

Ризик безпрецедентної ядерної катастрофи, якщо Росія продовжить атаки на енергосистему України

Аналіз Грінпіс Центральної та Східної Європи

2 жовтня 2024 року

Автори:

Експерти з ядерних питань українського представництва Грінпіс: Ян Ванде Путте (Jan.Vande.Putte@greenpeace.org); Шон Берні (sburnie@greenpeace.org)

Вступ

Криза у сфері ядерної та фізичної ядерної безпеки в Україні вступає в унікальну за рівнем небезпеки фазу. Російські військові завдали ударів по енергетичній інфраструктурі України, зокрема по її генеруючих потужностях та електричних підстанціях. Як наслідок, зараз національна енергосистема України пошкоджена і ослаблена до безпрецедентного рівня. Минуло вже два з половиною роки з моменту повномасштабного вторгнення Росії, під час якої в лютому 2022 року відбулася окупація Чорнобиля, а у березні 2022 року – напад на Запорізьку атомну електростанцію (ЗАЕС) окупацію шести реакторів на якій триває й домі, той важко уявити, що ще має статись, щоб енергетична криза поглибилась. Однак внаслідок війни Росії проти України вся програма безпеки українського парку ядерних реакторів – загалом 15 одиниць – і постачання електроенергії по всій країні опинилися під підвищеним ризиком потенційно катастрофічного збою. Об'єктом найбільшого ризику є населення і навколишнє середовище України, але серйозного впливу також може зазнати значна частина Європи й інші території.

У цьому аналізі ми спробували пояснити, які ризики може становити війна для операційної ядерної безпеки, і показати можливі жахливі наслідки подальших атак росіян на рештки української електроенергетичної системи.

Останні події, що підвищили ядерні ризики в Україні

Хоча шість запорізьких реакторів, які опинились під окупацією російських військових, залишаються на волосок від прірви з точки зору безпеки, вони принаймні перебувають у стані холодної зупинки. Таким чином, навіть за умови втрати електричної енергії та функції охолодження, пройде кілька тижнів, перш ніж можна буде передбачити викид радіоактивних матеріалів. Однак цього не можна сказати про дев'ять українських реакторів, які продовжують працювати на Рівненській, Хмельницькій та Південно-Українській АЕС. Ці реактори наразі є основним джерелом електроенергії в Україні, оскільки російські військові атаки вивели з ладу більшу частину неядерних генеруючих

потужностей України, які традиційно допомагають підтримувати стабільність в енергосистемі¹.

У своїх нещодавніх зверненнях Президент та Міністр закордонних справ України підняли питання про плани Росії щодо подальшого наступу на українську електроенергетичну інфраструктуру, зокрема, на електричні підстанції та розподільчі пристрої ядерних реакторів². Підстанції, які слугують для передачі електроенергії, також є життєво важливими для підтримання функціонування української енергетичної мережі та роботи українських ядерних реакторів.

Після повномасштабного вторгнення Росії в лютому 2022 року енергетична інфраструктура України неодноразово ставала мішенню атак, що іноді призводило до втрати зовнішніх джерел енергопостачання (LOOP) атомних електростанцій (АЕС), зокрема 22 листопада 2022 року³. Протягом 2022-2023 років близько половини потужностей з виробництва електроенергії в Україні було втрачено або через окупацію російськими військами, або через руйнацію чи пошкодження, а приблизно половину великих мережевих підстанцій пошкодили ракети та безпілотні літальні апарати⁴. Примітно, що українська електромережа залишилася працездатною і все ще достатньо міцною, щоб подолати серйозні наслідки. Відтак вдалося швидко відновити з'єднання з атомними електростанціями, які втратили зв'язок з мережею, і в мережі було достатньо потужності для виробництва електроенергії, щоб перезапустити зупинені реактори. Однак ескалація російських атак з березня 2024 року призвела до того, що до кінця літа 2024 року 95 % теплових електростанцій України були зруйновані або серйозно пошкоджені⁵. Атака Росії на українську енергосистему 26 серпня 2024 року призвела до того, що чотири реактори

1 УКРІНФОРМ «Україна веде переговори з МАГАТЕ про розширення моніторингової місії на електropідстанції», 22 вересня 2024 року, див. <https://www.ukrinform.net/rubric-economy/3908359-no-blackout-schedules-to-be-applied-in-ukraine-on-monday-energy-ministry.html>

2 Офіс Президента України «Не може бути справедливого миру без України» – Виступ Президента на Генеральній Асамблеї ООН, 25 вересня 2024 року, див. <https://www.president.gov.ua/en/news/ne-mozhe-buti-spravedlivogo-miru-bez-ukrayini-vistup-prezide-93493>; та УКРІНФОРМ «Росія готує удари по критично важливих об'єктах ядерної енергетики України» - МЗС, 23 вересня 2024 року, див. <https://www.ukrinform.net/rubric-ato/3908093-russia-preparing-strikes-on-ukraines-critical-nuclear-energy-facilities-mfa.html>

3 Атак росіян 23 листопада призвела до зниження частоти в мережі, що автоматично відключило від мережі реактори Рівненської, Южно-Української та Хмельницької атомних електростанцій, див. заяву пані Марти Жикової, голови ENSREG, за підсумками 51-го засідання Групи 24 листопада 2022 року, див. www.ensreg.eu/sites/default/files/attachments/chairs_statement_ensreg_51.pdf. Реактори на Рівненській, Южно-Українській та Хмельницькій АЕС залишаються в проектному режимі або під побутовим навантаженням, не виробляючи електроенергію для мережі, але підтримуючи її на рівні, достатньому для живлення майданчика. Електропостачання реакторів Запорізької АЕС також було припинено, і станція працювала на аварійних дизель-генераторах, див. Держатомрегулювання «Ситуація на атомних електростанціях України станом на 23 листопада 2022 року, 22:20», див. <https://snriu.gov.ua/news/sytuatsiia-na-ukrainskykh-aes>.

4 Міжнародне енергетичне агентство «Енергетична безпека України та майбутня зима. Енергетичний план дій для України та її партнерів», вересень 2024 року, див. <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter>

відключились від мережі, а отже, працювали виключно на внутрішніх джерелах енергії. Якщо атаки росіян на енергосистему України триватимуть і надалі, цієї зими очікуватимуться більш серйозні наслідки з точки зору енергопостачання по всій Україні.

