

Застосування результатів роботи Форуму регуляторів ММР у рамках ліцензування проєктів ММР в Україні

- **Балашевська Юлія Володимирівна**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5162-4735>
- **Жабін Олег Ігорович**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9139-6634>
- **Печериця Олександр Володимирович**, канд. техн. наук
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8711-0242>
- **Плачков Григорій Іванович**
Державна інспекція ядерного регулювання України м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5971-2342>
- **Рижов Дмитро Іванович**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0068-5009>
- **Шевченко Ігор Анатолійович**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6102-520X>

Незабаром малі модульні реактори (ММР) потенційно будуть відігравати важливу роль у глобальному сталому енергетичному розвитку через зростаючу зацікавленість у впровадженні ММР як в країнах з розвинутою атомною енергетикою (зокрема і в Україні), так і в країнах, які тільки розпочинають свої ядерні енергетичні програми. Наразі на різній стадії готовності налічується близько 50-ти проєктів ММР, розроблених із використанням різноманітних реакторних технологій. Новітність та унікальність деяких принципових рішень, покладених в основу зазначених проєктів, та відсутність результатів реальної апробації цих рішень зумовлює виникнення викликів, пов'язаних із аспектами забезпечення ядерної та радіаційної безпеки під час розміщення та подальшої експлуатації ММР.

У статті наведено загальні відомості щодо діяльності Форуму регуляторів ММР (Форум), створеного Міжнародним агентством з атомної енергії (МАГАТЕ) та країнами, в яких активно розглядається та вирішується питання використання ММР у національному енергетичному секторі задля запровадження дієвого механізму співпраці в подоланні зазначених викликів. Наведено результати, отримані робочими групами Форуму, які полягають у напрацюванні спільних позицій за питаннями, що вже виникали або найімовірніше виникнуть під час очікуваного в низці країн ліцензування проєктів ММР, а саме: демонстрація повноцінної реалізації стратегії глибокоешелонованого захисту (ГЕЗ) у проєктних обґрунтуваннях безпеки; застосування

диференційованого підходу (ДП) в рамках процесу ліцензування; підходи до визначення зон та відстаней аварійного планування навколо АЕС з ММР. Крім того, робочими групами визначено кращі практики та підходи до розгляду зазначених питань під час ліцензування проєктів ММР.

На підставі виконаного огляду в статті надано пропозиції щодо використання наявних результатів діяльності Форуму під час планування та здійснення діяльності з ліцензування проєктів ММР в Україні та відзначено необхідність детального вивчення його подальших напрацювань.

Ключові слова: ліцензування, ММР, глибокоешелонований захист, диференційований підхід, зони та відстані аварійного планування.

© Балашевська Ю. В., Жабін О. І., Печериця О. В., Плачков Г. І., Рижев Д. І., Шевченко І. А., 2020

Загальні відомості

Ідея щодо створення міжнародного форуму для обговорення регуляторних аспектів впровадження та використання ММР уперше виникла в середині 2012 року під час низки двосторонніх зустрічей представників регулюючих органів США та Канади. Під час подальших консультаційних нарад, організованих МАГАТЕ із залученням провідних ядерних регуляторів, цю ідею було розглянуто з метою визначення оптимального формату платформи для подальшого детального обговорення та аналізу регуляторних аспектів безпеки ММР. Результати зазначених консультацій продемонстрували високий рівень підтримки ідеї створення Форуму серед держав-членів МАГАТЕ, який на початку 2015 року розпочав свою роботу з метою «визначення, покращення розуміння та розгляду ключових регуляторних викликів, що можуть виникнути під час майбутніх обговорень питань регулювання та ліцензування ММР, які проводитимуться для інформування, в разі потреби, про необхідність змін у вимогах та практиках регулювання» [1].

Завданням, на виконання якого спрямована робота Форуму, є поширення наявних знань та досвіду регулювання безпеки ММР серед учасників Форуму та інших зацікавлених сторін задля:

заохочування посилення ядерної безпеки та захищеності;

зміцнення міжнародної співпраці між регуляторами, які ухвалюють рішення, пов'язані з ММР;

сприяння ефективним, виваженим та ґрунтовним регуляторним рішенням;

визначення та обговорення питань, які можуть бути викликами під час регулюючого розгляду обґрунтувань безпеки ММР, та, за можливості, напрацювання підходів до вирішення зазначених питань;

надання консультативної підтримки МАГАТЕ щодо необхідності перегляду існуючих або розроблення нових публікацій з питань безпеки.

