

Аналіз можливих причин виникнення надзвичайних ситуацій на АЕС з метою мінімізації ризику їх виникнення

Попов О.О.

*Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5065-3822>*

Яцишин А.В.

*Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5508-7017>*

Ковач В.О.

*Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1014-8979>*

Артемчук В.О.

*Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України, м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-4564>*

Тарадуда Д.В.

*Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9167-0058>*

Собина В.О.

*Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6908-8037>*

Соколов Д.Л.

*Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7996-689X>*

Демент М.О.

*Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-384X>*

Яцишин Т. М.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7723-2086>*

Матвеева І. В.

*Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8636-0538>*

В роботі показано, що за різних негативних обставин на АЕС можуть виникати різні надзвичайні ситуації, які створюють значний ризик для природного середовища, здоров'я персоналу та населення прилеглих територій. Наведено приклади найбільших аварій на АЕС світу, які призвели до значного радіаційного забруднення довкілля. Відзначено, що одним із основних завдань, які ставить перед собою

ДП «НАЕК «Енергоатом» в сфері аварійної готовності та цивільного захисту на найближче майбутнє, є удосконалення систем і обладнання, інженерного та програмно-технічного забезпечення системи аварійної готовності та реагування на аварії та надзвичайні ситуації на АЕС. Показано, що для виведення даної системи на вищий рівень, необхідно володіти знаннями причинно-наслідкових ланцюгів формування надзвичайних ситуацій в конкретних умовах. Узв'язку з цим робота присвячена ґрунтовному аналізу можливих причин виникнення різних надзвичайних ситуацій на АЕС, що дозволить в подальшому розробити нові, більш ефективні підходи та методи їх попередження.

Ключові слова: атомна електростанція, надзвичайна ситуація, порушення в роботі АЕС, внутрішні та зовнішні чинники, система аварійної готовності та реагування.

© Попов О. О., Яцишин А. В., Ковач В. О., Артемчук В. О., Тарадуда Д. В., Собина В. О., Соколов Д. Л., Демент М. О., Яцишин Т. М., Матвеева І. В., 2019

Україна має розвинену ядерну енергетичну галузь, основу якої складають чотири діючих атомних електростанції (АЕС): Хмельницька, Рівненська, Запорізька та Южно-Українська, і на найближчі десятироки згідно «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» наша країна планує лише нарощувати потужності даної галузі.

Проте, АЕС є об'єктом підвищеної небезпеки, а тому перспективи їх розвитку тісно пов'язані з питаннями їх безпечного функціонування та захисту територій, цивільного населення та навколишнього природного середовища на території розміщення станції.

За різних негативних факторів (порушення технологічних процесів, меж і умов безпечної експлуатації, техногенні аварії та інциденти, природні явища, диверсії з терористичною метою, бойові дії тощо) на АЕС можуть виникати надзвичайні ситуації (НС), які створюють значний ризик для природного середовища, здоров'я персоналу та населення прилеглих територій.

Аналіз НС техногенного характеру за загрозою життю людини, за характером дії, за масштабами руйнування будівель, за розміром матеріальних і економічних збитків та ін., показує, що найбільш небезпечними є НС, які спричиняють радіоактивне та хімічне забруднення навколишнього середовища. Як показує сумний досвід аварій на АЕС Трі-Майл-Айленд (США, 1979), Чорнобильській АЕС (Україна, 1986), АЕС Фукусіма-1 (Японія, 2011) такі НС можуть призводити до значного радіоактивного забруднення, завдавати чималої шкоди здоров'ю населення, природним та агроекологічним системам тощо.

Згідно вимог та рекомендацій Міжнародної агенції з атомної енергії (МАГАТЕ) керівництво ДП «НАЕК «Енергоатом» має постійно дбати про підвищення ефективності функціонування Системи аварійної готовності та реагування (САГР) на аварії та надзвичайні ситуації на АЕС України, щоб забезпечити якомога вищий рівень безпеки для персоналу, населення прилеглих територій та навколишнього природного середовища. Перспективи розвитку даної системи знайшли своє відображення у документі «Основні заходи системи аварійної готовності та реагування ДП «НАЕК «Енергоатом» на аварії та надзвичайні ситуації на АЕС на період до 2020 року». Так, одним із основних завдань, які ставить перед собою ДП «НАЕК «Енергоатом» в сфері аварійної готовності та цивільного захисту на найближче майбутнє, є удосконалення систем і обладнання, інженерного та програмно-технічного забезпечення САГР на аварії та надзвичайні ситуації на АЕС.

