli Kanivska ta Dnistrovska HES* [Zelenskyy – after the Stavka: Last night, the enemy targeted Kaniv and Dniester HPPs]. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3846245-zelenskij-pisla-stavki-ciei-noci-cilami-voroga-buli-kanivska-ta-dnistrovska-ges.html/> (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

11. Pylypenko O.V., Klymenko H.O. and Drakina K.M. *Osnovy vykorystannia radionuklidiv* [Fundamentals of radionuclides use]. *Bezpeka zhyttiediialnosti v XXI stolitti* [Life Safety in the 21st Century : Intern. sc.-pract. conf.]. Dnipro, 17–18 Nov. 2022, pp. 51–54. (in Ukrainian).

12. Pylypenko O.V., Sankov P.M., Dziuban O.V., Papirnyk R.B. and Tkach N.O. *Osoblyvosti orhanizatsii radiatsiinoho kontroliu na ob'ektakh yaderno-palyvnoho kompleksu Ukrainy* [Peculiarities of radiation monitoring at nuclear fuel facilities of Ukraine]. Tokyo, Japan : Otsuki Press, 2022, pp. 196–206 p. (in Ukrainian).

13. Pylypenko O.V. and Marynchenko O.I. *Zasoby ta metody vyavlennia radiatsii pry avariakh na atomnykh stantsiakh. Problemy harantuvannia bezpeky liudyny v umovakh suchasnykh vyklykiv* [Means and methods of radiation detection in case of accidents at nuclear power plants. Problems of ensuring human safety in the context of modern challenges : Intern. sc.-pract. conf.]. Lutsk, 23–24 March 2023, pp. 27–30. (in Ukrainian).

14. *Dyversyfikatsiia palyva dlia reaktoriv VVER* [Fuel diversification for VVER reactors]. URL: <https://ukrns.org/publications/dyversyfikacziya-palyva-dlya-reaktoriv-vver/> (date of application: 03.30.2024). (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 02.04.2024.