Поточний стан електроенергетичної системи України

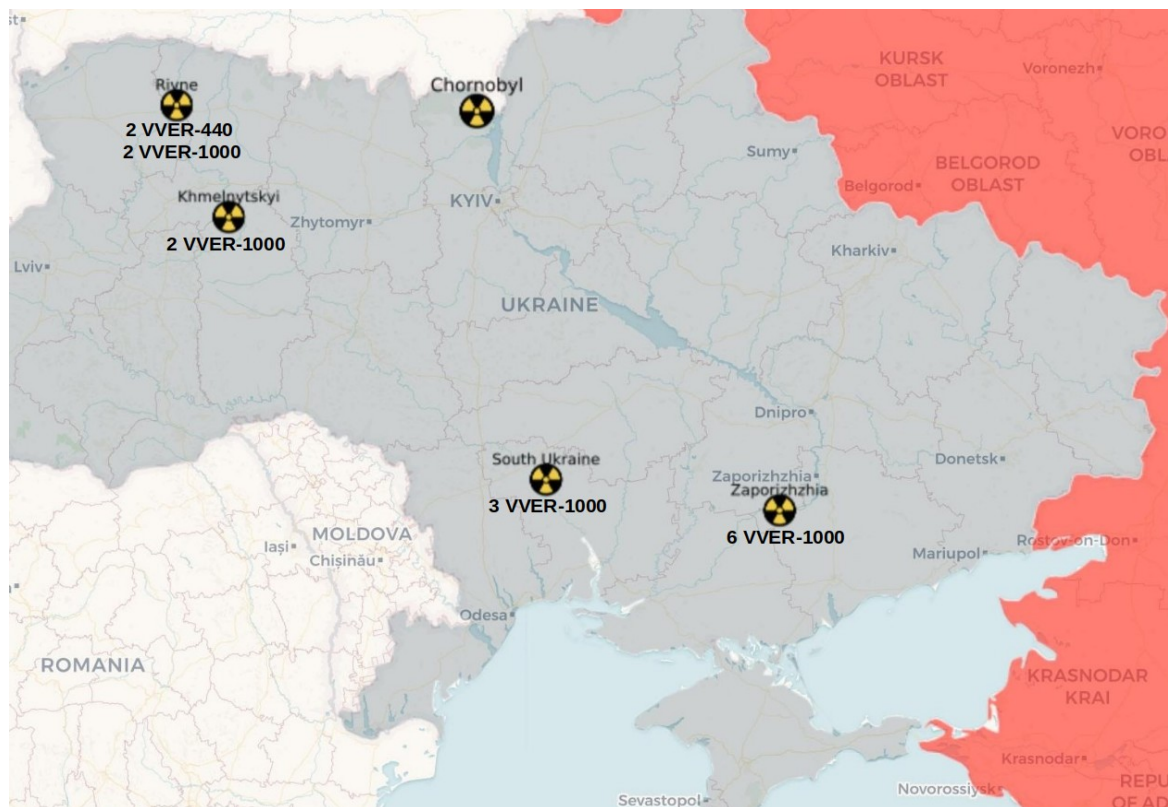
Наразі Україна виробляє електроенергію на дев'яти ядерних реакторах, чотири з яких розташовані на Рівненській атомній електростанції, поблизу Вараша, Рівненська область, дві – на Хмельницькій атомній електростанції, Хмельницька область і три – на Южно-Українській атомній електростанції в Миколаївській області. Їхня загальна потужність становить 7,8 ГВт⁶. Шість реакторів Запорізької атомної електростанції (ЗАЕС) загальною потужністю 6 ГВт не працюють от уже два роки, з моменту нападу на станцію та її окупації збройними силами Росії та російською державною ядерною корпорацією «Росатом» у березні 2024 року. До 2024 року Росія зруйнувала 90 відсотків теплових електростанцій і 40 відсотків гідроелектростанцій⁷. Лівову частку електроенергії в Україні наразі виробляють три діючі українські атомні електростанції⁸.

5 Ірина Дороніна, Марі-Луїза, Марсело Гальєгіос, Василь Доронін, Адрієнн Грет-Регамей, Тобіас С. Шмідт та Флоріан Еглі «Чому відновлювані джерела енергії повинні бути в центрі відновлення електроенергетичної системи України», Технічний університет Мюнхена, 20 вересня 2024 року, див. <https://www.tum.de/en/news-and-events/all-news/press-releases/details/how-ukraine-can-rebuild-its-energy-system>

6 WNISR «Звіт про ядерний стан у світі за 2024 рік», Майкл Шнайдер та ін., вересень 2024 року, див. <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2024-v1.pdf>

7 Forbes Україна «МАГАТЕ вперше проведе моніторинг ключових українських підстанцій», Анастасія Дейна, 13 вересня 2024 року, див. <https://forbes.ua/company/magate-vpershe-bude-monitoriti-ukrainski-klyuchovi-pidstantsii-chi-zakhistit-tse-ikh-vid-obstriliv-rf-a-krainu-vid-totalnogo-blekautu-13092024-23608>

8 Катерина Годунова «Росія знищила всі теплові електростанції та майже всі гідроенергетичні потужності в Україні напередодні зими – Зеленський», Kyiv Independent, 25 вересня 2024 року, див. <https://kyivindependent.com/russia-destroys-all-thermal-power-plants-nearly-all-hydroelectric-capacity-in-ukraine-ahead-of-winter-zelensky-says/#:~:text=According%20to%20the%20Energy%20Ministry%2C%20nuclear%20generation%20currently%20accounts%20for,Russian%20occupation%20since%20March%202022>



На [інтерактивній мапі](#) відображено серйозні небезпеки на атомних станціях України, спричинені вторгненням росіян, Грінпіс Інтернешнл 2022-2024 рр.

Влітку 2024 року Україна опинилась в умовах жорсткого дефіциту електроенергії, коли потужність генерації впала на 2,3 ГВт нижче пікового попиту в 12 ГВт, і це незважаючи на імпорт електроенергії від західних сусідів України⁹. «Укренерго», державний оператор системи передачі електроенергії (ОСП) України, вирішував проблему дефіциту за допомогою різних надзвичайних заходів – віялових відключень чи обмеження постачання електроенергії в найбільш постраждалих регіонах до кількох годин на добу.

⁹ Міжнародне енергетичне агентство «Енергетична безпека України та майбутня зима: енергетичний план дій для України та її партнерів», вересень 2024 року, див. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cec49dc2-7d04-442f-92aa-54c18e6f51d6/UkrainesEnergySecurityandtheComingWinter.pdf>



Перша місія МАГАТЕ в Україні на електричні підстанції відбулася 12 вересня. Фото: [НАЕК «Енергоатом»](#)

Атаки росіян на електричні підстанції України не є чимось новим. У жовтні 2022 року ракетні удари росіян по підстанціях призвели до планових відключень навантаження (віялових відключень) національним оператор системи передачі електроенергії (ОСП) «Укренерго»¹⁰. Руйнування та пошкодження підстанцій унеможливили розподіл та передачу енергії споживачам. Завдяки роботі «Укренерго» та іноземній допомозі багато підстанцій вдалося відновити. Це дозволило Україні пройти зиму 2023-2024 року без значних перебоїв в роботі енергосистеми [2]. Крім того, «Укренерго» убезпечило понад 100 підстанцій фізичним посиленням захисту від безпілотників та уламків.

Хронологія російських атак на енергосистему України та місій МАГАТЕ

23 жовтня 2022 року – Масована ракетна атака росіян призвела до зниження частоти в енергосистемі України. Реактори на Рівненській, Южно-Українській та Хмельницькій АЕС залишалися в проектному режимі або під власним навантаженням, не виробляючи електроенергію для мережі, але підтримуючи її на рівні, достатньому для живлення майданчика. Електропостачання Запорізьких реакторів також було припинено, і станція працювала на аварійних дизель-генераторах.

22 березня 2024 року – Росія розпочала найбільшу атаку на українську енергосистему. Тодішній генеральний директор «Укренерго» Володимир Кудрицький назвав атаку на енергосистему «найбільшою з початку повномасштабної війни». Атака характеризувалася використанням комбінованих систем озброєння. Під ударами опинилися теплові та гідроелектростанції у різних регіонах України, а також основні підстанції, які перебувають у віданні «Укренерго».

26 серпня 2024 року – Росія випустила понад 200 ракет і безпілотників по Україні, поціливши енергетичну інфраструктуру, зокрема електростанції в Харківській, Одеській, Вінницькій, Житомирській, Рівненській, Львівській та Івано-Франківській областях. Близько 8 мільйонів домогосподарств були

¹⁰ Форум Енергії, Україна в темряві: Запобігання найгіршому сценарію для її енергетичної системи, 1 липня 2024 року, див. <https://www.forum-enerгии.eu/en/ukraine-destroyed-system>

екстрено знеструмлені; столиця, Київ, пережила перше незаплановане відключення електроенергії з листопада 2022 року.