Метою роботи є обґрунтування необхідності виведення САГР на аварії та надзвичайні ситуації на АЕС України на вищий рівень, який відповідає сучасним вимогам та стандартам.

Огляд літературних джерел

Відповідно до державного класифікатора [1] НС — це порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, зокрема епідемією, епізоотією, епіфітотією, пожежею, що призвело (може призвести) до виникнення великої кількості постраждалих, загрози життю та здоров'ю людей, їх загибелі, значних матеріальних утрат, а також до неможливості проживання населення на території чи об'єкті, ведення там господарської діяльності.

Залежно від характеру походження подій, що можуть зумовити виникнення НС на території України, визначають такі види НС: техногенного характеру; природного характеру; соціального характеру; воєнного характеру.

В світовій практиці прийнято виділяти наступні стадії розвитку НС (умовні етапні фази) [2]: зародження, ініціювання, кульмінація та затухання.

Дослідження в галузі цивільного захисту радіаційно небезпечних об'єктів показали, що робота в цьому напрямі ведеться дуже активно. Серед досліджень варто виділити наступні.

В роботі [3] запропоновано аналітичний апарат кількісної оцінки безпеки виникнення НС, пов'язаних з терористичними актами на радіаційно небезпечних об'єктах. Отримані середні частоти терористичних проявів, щодо об'єкта контролю, дозволяють оцінити його безумовну терористичну уразливість, в задачах оцінки терористичного ризику при експлуатації радіаційно небезпечних об'єктів.

В роботі [4] розроблено кількісну модель стійкості АЕС, що була перевірена за допомогою статистичних методів. Ці результати підтверджують адекватність нового методу оцінки безпеки захищеності АЕС, що може доповнити традиційну оцінку ядерної та радіаційної безпеки. Очікується, що запропонований метод забезпечить можливість оцінки цілісності управління безпекою корейських АЕС.

В дослідженні [5] проведено аналіз факторів ризику ядерних та радіаційних аварій на АЕС з урахуванням специфічних умов, пов'язаних з інформаційною безпекою в системі фізичного захисту АЕС. Також зазначено, що пом'якшення чи унеможливлення дії всіх факторів та мінімізація ризику аварій на АЕС — важливе державне стратегічне завдання, а АЕС економічно виправдані та потрібні для нормального розвитку промисловості країни, але тільки за умови технічного

забезпечення на максимально можливному рівні ядерної та радіаційної безпеки енергоблоків АЕС.

Також варто згадати європейський проект EURANOS, в якому національні організації з попередження надзвичайних ситуацій спільно з науково-дослідними інститутами проводили спільні дослідження спрямовані на підвищення готовності в Європі до реагування на будь-яке радіаційне забруднення, викликане НС чи довгостроковим забрудненням [6].

Однією з багатьох проблем, з якими стикається влада при ядерній або радіаційній НС, є інформування про її виникнення, оскільки це може призвести до паніки та хаосу серед населення, тобто неконтрольованої ситуації. Нова публікація МАГАТЕ [7] допомагає вирішити ряд важливих завдань щодо дій в умовах виникнення таких НС та містить керівні вказівки та рекомендації стосовно необхідних заходів, включаючи оповіщення, евакуацію та обмеження на споживання місцевих продуктів. На рис. 1 та 2 показано хронологію різних фаз та незахищених ситуацій для ядерної або радіаційної НС та тимчасову послідовність різних типів захисних дій, операцій з відновлення для ядерної або радіаційної НС відповідно.

Незважаючи на вдосконалення систем аварійної готовності та реагування на НС, використання автоматизованих систем контролю технологічних параметрів та радіаційної обстановки на АЕС, загроза виникнення потенційно небезпечних ситуацій залишається.

Наведемо приклади найбільш резонансних (за даними агрегаторів новин мережі інтернет) НС, які сталися в світі за останні 3 роки на АЕС.

Так, у грудні 2015 року на Ленінградській атомній електростанції (Росія) був зупинений один з енергоблоків через вихід пари в одне з промислових приміщень блоку.

Енергопостачання підстанції та першого енергоблоку Вірменської АЕС в січні 2017 року було перервано в результаті аварії на високовольтній лінії електропередачі. Причиною аварії на лінії електропередачі став лід, який утворився в результаті морозної погоди. Перебоїв з електропостачанням населенню не було.

На заході Японії (січень 2017 року) будівельний кран, який використовується в ремонтних роботах на АЕС Такахама, впав від сильного вітру на енергоблок № 2. Кран пошкодив частину зовнішньої стіни і даху приміщення басейну з відпрацьованим ядерним паливом. Разом з цим, слід зазначити, що всередину басейну ніякі деталі і фрагменти не потрапили.