Організаційно Форум складається з керівного комітету (повноважні представники кожного регулюючого органу; голова та заступник голови Форуму обираються з членів керівного комітету)

та низки робочих груп, орієнтованих на розгляд конкретних питань, визначених керівним комітетом. Станом на 2020 рік учасниками Форуму є регулятори дев'яти країн: США, Великобританія, Канада, Китай, Фінляндія, Франція, Російська Федерація, Саудівська Аравія та Південна Корея. Представники МАГАТЕ формують науковий секретаріат Форуму (який також входить до керівного комітету). Наразі членство у Форумі є відкритим для всіх держав-членів МАГАТЕ, спроможних змістовно долучитися до діяльності його робочих груп. Зокрема, якщо держава-член є власником або розробником технології ММР або ухвалила (планує ухвалити найближчим часом) рішення щодо ліцензування та впровадження технології ММР, її заява на вступ до Форуму буде предметом розгляду керівного комітету. Діяльність Форуму фінансово забезпечується тільки його учасниками через внески (30 – 40 тисяч євро на рік від кожного учасника).

Результати роботи Форуму за перші три роки його діяльності наведено в звіті [2], який містить підсумки розгляду робочими групами таких технічних питань:

реалізація стратегії ГЕЗ;

застосування ДП;

визначення зон аварійного планування;

напрацьовані спільні регуляторні позиції, а також визначені робочими групами кращі практики та підходи до розгляду цих питань під час ліцензування проєктів ММР.

Усі ці аспекти далі висвітлені в статті більш детально.

1 Реалізація стратегії глибокоешелонованого захисту

Постановка питання [2]: «Низка розробників проєктів ММР пропонує альтернативні підходи до врахування концепції глибокоешелонованого захисту в зазначених проєктах. Робочій групі було доручено розглянути ці підходи та спробувати виробити спільні позиції щодо певних регуляторних практик з метою забезпечення безумовного врахування фундаментальних принципів глибокоешелонованого захисту».

Основні напрацювання робочої групи, спрямовані на вирішення цього питання, задокументовані в [2], [3] та полягають у такому.

1.1. Стратегія ГЕЗ є фундаментальним принципом забезпечення ядерної та радіаційної безпеки, який є застосовним, зокрема й до ММР, і повинен бути основою будь-якого проєкту ММР: у проєкті ММР мають бути враховані всі п'ять рівнів ГЕЗ. Притому, не зважаючи на закладені в проєкті ММР інноваційні підходи та рішення для підвищення безпеки на першому та другому рівнях ГЕЗ, має бути продемонстровано ефективність передбачених проєктом засобів для подолання постульованих вихідних подій на рівні 3 ГЕЗ та засобів пом'якшення наслідків важких аварій (рівень 4 ГЕЗ). Крім заходів та засобів, передбачених на рівнях 1–4 ГЕЗ, ефективне планування та організація аварійного реагування (рівень 5 ГЕЗ) є важливою складовою забезпечення безпеки і є застосовними для ММР.

Наскільки це практично можливо, має бути реалізовано принцип незалежності засобів, передбачених проєктом для різних рівнів ГЕЗ. Необхідно дослідити, наскільки специфічні особливості ММР (компактність та багатомодульність) перешкоджають реалізації цього принципу. Також потребують подальшого обговорення питання інтерпретації терміну «наскільки це практично можливо» та припустимість відступів від принципу незалежності засобів на різних рівнях ГЕЗ.

Концепція «практичного виключення» не може бути підставою для неврахування одного з рівнів ГЕЗ у проєкті ММР. Зокрема, ця концепція не може бути підставою для відсутності заходів для пом'якшення наслідків важких аварій або заходів аварійного реагування.

1.2 Під час обґрунтування вибору майданчика для розташування ММР може виникнути декілька проблемних питань.

Можливість використання цих реакторів у віддалених та малозаселених регіонах повинна бути підкріплена переконливою демонстрацією забезпечення фізичного захисту та наявності необхідної інфраструктури. Має бути підтверджено, що низька надійність електричної мережі в таких регіонах достатньо компенсується такими властивостями ММР, як внутрішня самозахищеність, пасивні принципи роботи елементів і систем та закладена в проєкті ММР тривала автономність безпечної експлуатації (має бути обґрунтований період часу, необхідний для залучення зовнішньої підтримки).

«Нетрадиційні» варіанти розміщення ММР (підземні, підводні, надводні) можуть потребувати врахування специфічних зовнішніх екстремальних впливів та природних явищ.

Належне забезпечення безпеки транспортування модулів (у разі їх завантаження ядерним паливом не за місцем постійного використання)

може зумовити необхідність одночасного розгляду цього питання з ухваленням рішення щодо вибору майданчика.

Через можливість компонування декількох модулів у межах одного енергоблока та можливість розташування декількох енергоблоків на майданчику АЕС, існує необхідність урахування питань «багатомодульності» та «багатоблоковості» АЕС з ММР, а саме – врахування екстремальних впливів, здатних становити загрозу всім блокам/модулям, розташованим на відповідному майданчику, врахування наявних зв'язків між модулями та/або блоками з погляду можливості одночасного впливу їх відмов на всі або декілька модулів/блоків майданчика; оцінка можливого впливу події, що виникла на одному модулі/блоці, на безпечну експлуатацію інших модулів/блоків майданчика.