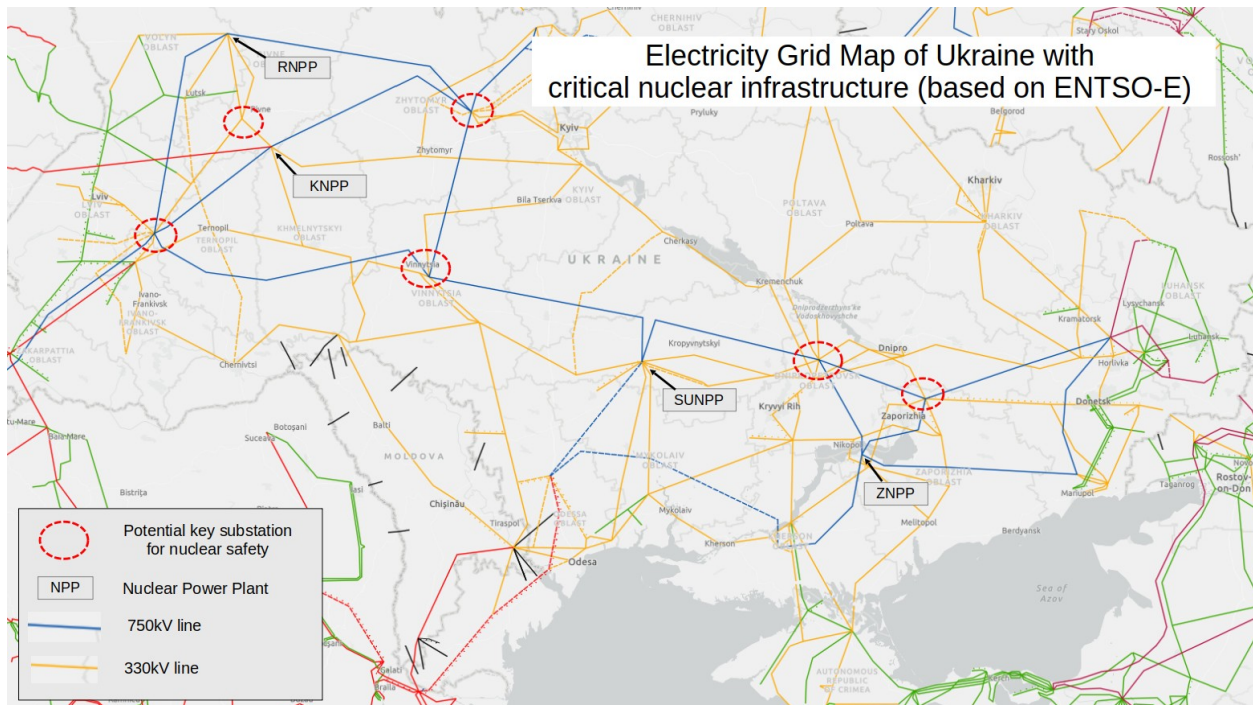
[26 серпня 2024 року](#) – Сьогодні, 26 серпня, Президент України Володимир Зеленський провів засідання Ставки Верховного Головнокомандувача. «Засідання Ставки Верховного Головнокомандувача. Відновлення енергетичної інфраструктури після однієї з найбільших атак росіян. Щонайменше 127 ракет та 109 безпілотників», – написав Президент. Під час засідання з доповідями виступили командувач Повітряних Сил Збройних Сил України Микола Олещук, міністр внутрішніх справ Ігор Клименко, міністр енергетики Герман Галущенко та голова правління НЕК «Укренерго» Володимир Кудрицький.

[28 серпня 2024 року](#) – Повідомлення Уряду України, адресоване МАГАТЕ, INFCIRC 1242: «26 серпня 2024 року Російська Федерація здійснила масовану атаку ракетами та безпілотниками на об'єкти критичної інфраструктури та енергетичного сектору України з метою паралізувати роботу енергогенеруючих потужностей України. Внаслідок атаки о 08:58 (за східним часом) було відключено від мережі енергоблоки № 1, 3 та 4 Рівненської атомної електростанції. О 09:05 (за східним часом) потужність енергоблоків Южно-Української АЕС була знижена до сумарного рівня 1800 МВт. Через коливання в об'єднаній енергосистемі, спричинені атакою Росії, о 17:10 (за східним часом) енергоблок № 3 Южно-Української АЕС було відключено від енергомережі. Російська Федерація продовжує цілеспрямовано атакувати енергетичну інфраструктуру України, маючи намір вивести з ладу атомні електростанції країни, які забезпечують лівову частку електроенергії в Україні. Атаки росіян створюють значний ризик для стабільної роботи ядерних об'єктів в Україні та безпеки мільйонів людей».

[3 вересня 2024 року](#) – Під час зустрічі Президента України Володимира Зеленського з Генеральним директором Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) Рафаелем Маріано Гроссі 3 вересня 2024 року було досягнуто домовленості про розширення місії МАГАТЕ на електричні підстанції. Президент також поінформував співрозмовника про наслідки масованих атак росіян на енергетичну інфраструктуру України з використанням балістичних та крилатих ракет, а також безпілотників-камікадзе, які призвели до тимчасового відключення енергоблоків АЕС від енергомережі та зниження їхньої потужності. «Обстріли об'єктів критичної інфраструктури з боку Російської Федерації є найбільшою загрозою для безпечної роботи атомних електростанцій в Україні. Від цього страждають насамперед прості люди», – наголосив Глава держави.

[6 вересня 2024 року](#) – Олег Коріков, головний державний інспектор з ядерної та радіаційної безпеки України Державної інспекції ядерного регулювання України (Держатомрегулювання), повідомив, що МАГАТЕ розширить свою присутність в Україні, щоб контролювати також електричні підстанції, важливі для безпеки АЕС.

[12 вересня 2024 року](#) – Моніторинговий персонал МАГАТЕ відвідав одну з електричних підстанцій в Україні, яка зазнала значних пошкоджень внаслідок ракетних обстрілів росіянами. Представники НАЕК «Енергоатом», НЕК «Укренерго», Держатомрегулювання та МАГАТЕ здійснили виїзд на об'єкт та інспекцію, задокументували пошкодження, яких зазнав об'єкт внаслідок ракетних обстрілів, обговорили вплив цих пошкоджень та втрат на безпеку атомних електростанцій в Україні та підготували технічний звіт Генеральному директору МАГАТЕ.



Це знімок екрану детальної [мапи](#) енергосистеми України, яка доступна на сайті європейської мережі операторів енергосистем ENTSO-E¹¹. На цю мапу додали розташування чотирьох атомних електростанцій: Рівненської (РАЕС, 2 реактори ВВЕР-440, 2 реактори ВВЕР-1000), Хмельницької (ХАЕС, 2 реактори ВВЕР-1000) та Южно-Української (ЮУАЕС, 3 реактори ВВЕР-1000), які все ще виробляють електроенергію, а також Запорізької (ЗАЕС, 6 реакторів ВВЕР-1000), яка була окупована російськими збройними силами 4 березня 2022 року і зупинена з вересня 2022 року. Шість ключових підстанцій, позначених на карті, є найбільш критичними за оцінкою ядерних експертів Грінпіс Центральної та Східної Європи, з огляду на їх визначальне підключення до мережі 750 кВ.

Ймовірність безпрецедентної ядерної катастрофи в Україні

Ризики відключення станції (SBO)

Коли атомна електростанція втрачає електроенергію з мережі, відбувається так звана «Втрата зовнішніх джерел енергопостачання» (LOOP). Електростанція повертається до трьох основних джерел живлення для підтримки критично важливих систем безпеки: акумуляторів, резервних дизель-генераторів і можливості відключити один реактор на станції, щоб утримати навантаження. Акумулятори можуть постачати електроенергію негайно, але лише протягом короткого періоду часу. Дизель-генератори мають запас палива на майданчику, достатній для роботи протягом приблизно десяти днів, але їхня

¹¹ Карта системи передачі ENTSO-E, див. <https://www.entsoe.eu/data/map/>

безперервна робота протягом такого тривалого періоду часу може бути проблематичною, навіть за наявності резервних генераторів. Перехід на власне навантаження – це процедура зниження потужності одного реактора на станції приблизно до 10 %, при цьому обсягу вироблення електроенергії буде достатньо для забезпечення потреб систем безпеки всієї станції в електроенергії. Однак досвід показав, що це делікатна процедура, яку не завжди вдається провести успішно¹². Якщо все електропостачання припиниться, як за межами майданчика (LOOP), так і на майданчику, то станція перейде в режим відключення (SBO). На діючій атомній електростанції це може призвести до закипання охолоджуючої води в корпусі реактора за лічені години, що призведе до пошкодження активної зони і викиду радіації в захисному корпусі реактора і далі в навколишнє середовище через надлишковий тиск в захисному корпусі реактора.

Навіть якщо конструкція атомних електростанцій дозволяє справлятися з LOOP за рахунок виробництва електроенергії на майданчику, LOOP є серйозним інцидентом і розглядається як передвісник SBO¹³. За нормальних умов експлуатації АЕС ризик SBO є основним фактором, що призводить до пошкодження активної зони реактора на АЕС¹⁴. Ядерна катастрофа 2011 року на АЕС «Фукусіма-Дайічі» та наступні стрес-тести АЕС по всьому світу також підкреслили центральну важливість надійного електропостачання атомної станції. І навіть несправності в електромережі на значній відстані від АЕС можуть стати причиною зупинки реактора або втрати зовнішніх джерел енергопостачання¹⁵.