У лютому 2017 року в результаті вибуху на французькій АЕС Фламанвіль отримали технічного збою п'ятеро людей. Реактор АЕС, що знаходиться в експлуатації відразу ж зупинили, хоча вибух стався за межами об'єктів з ядерним паливом.



Рис. 1. Хронологія різних фаз та НС в межах однієї географічної зони або одного місця



Рис. 2. Хронологія різних типів захисних дій та операцій з відновлення для ядерної або радіологічної НС в межах одного географічного району або одного місця

В липні 2018 року в місті Чернаводе (Румунія) відбулося автоматичне відключення від Національної енергетичної системи першого енергоблоку румунської АЕС. Проте це раптове відключення реактора ніяк не вплинуло на населення, персонал станції та навколишнє середовище, та, найбільш ймовірно було викликане помилковим сигналом.

В Японії на острові Хоккайдо відбулася НС із-за землетрусу, що стався у вересні 2018 р. Був зафіксований збій в роботі основного джерела енергії, що живить систему охолодження басейнів з відпрацьованим ядерним паливом на АЕС «Томарі», при цьому витоку радіації не зафіксовано.

У жовтні 2018 р. на заході Фінляндії перший енергоблок АЕС Олкїлуото компанії-оператора Teollisuuden voima відключився в результаті відмови турбіни, що спричинило відключення від фінської державної електромережі.

Обмежену кількість новин та подій, що відбуваються на об'єктах ядерно-паливного циклу можна знайти на інформаційному каналі МАГАТЕ за посиланням <https://www-news.iaea.org/EventList.aspx>. Більш детальну інформацію про події, що оцінюються за допомогою Міжнародної шкали ядерних та радіаційних подій INES, зареєстровані користувачі можуть побачити в Уніфікованій системі обміну інформацією по інцидентам та надзвичайним ситуаціям МАГАТЕ (USIE).

Матеріали дослідження

Практичне вирішення задач подальшого розвитку атомної енергетики все більше пов'язано зі зниженням ризиків виникнення НС та володінням знаннями причинно-наслідкових ланцюгів формування НС на її об'єктах. Це реалізується шляхом розроблення нових, більш ефективних підходів та методів попередження виникнення різних надзвичайних ситуацій на АЕС, що потребує ґрунтовного аналізу можливих причин їх виникнення.

Причини виникнення надзвичайних ситуацій на територіях розміщення АЕС

Вивчення причин виникнення НС виявило їх велике різноманіття. Основними з них є: порушення технологічних процесів; порушення техніки безпеки і режиму роботи; природні явища та техногенні аварії, інциденти; бойові дії; диверсії з терористичною метою.

Порушення в роботі АЕС

Найнебезпечнішою, як для обслуговуючого персоналу, так і для населення, що мешкає поблизу АЕС, є аварія із руйнуванням активної зони, яка супроводжується викидом радіоактивних речовин у навколишнє середовище що призводить до значних радіаційних наслідків.

З метою систематизації радіаційних наслідків аварій на АЕС і формування єдиного підходу та їх класифікації, міжнародною групою експертів під егідою МАГАТЕ, розроблена Міжнародна шкала ядерних подій (INES). Відповідно до запропонованої шкали розрізняють 8 рівнів аварій та інцидентів на АЕС, що розподілені на підставі кількісної характеристики одного з основних параметрів аварії — значення радіоактивного викиду в навколишнє середовище.

За шкалою INES ядерні, радіологічні аварії та інциденти поділяються на такі рівні як: подія з відхиленням

нижче шкали, аномальна ситуація, інцидент, серйозний інцидент, аварія без значного ризику для навколишнього середовища, аварія з ризиком для навколишнього середовища, серйозна аварія та велика аварія), а також області дії (населення та навколишнє середовище, радіологічні бар'єри і контроль та глибокоочислений захист [8].

В 2017 році МАГАТЕ було безпосередньо проінформовано компетентними органами про 206 подій, пов'язаних або ймовірно пов'язаних з іонізуючим випромінюванням (рис. 3). Для 19-ти подій МАГАТЕ були прийняті заходи реагування. Було зроблено сім пропозицій щодо надання послуг, у тому числі для подій, пов'язаних із втратою радіоактивних джерел, а також подій, викликаних землетрусами [9].

Одним із ключових засобів дотримання безпеки експлуатації АЕС та її подальшого підвищення є врахування досвіду експлуатації, що включає в себе проведення обліку та аналізу порушень у роботі АЕС, впровадження коригувальних заходів для усунення виявлених причин і запобігання повторення порушень. Порушення в роботі енергоблоків АЕС є одним з найважливіших індикаторів рівня експлуатаційної безпеки.