1.3 Реалізовані в проєкті ММР принципи внутрішньої самозахищеності та інноваційні рішення мають бути ретельно обґрунтовані проєктантами. Вимоги та критерії обґрунтування безпеки мають бути встановлені заздалегідь, що потребує завчасного їх визначення, включно з вимогами та критеріями обґрунтування безпеки для рівнів 1, 2 ГЕЗ, та враховуючи наявні питання застосовності принципу одиничної відмови щодо пасивних систем.

З огляду на відсутність досвіду експлуатації та значні невизначеності щодо обґрунтування кваліфікації й надійності, експлуатаційних аспектів (періодичні випробування, обслуговування, інспектування під час експлуатації), інноваційні рішення та широке використання пасивних принципів у проєкті ММР потребує особливої уваги на всіх етапах життєвого циклу, враховуючи проєктування, будівництво та експлуатацію. В разі суттєвих невизначеностей щодо надійності пасивних засобів або можливості відмови активних систем із загальної причини, доцільним є використання комбінації пасивних та активних систем.

До введення в експлуатацію передбачені проєктом інноваційні рішення та практики, наскільки це можливо, мають бути відповідно кваліфіковані за допомогою верифікації, валідації та тестування, і мають контролюватись під час експлуатації для підтвердження проєктного функціонування.

1.4 Під час вибору вихідних подій, які повинні бути враховані в проєкті ММР, має бути застосований систематичний підхід і враховані специфічні особливості проєкту та всі експлуатаційні стани реакторної установки. Неврахування окремих вихідних подій з посиланням на реалізовані організаційно-технічні заходи (під час проєктування, виготовлення та експлуатації) потребує належного обґрунтування. Мають бути встановлені ґрунтовні критерії неврахування подій з аналізу.

Потрібно проаналізувати внутрішні та зовнішні екстремальні події та їх вплив на засоби, реалізовані на різних рівнях ГЕЗ. Можливість використан-

ня ММР у різних кліматичних, сейсмічних та інших умовах потребує розгляду всіх можливих екстремальних впливів та пов'язаних з цим ризиків, з урахуванням аспектів багатоблоковості та багатомодульності.

Технічна можливість розміщення декількох модулів у межах одного блока потребує розроблення нових регулюючих вимог та підходів до врахування «багатомодульності», які відрізняються від вимог та підходів до розгляду «багатоблоковості», оскільки багатомодульні проєкти мають набагато тісніші зв'язки між окремими модулями, ніж зв'язки між окремими енергоблоками майданчика. Передусім це стосується можливості розташування декількох модулів у межах однієї будівлі або навіть у межах спільного приміщення. Крім того, індивідуальні модулі можуть не тільки використовувати спільні системи нормальної експлуатації (наприклад, декілька модулів можуть працювати на один турбоагрегат і використовувати єдину систему розподілу живильної води, електропостачання) та керуватись з єдиного пульта управління, але й можуть не мати відокремлених (індивідуальних для кожного з модулів) систем безпеки.

1.5 Імовірнісний аналіз безпеки (ІАБ) є важливим інструментом для підтвердження ефективності реалізації стратегії ГЕЗ і має бути застосованим для ММР як доповнення до детерміністичного аналізу безпеки. ІАБ має бути розробленим на етапі проєктування і враховувати всі експлуатаційні стани для визначення необхідності впровадження додаткових засобів безпеки з метою зниження ймовірності важких аварій та отримання збалансованого профілю ризику. Щодо ММР існуючі методи ІАБ потребують удосконалення в моделюванні пасивних систем і врахуванні багатомодульності.

За результатами виконаного дослідження [3] робочою групою Форуму було визначено декілька технічних напрямів, для яких існує необхідність подальшого розроблення рекомендацій МАГАТЕ з обґрунтування реалізації ГЕЗ у проєктах ММР, а саме:

демонстрація підвищення безпеки на рівнях 1 і 2 ГЕЗ;

розроблення критеріїв і вимог безпеки щодо пасивних систем безпеки та властивостей внутрішньої самозахищеності;

застосування принципу одиначної відмови для пасивних систем безпеки;

визначення критеріїв неврахування з розгляду окремих вихідних подій;

визначення принципів і вимог до обґрунтування безпеки багатомодульних ММР;

поліпшення методів урахування в ІАБ пасивних засобів та багатомодульності.

Пропозиції щодо використання інформації звіту [3] під час планування та здійснення діяльності з ліцензування проєктів ММР в Україні наведено у фінальному розділі статті.

2 Застосування диференційованого підходу

Постановка питання [2]: «Наразі до регуляторів звертаються з пропозиціями щодо питань безпеки ММР, із прагненням послаблення нормативних вимог до проєктної документації та аналізу безпеки. Тому виникає необхідність у роз'ясненні регулюючого погляду на диференціацію та що вона означає взагалі».