Table 3.2 Summary of core damage frequency results: Surry.*

	5%	Median	Mean	95%
Internal Events	6.8E-6	2.3E-5	4.0E-5	1.3E-4
Station Blackout				
Short Term	1.1E-7	1.7E-6	5.4E-6	2.3E-5
Long Term	6.1E-7	8.2E-6	2.2E-5	9.5E-5
ATWS	3.2E-8	4.2E-7	1.6E-6	5.9E-6
Transient	7.2E-8	6.9E-7	2.0E-6	6.0E-6
LOCA	1.2E-6	3.8E-6	6.0E-6	1.6E-5
Interfacing LOCA	3.8E-11	4.9E-8	1.6E-6	5.3E-6
SGTR	1.2E-7	7.4E-7	1.8E-6	6.0E-6
External Events**				
Seismic (LLNL)	3.9E-7	1.5E-5	1.2E-4	4.4E-4
Seismic (EPRI)	3.0E-7	6.1E-6	2.5E-5	1.0E-4
Fire	5.4E-7	8.3E-6	1.1E-5	3.8E-5

*As discussed in Reference 3.4, core damage frequencies below 1E-5 per reactor year should be viewed with caution because of the remaining uncertainties in PRA (e.g., events not considered).

**See "Externally Initiated Accident Sequences" in Section 3.2.1.2 for discussion.

12 Див., наприклад, інцидент на атомній електростанції «Форсмарк» у 2006 році: МАГАТЕ «Надійність електромереж та взаємодія з атомними електростанціями», 2012 рік, див.

https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf

13 МАГАТЕ «Надійність електромереж та взаємодія з атомними електростанціями», 2012 рік, див.

https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf

14 NRC, NUREG-1150 частина 3 для внутрішніх подій:

15 МАГАТЕ, 2012 рік.

Діюча атомна електростанція потребує значних обсягів енергії для підтримки охолодження нагрітого палива в басейнах витримки і залишкового тепла в активній зоні реактора після зупинки реактора. Без роботи насосів циркуляції води охолоджуюча вода в активній зоні реактора закипить за лічені години, що призведе до пошкодження активної зони, включаючи розплавлення палива. Відразу після зупинки реактора його теплова потужність все ще становить близько 6,5 %, а через годину – близько 1,5 %¹⁶. Хоча цей показник виглядає низьким, теплова потужність реактора ВВЕР-1000 становить близько 3000 МВт, тож 1,5 відсотка – це все ще величезні 45 000 кВт, або близько 22 000 типових електричних чайників, які використовуються на домашній кухні. Сім українських реакторів, які виробляють електроенергію, мають конструкцію ВВЕР-1000, а два – ВВЕР-440. Повне електричне навантаження допоміжних установок атомної електростанції зазвичай становить 5-8 відсотків від номінального навантаження атомної електростанції¹⁷. Таким чином, для реактора типу ВВЕР-1000 ми можемо оцінити потреби на рівні приблизно 50 МВт.

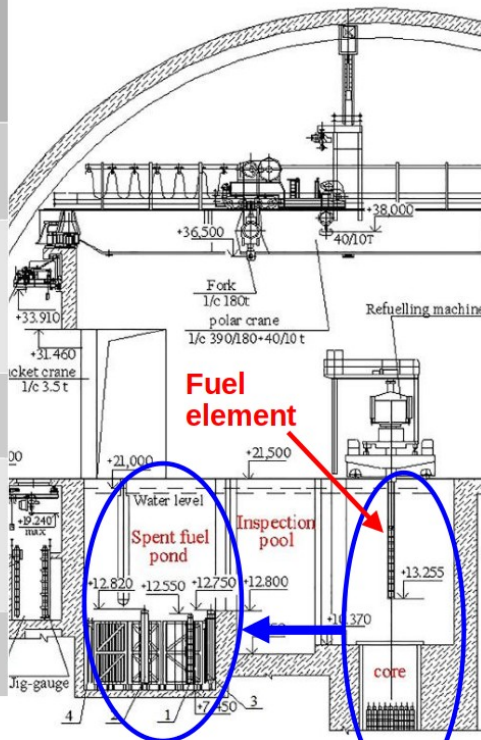
Через подальший розпад радіоактивності в паливі реактора тепло знижується в геометричній прогресії. Отже, наслідки SBO для Запорізької АЕС, де останній реактор було зупинено у вересні 2022 року, дуже відрізняються від наслідків для трьох інших АЕС в Україні, де загалом продовжують працювати сім реакторів. Ці відмінності стисло викладено на ілюстрації нижче:

16 МАГАТЕ «Надійність електромереж та взаємодія з атомними електростанціями», 2012 рік: див. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf

17 МАГАТЕ, 2012 рік.

Operational VVER-1000 reactor vs reactor 2 years in shutdown: time without cooling before meltdown of the fuel

2 years shut down (Zaporizhzhia NPP since Sept. 2022)	Operational (e.g. South Ukraine NPP or re-start of ZNPP)
Several weeks before meltdown	hours before meltdown
Russian occupation (restart possible)	Many steps where UA operator can intervene to stop nuclear disaster
Not enough staff	Normal operation
Risk of deliberate sabotage to release radioactivity	Risk of Russian attack e.g. on electricity supply of NPP
No iodine-131 unless restart by Rosatom	Iodine-131 and other short-living isotopes



У випадку з Запорізькою АЕС і протягом більш тривалого часу, ближче до декількох тижнів, і в залежності від вигорання палива і часу, що минув з моменту вивантаження з реактора, відпрацьоване паливо у водоймі-охолоджувачі буде нагріватися і випаровувати воду, що його охолоджує. З іншого боку, відпрацьоване паливо, нещодавно вивантажене з реактора, набагато гарячіше і в разі втрати охолодження почне швидко нагрівати воду в басейні. Після того, як рівень води опуститься нижче верхньої межі палива, воно потрапить під вплив повітря, що супроводжуватиметься займанням так званої цирконієвої пожежі, яка вивільняє ще більшу кількість радіації, ніж активна зона реактора. Ці ризики були більш детально пояснені на брифінгу Грінпіс Інтернешнл у березні 2022 року¹⁸.

Основні труднощі з відновленням після аварійного відключення електроенергії (запуск електростанції з нуля)

Запуск електростанції з нуля (або відновлення після аварійного відключення) – це складний процес перезапуску електроенергетичної системи після аварійного відключення.

¹⁸ Грінпіс Інтернешнл, «Вразливість атомних електростанцій під час військового конфлікту: досвід подолання наслідків аварії на АЕС «Фукусіма Дайїчі» в контексті ситуації, що склалась у Запоріжжі, Україна, 2 березня 2022 року, див. www.greenpeace.org/static/planet4-international-stateless/2022/03/6805cdd2-nuclear-power-plant-vulnerability-during-military-conflict-ukraine-technical-briefi

Цей процес координується ОСП «Укренерго» і вимагає наявності достатньої кількості електростанцій з можливістю запуску електростанції з нуля, таких як дизель-генератори, акумуляторні системи накопичення енергії (BESS), гідроелектростанції, теплові електростанції та гідропоруди. BESS можна комбінувати з відновлюваними джерелами енергії змінної потужності, такими як вітрові та сонячні електростанції.

Атомні електростанції не здатні до запуску з нуля і, відтак, їх робота залежить від цих інших джерел¹⁹. Це особливо проблематично в умовах, що склалися в Україні, оскільки більшість потужностей гідроенергетики та викопних джерел енергії були виведені з ладу внаслідок російської агресії, а Україна (поки що) не має значних потужностей BESS.

Потенційні радіологічні наслідки аварійного відключення станції

Ядерна безпека є складною і багатогранною темою. Вона вимагає не лише стабільної загальнонаціональної системи електропостачання за межами майданчика, але й наявності достатньої кількості компетентного персоналу на майданчику і загальнонаціональної логістики поставок, наприклад, палива для дизель-генераторів або важкого обладнання на випадок надзвичайної ситуації. Ядерна криза 2011 року на АЕС «Фукусіма-Дайічі» продемонструвала масштабну логістичну операцію в Японії в розпал відключення електроенергії та наслідків землетрусу магнітудою 9,0 балів і цунамі, що стався 11 березня.