В Україні джерелом даних про експлуатаційні події, які трапились на АЕС, є звіти про розслідування порушень у їх роботі та інформаційна система Держатомрегулювання «Порушення в роботі АЕС», яка призначена для забезпечення обліку інформації про такі події в роботі АЕС України та подальшого статистичного аналізу цієї інформації. Облік порушень ведеться фахівцями Державного підприємства «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» з 1992 року та містить інформацію про більше ніж 1300 порушень станом на 2016 рік [10] (станом на 01.01.2019 року більше ніж 1370 порушень) у роботі АЕС України.

Згідно [11] протягом 2017 року на 15 енергоблоках з водо-водяними енергетичними реакторами (ВВЕР), що знаходяться в промисловій експлуатації в Україні, відбулось 16 порушень, а саме: на ЗАЕС 6 порушень, на ЮУАЕС 2 порушення, на ХАЕС 3 порушення, на РАЕС 5 порушень.

У разі виникнення НС на АЕС України для відновлення безпеки та захисту населення і територій від НС, запобігання їх виникненню та ефективної ліквідації наслідків використовують ряд керівних документів ДП «НАЕК «Енергоатом» [12 та ін.].



Рис. 3. Кількість радіаційних інцидентів, про які стало відомо МАГАТЕ

Для того щоб оцінити поточний рівень безпеки енергоблоку АЕС і прийняти зважене рішення щодо можливості та умов його подальшої експлуатації проводиться періодична переоцінка безпеки, за результатами якої складається звіт. Цей звіт оформляється у вигляді окремих звітів з результатами оцінки 14 факторів безпеки, врахувавши вітчизняні нормативно-правові документи та рекомендації МАГАТЕ. Розглядаються наступні фактори безпеки (ФБ) [13]:

1) ФБ, пов'язані з технічним станом систем, елементів і конструкцій: проект енергоблоку (ФБ-1), поточний технічний стан систем, елементів і конструкцій (ФБ-2), кваліфікація обладнання (ФБ-3), старіння (ФБ-4);

2) ФБ, пов'язані з аналізом безпеки: детерміністичний аналіз безпеки (ФБ-5), імовірнісний аналіз безпеки (ФБ-6), аналіз внутрішніх та зовнішніх впливів (ФБ-7);

3) ФБ, пов'язані з експлуатаційною безпекою: експлуатаційна безпека (ФБ-8), використання досвіду інших АС та результатів наукових досліджень (ФБ9);

4) ФБ, пов'язані з управлінням: організація, система управління та культура безпеки (ФБ-10), експлуатаційна документація (ФБ-11), людський фактор (ФБ-12), аварійна готовність та планування (ФБ-13);

5) ФБ, пов'язаний з навколишнім природним середовищем: радіаційний вплив на навколишнє природне середовище (ФБ-14).

Після проведення аналізу всіх ФБ експлуатуюча організація виконує комплексний аналіз безпеки енергоблоку для інтегрування результатів аналізу окремих ФБ, визначення необхідних заходів з підвищення безпеки та термінів їх впровадження. Результати, отримані на основі аналізу окремих ФБ, можуть використовуватися як вихідні дані під час виконання аналізу інших ФБ [13].

Внутрішні та зовнішні чинники виникнення надзвичайних ситуацій

Розглянемо ці чинники на прикладі енергоблоку № 2 Южно-Української АЕС (ЮУ АЕС). В звіті [14] розглядається ФБ № 7 «Аналіз впливу на безпеку енергоблоку внутрішніх та зовнішніх подій». Основною метою даного чинника безпеки є встановлення того, що при виникненні екстремальних подій техногенного та природного характеру підтримується безпека енергоблоку. До внутрішніх чинників відносять пожежі, затоплення, токсичні гази, вибухи, падіння важких предметів, биття трубопроводів, запарювання та зрощення, а до зовнішніх — повені та паводки, урагани і смерчі, максимальні і мінімальні температури, землетруси, падіння літальних апаратів, пожежі, вибухи, токсичні гази тощо.

В результаті аналізу впливу на безпеку енергоблоку № 2 ЮУАЕС внутрішніх і зовнішніх екстремальних впливів з детального розгляду були виключені події, частота виникнення яких нижче критерію відсіву — 10^{-7} 1/рік. Для решти подій виконано аналіз та отримано кількісні характеристики за допомогою імовірнісних методів.