Концепція ДП, загалом, передбачає, що детальність та глибина аналізу, верифікації, документування, обсяги та «жорсткість» регуляторних вимог, процедури та діяльність, які застосовуються для дотримання вимог з безпеки, мають бути співставними з рівнем потенційної загрози, пов'язаної з використанням ядерної установки, водночас не спричиняючи суттєвого негативного впливу на безпеку. Застосування ДП може підвищити ефективність регулювання безпеки (без зниження загального рівня безпеки) через спрямування основних зусиль на найбільш важливі з погляду безпеки питання.

Основні напрацювання робочої групи, спрямовані на вирішення поставленого питання, задокументовані в [2], [4] та полягають у такому.

2.1 Попри менші розміри та інноваційні рішення, застосовані в проєктах ММР, потенційні загрози, зумовлені радіоактивним вмістом та рівнем енерговиділень цих реакторів, є достатньо суттєвими для того, щоб вимагати послідовної реалізації організаційних і технічних заходів, які забезпечують підтримання ризику на прийнятно низькому рівні. Зважаючи на це, для забезпечення безпеки ММР мають розглядатись як традиційні АЕС, зокрема щодо питань застосування ДП. Як «стартову точку» потрібно використовувати регулюючі вимоги та підходи, аналогічні тим, що використовуються для традиційних АЕС. У багатьох випадках немає потреби в розробленні нових підходів для ліцензування ММР, ефективно ліцензування цього типу реакторів може бути виконаним у рамках існуючих підходів до ліцензування.

2.2 Не є очевидним та безперечним, що тривалість процесу ліцензування ММР буде меншою за тривалість ліцензування традиційних АЕС. Очікується, що тривалість ліцензування першого з серії ММР (first-of-a-kind, FOAK) буде довшою, ніж для наступних ММР того ж проєкту (N-of-a-kind, NOAK). Після введення в експлуатацію першого з серії ММР ефективність оцінки безпеки може бути підвищена акцентуванням зусиль на врахуванні особливостей майданчика, потенційних змінах у проєкті, кваліфікації ліцензіата та його здатності належно здійснювати ліцензовані види діяльності, врахуванні досвіду, отриманого як регулюючим органом, так і ліцензіатом.

2.3 Сертифікація проєкту реактора або модуля є прийнятним підходом, що застосовується під час

ліцензування. Необхідність впровадження цього підходу визначається кожною країною самостійно.

2.4 Може виникнути необхідність розроблення вимог, які відрізняються від установлених до традиційних АЕС і є специфічними для окремих типів ММР (наприклад, ММР морського базування). Рекомендації МАГАТЕ не виключають можливості формулювання альтернативних підходів, проте їх еквівалентність щодо кінцевого результату має бути обґрунтована. Якщо нормативні вимоги сформульовані з урахуванням специфіки конкретного проєкту АЕС, такі вимоги можуть потребувати аналізу для визначення базових принципів, на яких ці вимоги ґрунтуються, та адаптації під нові технології, що застосовуються в ММР.

2.5 Ліцензування реакторного модуля, який завантажуються ядерним паливом і ущільнюється на заводі-виробнику та транспортується для подальшої експлуатації, є унікальним процесом і потребує обговорення його особливостей під час виготовлення, випробувань, транспортування, монтажу та введення в експлуатацію («ліцензування виробника» проти «ліцензування АЕС», застосування ДП з урахуванням ступеня небезпеки).

2.6 Наразі ДП у тому чи іншому вигляді застосовується в усіх країнах-учасниках робочої групи (Канада, США, Франція, Російська Федерація). Наприклад, вимоги до конструкцій, систем та елементів (КСЕ) установлюються залежно від їх класифікації за впливом на безпеку. Водночас зараз не існує чітко сформульованих нормативних критеріїв та формалізованих методик із використання ДП під час проєктування та відповідних аналізів безпеки. Традиційно, ступінь застосування ДП переважно визначається експертно. Положення стандартів МАГАТЕ (наприклад, [5] – [9]) дозволяють зрозуміти загальні принципи ДП, які можуть бути застосовані для розроблення відповідних регуляторних вимог, проте не надають конкретної методології застосування ДП. Зважаючи на це, існує необхідність розроблення, під головуванням МАГАТЕ, детального технічного документа щодо застосування ДП, в якому потрібно розглянути конкретні питання та приклади, що досліджують особливості, пов'язані з широким використанням пасивних систем, властивостей внутрішньої самозахищеності, проаналізувати питання застосування консервативного підходу для забезпечення відповідності нормативним вимогам і врахувати такі інструменти як:

результати науково-дослідних робіт;

засоби аналізу безпеки (детерміністичного та імовірнісного аналізу, аналізу екстремальних впливів);

забезпечення якості експертних оцінок.

2.7 Застосування ДП може продемонструвати можливість відмови від деяких засобів забезпечення безпеки. І навпаки, можливо, що застосування ДП виявить необхідність впровадження додатко-

вих засобів. Отже, використання ДП не обов'язково веде до пом'якшення вимог. Апробовані підходи та концепції зазвичай добре обґрунтовані, а методи оцінки безпеки в разі їх застосування добре відомі. Тому, під час проведення експертизи регулюючий орган може зосередитись на аналізі інноваційних рішень проєкту ММР, які характеризуються більш суттєвими невизначеностями та можуть потребувати більших запасів до встановлених критеріїв і навіть додаткових організаційних та технічних рішень для забезпечення безпеки.