Відключення електроенергії на загальнонаціональному рівні в Україні призвело би до каскаду пов'язаних між собою викликів. Буде складно забезпечити достатнє постачання електроенергії на три діючі атомні електростанції, що перебувають під контролем України. Проблема підтримки виробництва електроенергії на електростанціях після аварійного вимкнення, а також загальна соціальна дезорганізація в такій ситуації також вплинула б на персонал. Зрозуміло, що це далеко виходить за рамки проектної основи роботи атомної електростанції, а відтак неможливо оцінити, у який спосіб ці різні компоненти системно взаємодіють між собою.

Загальнонаціональне відключення електромережі може вплинути на всі чотири атомні електростанції, що ще більше ускладнить управління реагуванням на надзвичайні ситуації.

Вважаємо за необхідне повторити, що ситуація, яка склалася в Україні, перебуває на межі ядерної кризи безпрецедентних масштабів в історії ядерної енергетики.

На попередніх брифінгах Грінпіс проаналізував потенційні радіологічні ризики, що існують як на зупинених, так і на діючих реакторах²⁰. Необхідно розрізняти реактори, які зупинені вже щонайменше два роки, зокрема на ЗАЕС, і сім діючих реакторів. Ми також повинні

19 МАГАТЕ «Надійність електромереж та взаємодія з атомними електростанціями», 2012 рік: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf

розрізняти басейни витримки відпрацьованого ядерного палива і активні зони реакторів. Нижче наводимо короткий виклад основних моментів:

- Кожна реакторна будівля має як активну зону реактора, так і приреакторний басейн витримки відпрацьованого ядерного палива (див. ілюстрацію вище для реактора типу ВВЕР-1000). Іншими словами, загалом на 15 реакторах, окрім інших установок, є 30 великих джерел високорадіоактивного ядерного палива.
- Кожен басейн витримки відпрацьованого ядерного палива може містити кількість радіоактивності (на додаток до короткоживучих ізотопів), яка в кілька разів перевищує кількість радіоактивності в активній зоні реактора. Це особливо актуально для радіоактивного ізотопу, цезію.
- Викид радіоактивного цезію з одного басейну витримки може бути в 100 разів більшим, ніж викид на атомній електростанції «Фукусіма-Дайічі» у 2011 році, і до 10 разів більшим, ніж після Чорнобильської катастрофи 1986 року. На трьох діючих атомних електростанціях є дев'ять басейнів витримки відпрацьованого ядерного палива, які перебувають під безпосереднім ризиком, а також шість басейнів, які можуть опинитися під загрозою протягом декількох тижнів.
- Оскільки українські атомні електростанції не мають виходу до моря, більша частина радіоактивного забруднення буде осідати на суші (і в річкових системах, таких як Дніпро або Буг), тоді як на «Фукусіма-Дайічі» близько 80 відсотків було викинуто в Тихий океан або осіло там.
- В разі аварії на одному ядерному реакторі моделювання руху атмосферного повітря та опадів демонструє, що найвищим ризик високого рівня забруднення (>1000 кБк/м² Cs-137, що вимагає переселення) буде в радіусі кількох сотень кілометрів, тобто переважно в самій Україні, а також у сусідніх країнах. За нижчого рівня забруднення, який все одно потребуватиме вжиття захисних заходів ($128-1000$ кБк/м² Cs-137), воно охопить всю європейську територію. Це моделі розвитку подій в разі аварії на одному реакторі.
- Загальнодоступних моделей, які би продемонстрували радіологічні викиди і розсіювання радіації з декількох ядерних реакторів на декількох атомних електростанціях, не існує.

Важко уявити собі гірший сценарій, ніж ситуація в Україні. В Україні є 30 великих джерел радіоактивності, кожне з яких може призвести до радіологічних наслідків, що перевищують загальний викид на АЕС «Фукусіма-Дайічі» і його радіологічний вплив, з наслідками в масштабах європейського континенту і за його межами. В разі тривалого відключення енергосистеми існує ризик пошкодження активної зони на кількох електростанціях. На кожній електростанції можуть виникнути каскадні наслідки, за яких масштабний викид на одному реакторі здатен призвести до втрати контролю на сусідніх реакторах, що призведе до подальшого викиду радіоактивності.

20 Грінпіс Інтернешнл, березень 2022 року, та «Вразливість атомних станцій під час військового конфлікту: Южно-Українська АЕС», Грінпіс Інтернешнл, 9 березня 2022 року, див.

<https://www.greenpeace.org/static/planet4-international-stateless/2022/03/559dfc6b-nuclear-power-plants-in-military-conflict-yuzhnoukrainsk-south-ukraine-briefing.pdf>

Ризики, пов'язані з ключовими характеристиками електромережі за межами майданчика

Оскільки електромережа за межами майданчика має дуже важливе значення для безпеки АЕС, вони з'єднані кількома лініями електропередач. Наприклад, ЗАЕС має 10 з'єднань, як з 330, так і з 750 кВ. В умовах війни цих резервних потужностей виявилось недостатньо: з моменту повномасштабного вторгнення на ЗАЕС вісім разів відбувалася подія LOOP. Це називається «відмовою із загальної причини», коли одна причина (в даному випадку руйнівна агресія з боку Росії) призводить до виходу з ладу всіх мережевих з'єднань. Така загальна причина не регулюється проєктною базою атомної електростанції.

Важливе значення має не лише фізичне з'єднання, але й стабільність виробництва електроенергії. Це особливо актуально для України, де лише у 2024 році через агресію з боку Росії було втрачено 9 ГВт виробничих потужностей. Оператор мережі («Укренерго») несе відповідальність за балансування виробництва та попиту, а також за підтримання напруги та частоти у вузьких межах. Коли виникає дисбаланс між генерацією та навантаженням, частота в мережі має тенденцію до зниження внаслідок відключення великого генератора або несправності на підстанції. Коли частота занадто низька, оператор мережі спочатку запускає збільшення генерації, що доволі складно досягти в умовах, які склалися в Україні. Далі відбувається скидання навантаження шляхом відключення частини мережі, щоб знизити попит.

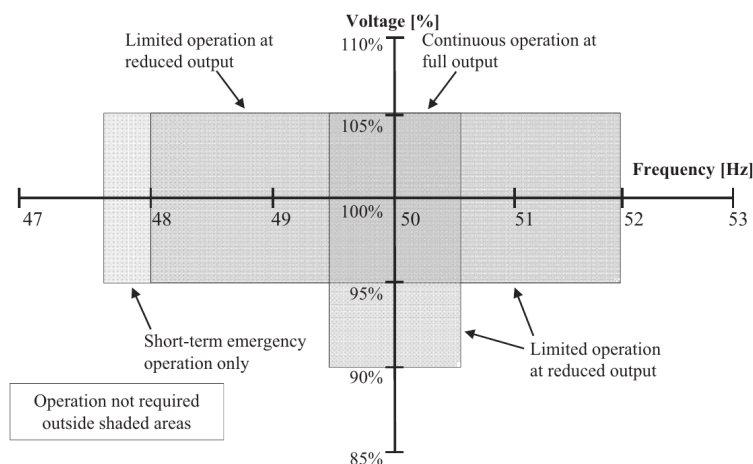


FIG. 1. Illustration of required frequency and voltage ranges for operation.

Перша проблема зі зруйнованою мережею, навіть без LOOP, полягає в тому, що насоси, які циркулюють охолоджуючу воду в ядерному реакторі, працюють лише за умови стабільної подачі електроенергії. Якщо напруга і частота мережі недостатні, робочі

двигуни не зможуть підтримувати достатній крутний момент, і електрична система їх вимкне²¹.

Другою проблемою є ризик каскадного загальносистемного відключення електроенергії на значній частині території країни.