Проведений аналіз впливу внутрішніх та зовнішніх подій підтверджує, що проект енергоблоку № 2 ЮУАЕС, технічні засоби та адміністративні заходи щодо захисту споруд, систем та елементів забезпечують надійний захист енергоблоку від впливу екстремальних подій природного і техногенного походження.

Слід зазначити, що для землетрусів, до теперішнього часу, немає завершених та погоджених в установленому

порядку аналізів впливу на безпеку енергоблоку, що ставить дану зовнішню подію в ряд проблемних питань. Для виконання такої оцінки згідно NS-G-2.13 в даний момент часу для ЮУАЕС і в цілому для України не вистачає результатів ряду імовірнісних сейсмічних аналізів для майданчиків.

Системи попередження та ліквідації НС на АЕС України

Експлуатуюча організація несе повну відповідальність за безпеку АЕС, в тому числі за заходи щодо запобігання аваріям, зниження чи ліквідації наслідків аварій у випадку їхнього виникнення, облік і контроль ядерного палива та інших радіоактивних речовин, охорону навколишнього середовища і контроль за його станом у санітарно-захисній зоні й у зоні спостереження, за фізичний захист АЕС, за використання АЕС тільки з тією метою, для якої вона була спроектована і побудована.

Відповідно до рекомендацій МАГАТЕ, вимог ядерного законодавства України, норм, правил і стандартів з ядерної та радіаційної безпеки, а також законодавства у сфері цивільного захисту на АЕС створені та функціонують Системи аварійної готовності та реагування.

Розглянемо одну з таких систем на прикладі **Системи аварійного реагування ВП «Рівненська АЕС»**, що є взаємозв'язаним комплексом людських і технічних ресурсів, організаційних і технічних заходів, здійснюваних персоналом АЕС під керівництвом адміністрації, з метою запобігання або ослаблення впливу аварії чи НС на персонал, населення та навколишнє середовище.

Основні завдання системи аварійного реагування ВП «Рівненська АЕС» [15]: забезпечення готовності до локалізації і ліквідації аварій і інших надзвичайних ситуацій на АЕС та ліквідації їх наслідків; реагування на аварії та НС на АЕС; реалізація заходів щодо захисту персоналу АЕС, населення та навколишнього середовища.

Аналогічні системи впроваджено і на інших атомних електростанціях України.

Висновки

Проведений аналіз низки джерел щодо досліджень в сфері цивільного захисту радіаційно небезпечних об'єктів показує, що незважаючи на впровадження технологій і автоматизованих систем моніторингу на атомних електростанціях загроза виникнення потенційно небезпечних ситуацій залишається, а найбільш масштабними є надзвичайні ситуації, які спричиняють радіоактивне та хімічне забруднення навколишнього середовища.

Одним із ключових засобів підтримання безпеки експлуатації АЕС та її подальшого підвищення є врахування досвіду експлуатації та ліквідації початкової стадії виникнення НС, що включає в себе проведення обліку та аналізу порушень у роботі АЕС, впровадження коригувальних заходів для усунення виявлених причин і запобігання повторення порушень. Порушення в роботі енергоблоків АЕС є одним з найважливіших індикаторів рівня експлуатаційної безпеки. Статистика порушень в роботі всіх енергоблоків ВВЕР, що експлуатувались на АЕС України у період з 2000 по 2017 роки, показує, що порушень вище 1-го класу (аномалія) за міжнародною шкалою INES на цих енергоблоках не відбувалось.

Проведений аналіз впливу внутрішніх та зовнішніх подій енергоблоку № 2 ЮУАЕС підтверджує, що технічні

та адміністративні заходи щодо захисту споруд, систем та елементів забезпечують надійний захист енергоблоку від впливу екстремальних впливів природного і техногенного походження.

В ядерно-промисловій галузі України у 2017 році не виявлено загроз, пов'язаних з ризиком виникнення надзвичайних ситуацій через відмову обладнання або екстремальні природні явища. Однак, є додаткові ризики, пов'язані зі зростанням загроз ядерного тероризму внаслідок збройного конфлікту на південному сході України.

Загроза проведення терористичних актів проти АЕС існує і з кожним днем стає все актуальнішою. Попередження терористичних актів на АЕС є одним із ключових аспектів безпеки території, на якій знаходиться станція.

Для підвищення ефективності САГР в частині на АЕС України необхідно розробляти нові методи, підходи та інформаційні системи для розв'язання задач попередження НС, які базуються на адекватних математичних моделях розвитку НС і відповідають сучасним вимогам в сфері цивільного захисту. Авторами вже розпочато роботу в цьому напрямку, отримані результати опубліковано в роботах [16–18].