2.8 Посилання на те, що застосування інноваційних рішень у проєктах ММР має призводити до більш широкого використання ДП, не є достатнім аргументом, оскільки обґрунтування більшості таких рішень все ще знаходиться в процесі розроблення і напрацювання підтверджень «апробованості» та характеризується підвищеними невизначеностями через відсутність досвіду експлуатації. Особливо це стосується FOAK проєктів ММР. До напрацювання та отримання досвіду експлуатації, в процесі ухвалення регулюючих рішень потрібно звертати особливу увагу на те, як саме ці невизначеності враховані в проєкті ММР та відображені в запланованих підходах до експлуатації. З боку ліцензіата очікується, що в наданих обґрунтуваннях буде продемонстровано, як визначено та враховано невизначеності. В разі потреби, для FOAK проєкту з метою покриття невизначеностей можуть вимагатись додаткові заходи безпеки, такі як більші запаси безпеки, додаткові КСЕ, обмеження щодо режимів експлуатації тощо. Діапазон параметрів роботи пасивних систем може бути значно ширшим, ніж для активних систем, що вносить додаткові невизначеності. З огляду на це, питання кваліфікації та результати експериментальних досліджень мають підвищене значення для усунення цих невизначеностей та отримання надійних даних щодо роботи цих систем.

За результатами виконаного дослідження [4] робочою групою Форуму було визначено необхідність більш чіткого визначення концепції «доведеності» (достатньої апробованості) використаних проєктантами технологій та методологій аналізів безпеки, як одного з ключових атрибутів, що впливає на рівень застосування ДП під час ліцензування проєктів ММР. Технічними сферами, для яких, наприклад, має бути продемонстрована апробованість технологій та методологій, можуть бути:

кваліфікація палива для FOAK versus NOAK проєктів ММР;

стійкість пасивних систем та властивостей внутрішньої самозахищеності щодо розширених проєктних умов (DEC);

архітектура проєктних рішень інтерфейсу «один оператор – декілька реакторних модулів».

Пропозиції щодо використання інформації звіту [4] під час планування та здійснення діяльності

з ліцензування проєктів ММР в Україні наведено у фінальному розділі статті.

3 Визначення зон аварійного планування

Постановка питання [2]: «На основі очікуваних характеристик ММР деякі розробники ММР пропонують менші зони аварійного планування. Форум вивчив існуючу практику та стратегію для розуміння того, наскільки гнучкими є вже встановлені зони аварійного планування (тобто, наскільки вони враховують ризики) для того, щоб мати спільну позицію з цього питання».

Основні напрацювання робочої групи, спрямовані на вирішення цього питання, задокументовані в [2], [10] та полягають у такому.

3.1 Існуючі вимоги МАГАТЕ та методологія визначення розмірів зон і відстаней аварійного планування є ефективними для розроблення програм аварійної готовності та можуть застосовуватися до реакторів новітніх технологій, зокрема, ММР. З 2013 року вимоги МАГАТЕ до зон аварійного планування доповнюються вимогами щодо відстаней аварійного планування. Зокрема, відповідно до чинної редакції GSR Part 7 [11] зони та відстані аварійного планування повинні містити (Рисунок 1,б):

- зону попереджувальних заходів;
- зону планування термінових захисних заходів;
- відстань розширеного планування;
- відстань планування заходів з обмеження вживання продуктів харчування.

Відповідно до публікації МАГАТЕ EPR-NPP Public Protective Actions 2013 [12], розміри зон та відстаней аварійного планування можуть установлюватися на підставі результатів розгляду репрезентативних викидів, очікуваних у разі аварії із серйозним пошко-

дженням палива. Зона попереджувальних заходів та зона планування термінових захисних заходів (Рисунок 1,б) – це території, для яких на підготовчому етапі виконується всебічна робота з тим, щоб після оголошення загальної аварії можна було оперативніше виконати термінові захисні заходи та інші заходи реагування. Відстань розширеного планування та відстань планування заходів з обмеження вживання продуктів харчування повинні визначатися на підготовчому етапі для того, щоб визначити території, на яких, можливо, доведеться вживати заходи з реагування, але для яких заздалегідь проводиться тільки обмежена підготовка.

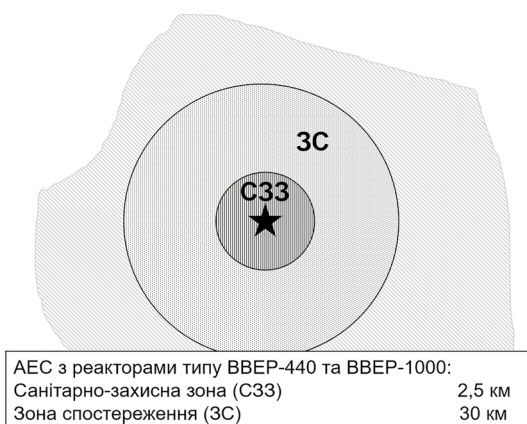
Розрахунки щодо розмірів зон та відстаней аварійного планування виконуються з урахуванням:

- характеристик викиду;
- метеорологічних умов;
- стратегій захисних дій залежно від доз та шляхів.