Коли одна або кілька АЕС зупиняються, та/або в разі пошкодження чи руйнування критично важливих підстанцій внаслідок ударів російських військових, напруга і частота можуть вийти за межі допустимих значень за відсутності додаткових генеруючих потужностей. Це може призвести до відключення інших генеруючих потужностей, що призведе до каскадного відключення і знеструмлення всієї системи. Внаслідок цього, на всіх чотирьох атомних електростанціях в Україні може виникнути ситуація LOOP.

Послідовність подій, здатних призвести до пошкодження активної зони

Етап 1: руйнування мережі

- Пошкодження однієї або декількох критично важливих підстанцій
- Критичне порушення в роботі мережі, що виходить за межі критеріїв частоти або напруги
- Втрата зовнішніх джерел енергопостачання (LOOP) однією або декількома АЕС
- Відключення реактора; електроенергія на станції, необхідна для роботи систем безпеки, забезпечується дизель-генераторами, акумуляторами та/або відключенням для підтримання роботи 1 реактора на мінімальній потужності.
- Через втрату генеруючих потужностей однією або декількома атомними електростанціями, решта генеруючих потужностей в енергосистемі не може їх компенсувати, що веде до загального відключення електроенергії.

Етап 2: повторний запуск мережі неможливий (запуск електростанції з нуля)

- Неможливо здійснити запуск мережі з нуля, оскільки більшість гідроелектростанцій та електростанцій, які працюють на викопних видах палива, пошкоджені, а атомні електростанції не мають можливості запуску з нуля. Це веде до тривалого відключення електроенергії
- В дизель-генераторах закінчується паливо або вони виходять з ладу, внаслідок чого виробництво власного навантаження на АЕС припиняється
- Аварійне вимкнення (SBO) атомної електростанції, всі функції безпеки на АЕС вимикаються
- Пошкодження активної зони реактора та масштабний викид радіоактивності

21 «Стабільність енергосистеми та питання безпеки, пов'язані з атомними електростанціями», д-р Джон Х. Бікель Evergreen Safety and Reliability Technologies, LLC, 2026, див.
<http://large.stanford.edu/courses/2016/ph241/yang2/docs/bickel.pdf>

Стан ядерної безпеки в Україні

Проект жодної національної ядерної енергетичної програми у світі не дозволяє впоратися з масштабами руйнувань, які спричинила повномасштабна війна Росії на території України. Наразі жоден орган регулювання ядерної безпеки у світі не проводив аналізу безпеки с урахуванням кризи такого масштабу, яку спричинили цілеспрямовані атаки Росії в національній електроенергетичній системі України, та її вплив на безпеку атомних електростанцій.

Радіологічні наслідки можливої аварії для України, Європи та інших країн є глибокими. Три українські атомні електростанції в Рівненській, Хмельницькій області та на півдні України завантажені сотнями тон високорадіоактивного ядерного палива. На додаток до ядерного палива в дев'яти реакторах на цих майданчиках, біля кожного реактора є по одному басейну витримки відпрацьованого ядерного палива, які загалом завантажені кількома тисячами тон відпрацьованого ядерного палива, включаючи багато десятків тон нещодавно вивантажених збірок паливних елементів²². Рівень ризику і потенційні наслідки можливих множинних і каскадних відмов реакторних блоків через руйнування електромережі внаслідок ударів російських військових можна охарактеризувати не інакше як катастрофічні. Наслідки радіологічної катастрофи поширилися б далеко за межі України.

Весь аналіз ядерної безпеки для України (і всіх країн) розробляється і планується з певним резервуванням в електромережі з урахуванням так званого «стандарту N-1», який гарантує захист системи від будь-якої разової події²³.

В оцінці МАГАТЕ 2012 року щодо надійності електромереж та атомних електростанцій наводяться наступні приклади:

- Відключення одного енергоблоку (яким може бути блок на АЕС);
- Коротке замикання або замикання на землю на повітряній лінії електропередачі;

²² Ядерні реактори проходять регулярні перезавантаження, під час яких частина палива, що знаходиться в корпусі реактора, вивантажується у водойму або басейн витримки відпрацьованого ядерного палива, де воно зберігається протягом декількох років, поки охолоджується. Станом на липень 2020 року запаси відпрацьованого ядерного палива в басейнах витримки в Україні, без урахування відпрацьованого ядерного палива Чорнобильської АЕС, становили 2 339,39 тонни важких металів. Відпрацьоване паливо у сховищі мокрого типу на СВЯП-1 Чорнобильської АЕС станом на липень 2020 року становило 2396,11 тонни важких металів; див. Національну доповідь України про виконання зобов'язань за Об'єднаною конвенцією про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами, 2020 рік, див. за посиланням <https://www.iaea.org/sites/default/files/ukraine-7rm.pdf>

²³ МАГАТЕ, Надійність електромереж та взаємодія з атомними електростанціями, 2012: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf

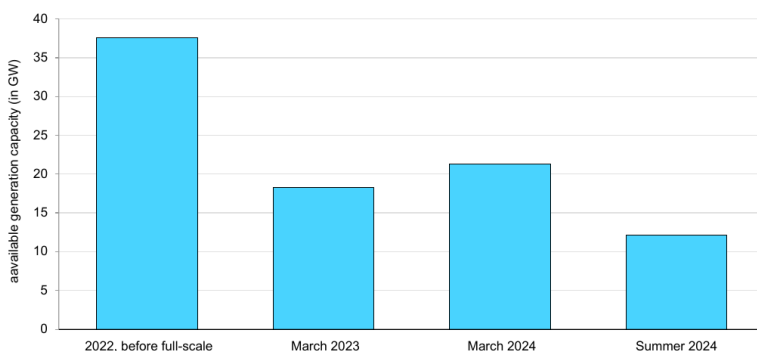
- Коротке замикання або замикання на землю в підземному кабелі електропередачі;
- Несправність на ділянці електричної шини;
- Вихід з ладу будь-якого одного мережевого трансформатора.

Система вважається захищеною від перерахованих вище подій, якщо ці події не призводять до таких наслідків, як:

- Вихід частоти за межі нормального діапазону;
- Вихід напруги за межі нормального діапазону;
- Перевантаження інших ланцюгів передачі або генераторів;
- Каскадне відключення інших ланцюгів передачі;
- Втрата синхронності (розділення мережі) між частинами мережі.

Однак до 2024 року Росія зруйнувала 90 відсотків теплових електростанцій і 40 відсотків гідроелектростанцій, а також вивела з роботи 40 відсотків ядерних потужностей України на Запорізькій АЕС²⁴. За оцінками МЕА, до літа 2024 року загальний обсяг генеруючих потужностей зменшиться вдвічі (див. ілюстрацію нижче)²⁵. Крім того, існує ризик руйнування однієї або декількох критично важливих підстанцій, необхідних для роботи трьох атомних електростанцій, що залишилися в Україні.

Estimated electricity generation capacity available to Ukraine at selected times since 2022



МЕА, вересень 2024 року

Хоча точна інформація про вразливості та стан української енергосистеми з очевидних стратегічних причин є конфіденційною, відомо, що критерії надійності, які повинні застосовуватися до роботи атомних електростанцій, зокрема критерій «N-1», не виконуються. Ще один серйозний збій в і без того вразливій електроенергетичній системі може призвести до каскадного відключення всієї системи і, відтак, на всіх 4 атомних електростанціях в Україні виникне ситуація LOOP (зокрема на ЗАЕС, яка вже зупинена, але все ще підключена до української енергосистеми).

²⁴ Forbes Україна «МАГАТЕ вперше проведе моніторинг ключових українських підстанцій», Анастасія Дейна, 13 вересня 2024 року, див. <https://forbes.ua/company/magate-vpershe-bude-monitoriti-ukrainski-klyuchovi-pidstantsii-chi-zakhistit-tse-ikh-vid-obstriliv-rf-a-krainu-vid-totalnogo-blekautu-13092024-23608>

²⁵ Міжнародне енергетичне агентство, вересень 2024 року.

Соціальні наслідки нападу Росії на енергетичну систему України

Загрозу ядерній та фізичній ядерній безпеці, яку становлять військові напади Росії, слід також розглядати в ширшому контексті їхнього впливу на населення України. Як нещодавно повідомила Моніторингова місія ООН з прав людини в Україні (ММПЛУ), «напади росіян на електроенергетичну систему України, пошкодження або руйнування численних об'єктів виробництва, передачі та розподілу електроенергії мали масштабні наслідки, завдавши шкоди цивільному населенню та системам електропостачання, водопостачання, каналізації та санітарії, опалення та гарячого водопостачання, громадському здоров'ю, освіті та економіці країни»²⁶.