Крім того, планується, що математичні та програмні засоби, які автори розробляють в цьому напрямку, в майбутньому будуть впроваджені в роботу інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки впливу АЕС на довкілля, концептуальні підходи створення якої описано в роботі [18].

Список використаних джерел

1. ДК 019:2010. Класифікатор надзвичайних ситуацій. — На заміну ДК 019–2001. Чинний від 2011-01-01. К. Держспоживстандарт України, 2010. 19 с.
2. Михайлов Л. А., Соломин В. П. Чрезвычайные ситуации природного, техногенного и социального характера и защита от них. Санкт-Петербург, 2008. 235 с.
3. Тарадуда Д. В., Деммент М. О. Підхід до кількісної оцінки безпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з терористичними актами на радіаційно небезпечних об'єктах. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2016. Вип. 24. С.126–132.
4. Ji Tae Kim, Jooyoung Park, Jonghyun Kim, Poong Hyun Seong. Development of a quantitative resilience model for nuclear power plants. *Annals of Nuclear Energy*. Volume 122, 2018. P. 175–184.
5. Погосов О. Ю., Дерев'яно О. В. Фізичний захист АЕС та інформаційна безпека як необхідні умови зниження ризиків ядерних і радіаційних аварій. *Ядерна та радіаційна безпека*. Вип.3(75). 2017. с. 50–55.
6. Raskob W., Gering F., Lochard J., Nisbet A., Starostova V., Tomic B. Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies: Towards a EU approach for decision support tools. *Nuclear Engineering and Design*. Volume 241, Issue 9, 2011. P. 3395–3402.
7. Arrangements for the Termination of a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA Safety Standards Series No. GSG-11. 189 pp. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1796_web.pdf.
8. International Nuclear and Radiological Event Scale. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/ines.pdf>.
9. IAEA Annual Report for 2017. Vienna, IAEA, 160 p. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/reports/2017/gc62-3.pdf>.
10. Недбай С. В., Воронцов Д. В., Горпинченко О. М., Печерица О. В. Результати аналізу порушень, які сталися протягом 2015 — першого півріччя 2016 років на АЕС України. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2016. Вип. 3(71). С. 15–18. DOI [https://doi.org/10.32918/nrs.2016.3\(71\).03](https://doi.org/10.32918/nrs.2016.3(71).03)
11. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2017 році. URL: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=389980> (дата звернення: 11.10.2018).
12. Основні положення організації системи готовності та реагування ДП «НАЕК «Енергоатом» на аварії та надзвичайні ситуації на АЕС. К. ДП «НАЕК «Енергоатом», 2018. 79с.

13. Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України від 30.08.2017 № 313 «Про затвердження Вимог до періодичної переоцінки безпеки енергоблоків атомних станцій». URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1158-17>

14. Южно-Украинская АЭС. Энергоблок № 2. Отчет о периодической переоценке безопасности «Комплексный анализ безопасности» 23.2.95.ОППБ.00 Версия 0.1. 2014. 150 с.

15. Система аварійного реагування ВП «Рівненська АЕС». URL: <https://www.rnpp.rv.ua/emergency-response.html>. (дата звернення: 1.10.2018.).

16. Popov O., Yatsyshyn A. Mathematical tools to assess soil contamination by deposition of technogenic emissions. *Soil Science Working for a Living*. Cham. Springer. 2017. P. 127–137.

17. Шкица Л. Е., Яцишин Т. М., Попов А. А., Артемчук В. А. Прогнозирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере на территории буровой установки. *Нефтяное хозяйство*. 2013. № 11. С.136–140.

18. Попов О. О., Яцишин А. В., Ковач В. О., Артемчук В. А., Тарадуда Д. В., Собина В. А., Соколов Д. Л., Деммент М. А., Яцишин Т. М. Концептуальні підходи створення інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки впливу АЕС на довкілля. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2018. Вип. 3(79). С. 56–65. Doi [http://doi.org/10.32918/nrs.2018.3\(79\).09](http://doi.org/10.32918/nrs.2018.3(79).09)