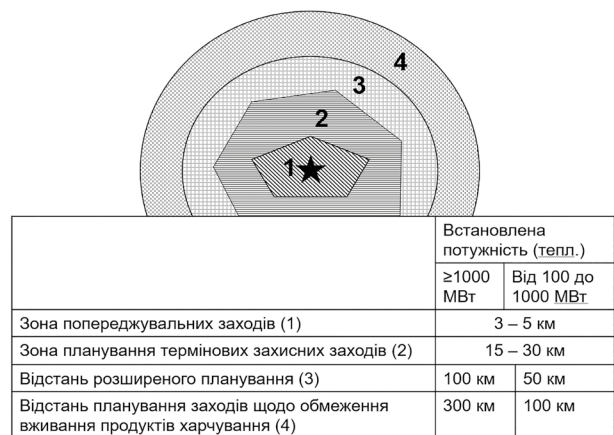
3.2 Заходи з аварійної готовності та реагування для ММР, враховуючи встановлення зон та відстаней аварійного планування, повинні розроблятися на основі результатів всебічних аналізів безпеки, обсяг яких містить розгляд подій з дуже низькою ймовірністю та подій, не передбачених у проєкті.

3.3 Зважаючи на те, що на сьогодні існує доволі багато різноманітних проєктів ММР, можна очікувати, що зони аварійного планування ММР будуть відрізнятися за розмірами залежно від використаних технологій і результатів аналізів безпеки.

3.4 Можливо, що ММР, побудовані в різних країнах за одним проєктом, будуть мати різні зони аварійного планування, оскільки національні дозові критерії, загальна аварійна інфраструктура в регіоні розташування, політичні фактори та сприйняття громадськістю питань будівництва та подальшої експлуатації ММР можуть бути неоднаковими в різних країнах.



а)



б)

Рисунок 1 – Підхід до встановлення зон навколо АЕС: (а – практика України; б – рекомендації МАГАТЕ).

Пропозиції щодо використання результатів діяльності Форуму та загальні висновки

Пропозиції, які визначені на підставі розгляду звітів [2] – [4], [10] та можуть бути використані під час майбутньої діяльності в рамках ліцензування проєктів ММР в Україні, полягають у такому:

реалізація стратегії ГЕЗ загалом, як фундаментального принципу забезпечення ядерної та радіаційної безпеки, та вимоги щодо необхідності реалізації всіх п'яти рівнів ГЕЗ мають бути застосовними до ММР. Повнота забезпечення незалежності засобів, передбачених проєктом для різних рівнів ГЕЗ, потребує особливої уваги під час регуляторного розгляду проєктних обґрунтувань безпеки;

реалізовані в проєктах ММР принципи внутрішньої самозахисності та інноваційні рішення повинні бути ретельно обґрунтовані, належно кваліфіковані за допомогою верифікації, валідації та тестування, та мають контролюватись під час експлуатації;

у частині детерміністичного та імовірнісного аналізу безпеки вимоги до традиційних АЕС загалом можуть бути застосовані до ММР. Зокрема це стосується:

а) вибору вихідних подій для аналізу із застосуванням системного, логічного та послідовного підходу;

б) урахування всіх експлуатаційних станів;

в) необхідності аналізу зовнішніх та внутрішніх екстремальних впливів;

г) урахування зв'язків між енергоблоками, розташованими на одному майданчику та їх взаємного впливу, можливості виникнення подій, обумовлених зовнішніми впливами на декількох (усіх) енергоблоках майданчика;

урахування багатомодульності АЕС з ММР потребує розроблення окремих рекомендацій;

через відсутність чітко сформульованих нормативних критеріїв і формалізованих методик щодо використання ДП під час проєктування або робіт з аналізу безпеки, загальною світовою регуляторною практикою є експертне застосування ДП з урахуванням класифікації КСЕ за впливом на безпеку, а також використання ризик-інформованих підходів під час ухвалення рішень;

щодо ММР відсутні ґрунтовні аргументи, які свідчать на користь зміни порядку та обсягів ліцензування, що застосовуються до традиційних АЕС. До напрацювання досвіду експлуатації не варто очікувати, що інноваційні рішення, які передбачаються в проєктах ММР, призведуть до послаблення нормативних вимог, спрощення та скорочення строків процесу ліцензування конкретного проєкту ММР;

відсутність досвіду експлуатації та «апробованості» технологій у проєктах ММР зумовлює