Крім того, постає питання порушення принципів міжнародного права. Незалежна міжнародна слідча комісія ООН щодо України вже дійшла висновку, що атаки росіян на електроенергетичну інфраструктуру у 2022-2023 роках були широкомасштабними, систематичними та непропорційними, що становить воєнний злочин у вигляді заподіяння надмірної супутньої шкоди цивільному населенню та потенційно є злочином проти людяності²⁷.

Оскільки мільйони громадян України вже були змушені покинути свої домівки через війну, яку розв'язала Росія, «атаки на енергетичну інфраструктуру спричинили додаткове переміщення населення і непропорційно вплинули на групи, що перебувають у вразливому становищі, такі як люди похилого віку, люди з інвалідністю, домогосподарства з низьким рівнем доходів і внутрішньо переміщені особи, причому особливо постраждали жінки», - попереджає ММПЛУ. «Вразливість електромережі цієї зими зростатиме разом зі споживанням електроенергії, оскільки російські атаки продовжуватимуться. Взимку Україна зіткнеться зі значним дефіцитом електроенергії, а щоденні відключення електроенергії в холодні місяці залишать цивільне населення без електрики, необхідної для опалення будинків, роботи водяних насосів і онлайн-навчання дітей».

Навіть без ядерної катастрофи умови життя населення України цієї зими можуть бути складними з точки зору тривалих відключень електроенергії та відсутності опалення. В умовах війни українські урядові органи, енергетичні компанії, гуманітарні та відновлювальні організації докладають величезних зусиль для пом'якшення наслідків, щоб запобігти гуманітарній кризі цієї зими²⁸. Неможливо передбачити всі наслідки

26 УВКПЛ «Напади на енергетичну інфраструктуру України: шкода, заподіяна цивільному населенню», Моніторингова місія ООН з прав людини в Україні, вересень 2024 року, див.

<https://ukraine.ohchr.org/sites/default/files/2024-09/ENG%20Attacks%20on%20Ukraine's%20Energy%20Infrastructure-%20%20Harm%20to%20the%20Civilian%20Population.pdf>

27 Доповідь Незалежної міжнародної комісії з розслідування щодо України, А/НRC/52/62 (далі – А/НRC/52/62), 16 березня 2023 року, доступна за посиланням: <https://www.ohchr.org/en/hr-bodies/hrc/iicihr-ukraine/index>

28 УВКПЛ, 2024 рік.

подальших російських атак, які призведуть до подальшої втрати пропускну здатності енергосистеми і знеструмлення всієї країни, потім до потенційної каскадної кризи на багатореакторних енергоблоках і на кількох атомних станціях, і, нарешті, до потенційних великих радіологічних викидів. Окрім сценаріїв ядерної війни та наслідків застосування ядерної зброї, це безпрецедентна жахлива реальність, в якій живе народ України. Найгірших сценаріїв можна уникнути, але вони вимагають абсолютної пріоритетної уваги з боку міжнародного співтовариства, щоб запобігти поглибленню нинішньої катастрофи і зупинити атаки росіян.

Висновок та рекомендовані дії

Враховуючи крихкість української електроенергетичної системи через більш ніж військові атаки Росії на цивільну електроенергетичну систему протягом більш ніж двох років, невідомо скільки ще вона зможе витримати, перш ніж настане точка неповернення. Грінпіс Центральної та Східної Європи вважає, що зараз потрібен не лише активний захист обмеженої кількості ключових підстанцій, але й негайне припинення будь-яких подальших атак на українську енергосистему, включно з рештою працюючих генеруючих потужностей.

Цей аналіз має на меті надіслати потужний сигнал тривоги міжнародній спільноті, в тому числі Міжнародному агентству з атомної енергії (МАГАТЕ), і спонукати її діяти в Україні набагато активніше та рішучіше, ніж до цього часу. Ядерні регулятори багатьох країн також були детально проінформовані українським органом Держатомрегулювання²⁹, і тому чудово усвідомлюють серйозність ситуації.

Тепер уряди країн світу та МАГАТЕ повинні чинити тиск на Росію, щоб вона негайно припинила всі атаки на вразливу електроенергетичну систему України, а також на найбільш важливі підстанції, щоб уникнути наслідків радіологічної катастрофи, яка пошириться далеко за межі України і потенційно може вплинути на весь європейський континент.

Згідно з повідомленням Державної інспекції ядерного регулювання України (ДІЯРУ) від 6 вересня 2024 року, МАГАТЕ погодилося на запит щодо розширення постійної моніторингової місії в Україні на електричні підстанції³⁰. Шість днів потому відбулася

²⁹ наприклад, лист Голови Держатомрегулювання – Головного державного інспектора з ядерної та радіаційної безпеки України Олега Корікова від 21 вересня 2024 року до Європейської Комісії, Європейської групи регуляторів ядерної безпеки (ENSREG), Західноєвропейської асоціації ядерних регуляторів (WENRA), Агентства з ядерної енергії (NEA), ядерних регуляторів США, Великобританії, Канади, Фінляндії, Польщі, Норвегії, Німеччини, Франції, Литви, Швеції, Чехії, Словаччини: <https://snriu.gov.ua/en/news/snriu-chairman-new-russian-attacks-on-ukraines-energy-infrastructure-will-create-new-challenges-and-threats-for-nuclear-safety>

³⁰ Держатомрегулювання, Олег Коріков: «МАГАТЕ розширить свою присутність в Україні – важливі для безпеки АЕС підстанції контролюватимуть постійні представництва», 6 вересня 2024 року, див. <https://snriu.gov.ua/en/news/oleh-korikov-iaea-will-expand-its-presence-in-ukraine-substations-important-for->

інспекція МАГАТЕ на підстанції, вже пошкодженій ударами російських військових³¹. В рамках погодженої розширеної місії будуть призначені інспектори МАГАТЕ на всі підстанції України, безпосередньо пов'язані з атомними електростанціями, яких налічується менше десяти. Однак для того, щоб місія ефективно захищала критично важливу енергетичну інфраструктуру та запобігала російським атакам, її слід реалізувати негайно і комплексно. У листі до Генерального директора МАГАТЕ, надісланому 30 вересня 2024 року, Грінпіс Інтернешнл закликав МАГАТЕ вжити невідкладних заходів.

Окрім оперативного розгортання розширеної місії МАГАТЕ та використання будь-яких засобів для припинення російських військових ударів, які є першочерговими завданнями і мають важливе значення з огляду на наближення зими, існують також й інші заходи, які Україна повинна здійснити в пріоритетному порядку протягом наступних кількох років.

Україна потребує всебічної підтримки для масштабних інвестицій у відновлення енергетичної інфраструктури та подальшого розширення імпорту потужностей з мережі Європейської мережі операторів системи передачі (ENTSO-E)³². Так само важливою є міжнародна підтримка з боку попиту, яка передбачає вжиття заходів із забезпечення енергоефективності та розумного управління попитом, а з боку виробництва – децентралізацію і реалізацію систем зберігання енергії на основі акумуляторних батарей у промислових масштабах, у поєднанні з сонячною та вітровою енергією. Це також покладе край суттєвій залежності України від атомних потужностей і стане найкращим шляхом до побудови безпечної та стійкої енергосистеми для України.

Крім того, Грінпіс ЦСЄ також закликає національні уряди країн ЄС припинити майже необмежену торгівлю з російською ядерною державною корпорацією «Росатом» і поширити пакети санкцій ЄС також і на «Росатом». Досі це рішення блокували, зокрема, Угорщина та Франція. Крім того, МАГАТЕ також має припинити активну підтримку російських проєктів з розширення ядерної енергетики по всьому світу, наприклад, в Туреччині та Єгипті.