References

1. DK 019: 2010. Emergency Classifier. Replacement of DK 019-2001 [Klasyfikator nadzvychainykh sytuatsii. — Na zaminu DK 019-2001], valid since 01 January 2011, Kyiv, Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 2010, 19 p. (Ukr)
2. Mikhailov, L., Solomin, V. (2011), “Natural, Man-Made and Social Emergencies and Protection from Them” [Chrezvychainnye situatsii prirodnogo, tekhnogennogo i sotsial'nogo kharaktera i zashchita ot nikh], St. Petersburg, 235 p. (Rus)
3. Taraduda, D., Dement, M. (2016), “Approach to the Quantitative Assessment of the Risk of Occurrence of Emergencies Associated with Terrorist Acts at Radiation Hazardous Objects” [Pidkhyd do kil'kisnoi otsinky nebezpeky vynykennia nadzvychainykh sytuatsii, pov'iazanykh z terorystychnymy aktamy na radiatsiino nebezpechnykh ob'iektakh], *Problems of Emergencies*, No. 24, pp. 126–132. (Ukr)
4. Ji Tae Kim, Jooyoung Park, Jonghyun Kim, Poong Hyun Seong (2018), “Development of a Quantitative Resilience Model for Nuclear Power Plants”, *Annals of Nuclear Energy*, No. 122, pp. 175–184.
5. Pogosov, O., Derevianko, O. (2017), “NPP Physical Protection and Information Security as Necessary Conditions for Reducing Nuclear and Radiation Accident Risks” [Fizychnyi zakhyst AES ta informatsiina bezpeka yak neobkhidni umovy znyzhennia ryzykyv yadernykh i radiatsiynykh avarij], *Nuclear and Radiation Safety*, No. 3(75), pp. 50–55. (Ukr)
6. Raskob, W., Gering, F., Lochard, J., Nisbet, A., Starostova, V., Tomic, B. (2011), “Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies: Towards a EU Approach for Decision Support Tools”. *Nuclear Engineering and Design*, Volume 241, No. 9, pp. 3395–3402.
7. Arrangements for the Termination of a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GSG-11, 189 p., available at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1796_web.pdf
8. International Nuclear and Radiological Event Scale, available at: <https://www.iaea.org/sites/default/files/ines.pdf>
9. IAEA Annual Report for 2017, Vienna, IAEA, 160 p., available at: <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/reports/2017/gc62-3.pdf>.
10. Nedbay, S., Vorontsov, D., Horpynchenko, O., Pecherytsia, O. (2016), “The Analysis of Operational Events at Ukrainian NPPs during 2015 and the First Six Months of 2016” [Rezultaty analizu porushen', yaki stalysia protiahom 2015 — pershoho pivrichchia 2016 rokiv na AES Ukrainy], *Nuclear and Radiation Safety*, No. 3(71), pp. 15–18, available at: [https://doi.org/10.32918/nrs.2016.3\(71\).03](https://doi.org/10.32918/nrs.2016.3(71).03) (Ukr)
11. Report on the State of Nuclear and Radiation Safety in Ukraine in 2017 [Dopovid pro stan yadernoi ta radiatsiinoi bezpeky v Ukraini u 2017 rotsi], available at: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=389980> (Ukr)

12. Main Provisions of the Organization of Preparedness and Response System of the Energoatom to Accidents and Emergencies at NPPs [Osnovni polozhennia orhanizatsii systemy hotovnosti ta reahuvannia DP NAEK "Enerhoatom" na avarii ta nadzvychaini sytuatsii na AES], Energoatom, Kyiv, 2018, 79 p. (Ukr)

13. On Approval of the Requirements for the Periodic Safety Reviews of NPP Units [Pro zatverdzhennia Vymoh do periodychnoi pereotsenky bezopasnosti "Kompleksnyy analiz bezopasnosti" 23.2.95. OPPB.00 Versiia 0.1.], available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1158-17> (Ukr)

14. South-Ukraine NPP. Unit 2. Report on Periodic Safety Review "Comprehensive Safety Analysis", 23.2.95.OPPB.00 Version 0.1." [Yuzhno-Ukrainskaia AES. Energoblok № 2. Otchiot o periodicheskoi pereotsenke bezopasnosti "Kompleksnyy analiz bezopasnosti" 23.2.95. OPPB.00 Versiia 0.1.], 2014. 150 p. (Rus)

15. Emergency Response System of Rivne NPP [Systema avarinoho reahuvannia VP Rivnenska AES], available at: <https://www.rnpp.rv.ua/emergency-response.html> (Ukr)

16. Popov, O., Yatsyshyn, A. (2017), "Mathematical Tools to Assess Soil Contamination by Deposition of Technogenic Emissions", *Soil Science Working for a Living*, Cham. Springer, pp. 127–137.