підвищені невизначеності, які мають бути встановлені та враховані в обґрунтуваннях безпеки і можуть вимагати впровадження додаткових заходів, додаткових технічних засобів та організаційних заходів забезпечення безпеки, або обмежень щодо режимів експлуатації. На всі ці аспекти необхідно звертати особливу увагу в процесі ухвалення відповідних регулюючих рішень;

підходи, які використовуються в українській нормативній базі до встановлення зон аварійного планування та визначення їх розмірів, відповідають підходам, що використовуються у міжнародній практиці, та можуть бути застосовані під час визначення зон аварійного планування ММР у процесі здійснення діяльності з впровадження технологій ММР в Україні. Концепція відстаней аварійного планування в українській нормативній базі ще не запроваджена, проте, на сьогодні здійснюється приведення національних загальних критеріїв у відповідність до існуючих стандартів МАГАТЕ;

відсутність конкретної та повної інформації щодо проєктів ММР та відсутність досвіду їх ліцензування не дозволяє на цей час визначити детальні вимоги та підходи, які мають бути відображені в національних нормативних документах для врахування специфіки ММР. Водночас, за результатами діяльності Форуму [2] – [4], [10] визначено перелік технічних питань, які потребують опрацювання на рівні рекомендацій МАГАТЕ та інших міжнародних організацій. До розроблення таких настанов, необхідність внесення змін до національної нормативної бази з ядерної та радіаційної безпеки є передчасною. Як «підготовчі заходи» вважається доцільним дотримання (наскільки можливо) нейтрального щодо технологічних особливостей проєкту (тобто, не пов'язаного з конкретним типом реакторної установки, енергоблока, АЕС загалом) підходу в формулюваннях нормативних вимог під час розроблення нових або перегляду існуючих національних норм та правил з ядерної та радіаційної безпеки.

Загалом зазначимо про високу корисність вивчення досвіду ядерних регуляторів держав-членів МАГАТЕ, в яких активно розвиваються технології ММР із напрацювання консолідованих позицій за низкою важливих питань та підходів до регулювання безпеки цих новітніх ядерних установок. Тому, доцільно продовжувати детальне вивчення результатів діяльності Форуму з метою отримання, без сумніву, унікальної інформації щодо потенційних шляхів вирішення наріжних питань безпеки. Наприкінці поточного року, в межах зазначеної діяльності, очікується завершення розроблення пропозицій з гармонізації регуляторних практик на підставі визначених спільних позицій щодо:

питань, які виникають у процесі ліцензування; змісту та обсягу проєктних обґрунтувань та аналізів безпеки;

виготовлення, введення в експлуатацію та експлуатації MMP.

Уже зараз на сторінці сайту МАГАТЕ, присвяченій діяльності Форуму (<https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/smr-regulators-forum>), можна ознайомитись із проєктами технічних звітів [13] – [15] з результатами опрацювання робочими групами Форуму цих питань. Вивчення інформації звітів [13] – [15] (після завершення їх розроблення), безперечно, покращить загальне розуміння регуляторного ставлення до актуальної проблематики використання технологій MMP у світі та дозволить підсилити готовність до вирішення відповідного кола питань, які можуть виникнути з початком діяльності з впровадження зазначених технологій в Україні.

Список використаної літератури

1. Terms of Reference. Small Modular Reactor (SMR) Regulators' Forum. July 2020. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/07/smr-rf-tor-july-2020.pdf>.
2. SMR Regulators' Forum. Pilot Project Report: Considering the Application of a Graded Approach, Defence-in-Depth and Emergency Planning Zone Size for Small Modular Reactors. January 2018. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-no-appendixes-150118.pdf>.
3. SMR Regulators' Forum. Pilot Project Report: Report from Working Group on Defence-In-Depth. January 2018. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-appendix-iii-150118.pdf>.
4. SMR Regulators' Forum. Pilot Project Report: Report from Working Group on Graded Approach. January 2018. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-appendix-ii-150118.pdf>.
5. GSR Part 1 (Rev.1). Governmental, legal and regulatory framework for safety. General safety requirements. Vienna: IAEA, 2016. 67 p.
6. GSR Part 4 (Rev.1). Safety Assessment for Facilities and Activities. General Safety Requirements. Vienna: IAEA, 2016. 63 p.
7. SSR-1. Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Requirements. Vienna: IAEA, 2019. 56 p.
8. SSR-3. Safety of Research Reactors. Specific Safety Requirements. Vienna: IAEA, 2016. 152 p.
9. SSR-4. Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities. Specific Safety Requirements. Vienna: IAEA, 2017. 160 p.
10. SMR Regulators' Forum. Pilot Project Report: Report from Working Group on Emergency Planning Zone. January 2018. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-appendix-iv-150118.pdf>.
11. GSR Part 7. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. General Safety Requirements. Vienna: IAEA, 2015. 136 p.

12. EPR-NPP Public Protective Actions 2013. Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor. Vienna: IAEA, 2013. 159 p.

13. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Licensing Issues Working Group. Report on Key Regulatory Interventions during a Small Modular Reactor Lifecycle. Interim Report. 15 December 2019. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/19/12/smr_rf_kri_interim_report.pdf.

14. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Manufacturing, Construction, Commissioning and Operations Working Group. Report on Manufacturability, Supply Chain Management and Commissioning of Small Modular Reactors. Interim Report. 15 December 2019. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/19/12/smr_rf_mco_interim_report.pdf.

15. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Design and Safety Analysis Working Group Report on Multi-unit/Multi-module aspects specific to SMRs. Interim Report. 15 December 2019. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/19/12/smr_rf_dsa_interim_report.pdf.

References

1. Terms of Reference. Small Modular Reactor (SMR) Regulators' Forum. July 2020. Retrieved from: <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/07/smr-rf-tor-july-2020.pdf>.
2. SMR Regulators' Forum. Pilot Project Report: Considering the application of a graded approach, defence-in-depth and emergency planning zone size for small modular reactors. January 2018. Retrieved from: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-no-appendixes-150118.pdf>.
3. SMR Regulators' Forum. Pilot Project Report: Report from working group on defence-in-depth. January 2018. Retrieved from: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-appendix-iii-150118.pdf>.
4. SMR Regulators' Forum. Pilot Project Report: Report from Working Group on Graded Approach. January 2018. Retrieved from: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-appendix-ii-150118.pdf>.
5. GSR Part 1 (Rev.1). Governmental, legal and regulatory framework for safety. General safety requirements. Vienna, IAEA, 2016, 67 p.
6. GSR Part 4 (Rev.1). Safety assessment for facilities and activities. general safety requirements. Vienna, IAEA, 2016, 63 p.
7. SSR-1. Site evaluation for nuclear installations. Specific Safety Requirements. Vienna, IAEA, 2019, 56 p.
8. SSR-3. Safety of research reactors. Specific Safety Requirements. Vienna, IAEA, 2016, 152 p.
9. SSR-4. Safety of nuclear fuel cycle facilities. Specific Safety Requirements. Vienna, IAEA, 2017, 160 p.
10. SMR Regulators' Forum. Pilot Project Report: Report from working group on emergency planning zone. January 2018. Retrieved from: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-appendix-iv-150118.pdf>.
11. GSR Part 7. Preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. General Safety Requirements. Vienna, IAEA, 2015, 136 p.

12. EPR-NPP Public Protective Actions 2013. Actions to protect the public in an emergency due to severe conditions at a light water reactor. Vienna, IAEA, 2013, 159 p.

13. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Licensing issues working group. Report on key regulatory interventions during a small modular reactor lifecycle. Interim Report. 15 December 2019. Retrieved from: https://www.iaea.org/sites/default/files/19/12/smr_rf_kri_interim_report.pdf.

14. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Manufacturing, construction, commissioning and operations working group. Report on manufacturability, supply chain management and commissioning of small modular reactors. Interim Report. 15 December 2019. Retrieved from: https://www.iaea.org/sites/default/files/19/12/smr_rf_mco_interim_report.pdf.

15. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Design and safety analysis working group report on multi-unit/multi-module aspects specific to SMRs. Interim Report. 15 December 2019. Retrieved from: https://www.iaea.org/sites/default/files/19/12/smr_rf_dsa_interim_report.pdf.

Application of SMR Regulators' Forum Results for SMR Licensing in Ukraine

Balashavska Yu.¹, Zhabin O.¹, Pecherytsia O.¹, Plachkov H.², Ryzhov D.¹, Shevchenko I.¹

¹State enterprise «State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation safety», Kyiv, Ukraine

²State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine, Kyiv, Ukraine

In the near future, small modular reactors (SMR) potentially will play a significant role in global sustainable energy development through the growing interest in SMR implementation in both countries with developed nuclear industry (for example, in Ukraine) and countries that only start launching their nuclear energy programs. At present, there are about 50 SMR designs developed

using different reactor technologies in various stages of readiness. The novelty and uniqueness of some fundamental decisions that are the basis for the specified designs and the lack of resulting of real testing of such decisions have created challenges related to ensuring nuclear and radiation safety during installation and further operation of SMR.

The paper provides general information on the activities of the SMR Regulators' Forum (Forum) created by the International Atomic Energy Agency (IAEA) and countries that actively consider and address the use of SMR in the national energy sector to ensure efficient cooperation in dealing with the specified challenges. The paper presents the results obtained by Forum working groups, the main purpose of which is to develop common positions on issues that have already arisen or are likely to arise during the expected licensing of SMR designs in a number of countries, in particular: demonstration of comprehensive implementation of defense in depth strategy in design safety justification; use of the graded approach within the licensing process; approaches to defining zones and distances in emergency planning around NPPs with SMR. In addition, the working groups defined the best practice and approach to considering the specified issues in licensing SMR designs.

Based on the performed review, the paper provides proposals for using the available Forum results during planning and licensing of SMR designs in Ukraine and states on the need for a detailed study of its further activities.

Keywords: licensing, SMR, defense in depth, graded approach, zones and distances in emergency planning.

Отримано 27.07.2020.