Необхідні ключові дії:

- Росія повинна негайно припинити подальші атаки на всю електроенергетичну систему України, а не лише на атомні електростанції та найбільш критичні підстанції;
- Міжнародне співтовариство повинно застосувати весь можливий тиск на Росію, щоб змусити її припинити атаки;

[npp-safety-will-be-monitored-by-permanent-missions](#)

31 Українська правда «Протягом останньої доби росіяни атакували енергетичні об'єкти в шести областях», 24 вересня 2023 року, див. <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2024/09/23/7476346/>

32 Європейська мережа операторів систем передачі електроенергії, яка об'єднує 40 операторів систем передачі електроенергії з 36 країн Європи, див. <https://www.entsoe.eu/>

- МАГАТЕ, за повної підтримки держав-членів, має негайно реалізувати свою розширену місію в Україні, щоб розмістити інспекторів на критично важливих об'єктах електроенергетики, зокрема, на підстанціях, необхідних для роботи атомних електростанцій, що виступить стримуючим фактором для подальших російських військових атак;
- Розширити та пришвидшити надання міжнародної підтримки для відновлення пошкодженої енергетичної інфраструктури України та її захисту;
- Подальше збільшення імпорتنих потужностей через об'єднання мереж ENTSO-E та України;
- Щодо попиту на електроенергію – розширювати заходи з енергоефективності та встановлювати «розумні» лічильники, а також розширювати та застосовувати управління попитом на електроенергію;
- Щодо виробництва електроенергії – подальша децентралізація, системи зберігання енергії в промислових масштабах у поєднанні з сонячною та вітровою енергією, щоб зробити Україну менш вразливою до атак.

ГЛОСАРІЙ

Аварійне відключення електроенергії – стан, за якого припиняється живлення в усій або значній частині енергосистеми.

Запуск електромережі з нуля – перезапуск електроенергетичної системи після аварії. Процес запуску з нуля вимагає скоординованих зусиль оператора енергосистеми, «Укренерго» в Україні, у співпраці з електростанціями, що працюють в системі. Для того, щоб здійснити запуск з нуля, має бути достатня кількість електростанцій, здатних до запуску з нуля.

Електростанція з можливістю запуску з нуля – електростанція, яка здатна досить швидко запуститися з вимкненого стану без зовнішнього джерела живлення. АЕС не мають такої можливості.

Відмова з загальної причини – вихід з ладу двох або більше конструкцій, систем і компонентів через одну конкретну подію або причину. Одним з прикладів є землетрус і цунамі на АЕС «Фукусіма-Дайічі», які призвели до розплавлення активної зони трьох реакторів. В ситуації, що склалася в Україні, загальносистемне відключення може вплинути на всі п'ятнадцять реакторів одночасно.

Пошкодження активної зони – активна зона або реакторний корпус ядерного реактора зазнає значних пошкоджень. Це може бути статися внаслідок втрати охолодження активної зони реактора, внаслідок чого активна зона перегрівається, а її частини розплавляються. Така подія здатна призвести до значного викиду радіоактивності в будівлю реактора і далі в навколишнє середовище, залежно від масштабу пошкодження

активної зони.

Проектна аварія – аварійні умови, на які розрахована установка і за яких пошкодження палива і викид радіоактивних матеріалів перебувають у дозволених межах.

Система розподілу – державна електроенергетична система, що працює на низькій напрузі (нижче 330 кВ в Україні). Система розподілу з'єднує систему передачі зі споживачами, а генерація постачається за низької напруги.

Мережева система охоплює як системи розподілу, так і системи передачі та міжсистемних з'єднань, включаючи підстанції, розподільчі пункти та центр управління мережею.

Експлуатація з власним навантаженням – експлуатація ядерного блоку таким чином, щоб він виробляв електроенергію лише для власних потреб, а не експортував її в енергосистему. Це стосується здебільшого систем безпеки, таких як блок системи автоматичного управління та насосів для охолодження ядерного і відпрацьованого палива. На атомній електростанції з кількома реакторними блоками, як правило, лише один реактор працює в такому режимі зі зниженою потужністю (наприклад, на рівні 10 %).

Втрата зовнішніх джерел енергопостачання (LOOP) – подія, за якої ядерний блок втрачає все електропостачання з енергосистеми (але все ще може працювати за рахунок генерації на майданчику). Це може бути результатом подій, які розривають всі зв'язки між атомною електростанцією (АЕС) і місцевою підстанцією, або між підстанцією і рештою енергосистеми, чи через повне знеструмлення енергосистеми в країні або регіоні.

Втрата навантаження – подія, коли АЕС не має змоги експортувати електроенергію в мережу, але електропостачання з мережі все ще наявне.

Скидання навантаження – відключення деяких споживачів електроенергії для зменшення навантаження, коли виникає дефіцит генерації та/або коли частота в системі опускається нижче певного значення. В Україні такі заходи можуть бути як плановими (наприклад, графік ДТЕК для Києва), так і неплановими. Зазвичай скидання навантаження застосовується для певного регіону.

Оператор АЕС – компанія або організація, яка є оператором атомної електростанції. Оператор несе загальну відповідальність за безпечну експлуатацію АЕС і повинен відповідати вимогам ядерного регуляторного органу країни. В Україні оператором усіх чотирьох АЕС є НАЕК «Енергоатом». Однак через окупацію Запорізької АЕС (ЗАЕС) росіянами «Росатом» неправдиво стверджує, що він є оператором ЗАЕС, і не реагує на вимоги єдиного законного регулятора України – Держатомрегулювання.

Ядерний блок – ядерний блок складається з ядерного реактора і всього допоміжного обладнання (генератор, трансформатори, двигуни, насоси, електропостачання, системи захисту тощо), необхідного для його роботи. АЕС може мати один або декілька ядерних блоків.

Стандарт N-1 – мінімальний рівень безпеки, який використовується під час планування та експлуатації системи передачі. «N» означає загальну кількість ліній електропередачі, які перебувають в експлуатації, з урахуванням запланованих відключень ліній для технічного обслуговування, а «-1» – незаплановану подію, яка призвела до виведення з ладу однієї з цих ліній електропередачі. Стандарт «N-1» передбачає, щоб система мала достатній рівень резервування, аби незапланована втрата одного з ланцюгів не призвела до неприйнятних наслідків.

Зовнішня мережа – зовнішня мережа АЕС – це мережа електропередачі, до якої АЕС підключена як для закачування виробленої на електростанції електроенергії в мережу електропередачі, так і для постачання електроенергії на АЕС через мережу електропередачі.

Корпус реактора – для реакторів з водою під тиском (PWR, або в Україні ВВЕР), таких як ВВЕР-440 і ВВЕР-1000, корпус реактора – це сталева посудина, в якій ядерне паливо розміщується в матриці, регулюється критичність ядерного поділу, а його тепло передається через контур первинного охолодження до парогенераторів. У ВВЕР корпус реактора знаходиться під тиском.

Аварійне відключення станції (SBO) – коли ядерний блок втрачає все електропостачання від енергосистеми (LOOP), а також від генерації на майданчику.

Підстанція, також звана розподільчим пунктом – установка в системі передачі, до якої можуть бути підключені ланцюги передачі, генеруючі установки і навантаження споживачів, і яка має засоби для перемикання. АЕС зазвичай підключена до однієї або двох підстанцій, розташованих поблизу майданчика АЕС.

Частота системи – частота змінної напруги в системі. У взаємопов'язаній системі частота є однаковою по всій системі в будь-який момент часу. Номінальна частота в Україні з квітня 2022 року за стандартом ENTSO-E становить 50 Гц.

Система передачі – державна електроенергетична система, що працює за високої напруги (330 і 750 кВ в Україні). Система передачі використовується для з'єднання великих електростанцій, таких як АЕС, з центрами навантаження, а також для передачі великих обсягів електроенергії на великі відстані.

Оператор системи передачі (ОСП) відповідає за систему передачі, до якої буде підключена АЕС. ОСП в Україні є «Укренерго».

Аварія – незаплановане відключення або раптова зупинка ланцюга електропередачі, генеруючого чи ядерного блоку. Раптове аварійне відключення ядерного блоку також називають аварійною зупинкою реактора.

Перехід на власне навантаження – зниження виробництва електроенергії на атомному блоці після LOOP до рівня власного навантаження.

Більш детальний глосарій на цю тему див., наприклад, в: МАГАТЕ «Надійність електромереж та взаємодія з атомними електростанціями», 2012 рік:

https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1542_web.pdf