17. Shkitsa, L., Yatsyshyn, T., Popov, A., Artemchuk, V. (2013), "Forecasting Spreading of Contaminating Agents in the Atmosphere on the Territory of a Drilling Unit" [Prognozirovaniie rasprostraneniia zagriazniaiushchikh veshestv v atmosfere na territorii burovoi ustanovki], *Oil Industry*, No. 11, pp. 136–140. (Rus)

18. Popov, O., Yatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda, D., Sobyna, V., Sokolov D., Dement M., Yatsyshyn T. (2018), "Conceptual Approaches to the Development of Informational and Analytical Expert System for Assessing the NPP impact on the Environment" [Kontseptual'ni pidkhody stvorennia informatsiino-analitychnoi ekspertnoi systemy dlia otsinky vplyvu AES na dovkillia], *Nuclear and Radiation Safety*, No. 3(79), pp. 56–54. (Ukr) Doi [http://doi.org/10.32918/nrs.2018.3\(79\).09](http://doi.org/10.32918/nrs.2018.3(79).09)

Анализ возможных причин возникновения чрезвычайных ситуаций на АЭС с целью минимизации риска их возникновения

Попов А. А¹., Яцишин А. В¹., Ковач В. О¹., Артемчук В. А²., Тарадуда Д. В³., Собина В. А³., Соколов Д. Л³., Демент М. А³., Яцишин Т. М⁴., Матвеева И. В.⁵

¹ Гу «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», г. Киев, Украина

² Институт проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины, г. Киев, Украина

³ Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, Украина

⁴ Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина

⁵ Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина,

В работе показано, что при различных негативных обстоятельствах на АЭС могут возникать разные чрезвычайные ситуации, которые создают значительный риск для природной среды, здоровья персонала и населения прилегающих территорий. Приведены примеры крупнейших аварий на АЭС мира, которые привели к значительному радиационному загрязнению окружающей среды. Отмечено, что одной из основных задач, которые ставит перед собой ГП «НАЭК «Энергоатом» в сфере аварийной готовности и гражданской защиты на ближайшее будущее, является совершенствование систем и оборудования, инженерного и программно-технического обеспечения системы аварийной готовности и реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации на АЭС. Показано, что для вывода данной системы на более высокий уровень, необходимо обладать знаниями причинно-следственных цепей

формирования чрезвычайных ситуаций в конкретных условиях. В связи с этим работа посвящена основательному анализу возможных причин возникновения различных чрезвычайных ситуаций на АЭС, что позволит в дальнейшем разработать новые, более эффективные подходы и методы их предупреждения.

Ключевые слова: атомная электростанция, чрезвычайная ситуация, нарушения в работе АЭС, внутренние и внешние факторы, система аварийной готовности и реагирования.

Analysis of Possible Causes of NPP Emergencies to Minimize Risk of Their Occurrence

Popov O.¹, Yatsyshyn A.¹, Kovach V.¹, Artemchuk V.², Taraduda D.³, Sobyna V.³, Sokolov D.³, Dement M.³, Yatsyshyn T.⁴, Matvieieva I.⁵

¹ Institute of Environment Geochemistry, the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering, the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³ National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

⁴ Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

⁵ National Aviation University, Kyiv, Ukraine

The paper states that various emergencies may occur at nuclear power plants under different negative conditions. Such emergencies pose a significant risk for the natural environment, health of personnel and the public of the adjacent territories. There are examples of the major accidents at NPPs worldwide, which lead to serious radiation contamination of the environment. It is noted that one of the main tasks of the Energoatom in the sphere of emergency preparedness and civil defense in the nearest future is to improve the systems and equipment, engineering, software and hardware support of the emergency preparedness and response system dealing with NPP emergencies. The improvement of this system requires the knowledge of causation chains of emergency progression in specific conditions. Therefore, the paper is devoted to the in-depth analysis of possible causes of different emergencies at NPPs that will allow the development of new and more efficient approaches and methods of their prevention. There is a definition of emergencies and their main types. The researchers analyzed a number of references on the studies in civil defense of radiation hazardous facilities and presented that despite the implementation of technologies and automated NPP monitoring systems, the threat of potentially hazardous situations remains relevant. Besides, the most significant are the emergencies that cause radioactive and chemical contamination of the environment. The paper provides the dynamics of emergencies in Ukraine and experience of applying the IAEA Unified System for Information Exchange in Incidents and Emergencies (USIE). It describes the main operational events at Ukrainian NPPs in 2017 and presents the distribution of operational events at Ukrainian and Russian NPPs. There are safety factors considering national regulatory documents and IAEA recommendations to assess the current safety level of NPP unit and the main causes of emergencies on NPP sites. The example of SUNPP-2 shows the quantitative characteristics of internal and external impacts on its safety. Provides an example of the system for prevention and mitigation of emergencies at Ukrainian NPPs, as well as lists its main tasks.

Keywords: nuclear power plant, emergency, NPP operational event, internal and external factors, emergency preparedness and response system.

Отримано 08.01.2019