

# Застосування результатів другого етапу роботи Форуму регуляторів ММР у межах ліцензування проєктів ММР в Україні

■ **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>

■ **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>

■ **Григораш Олександр Віталійович**

Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3892-6779>

■ **Шепітчак Андрій Васильович**

Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4469-9653>

У статті містяться загальні відомості щодо напрямів і результатів діяльності другого етапу Форуму регуляторів малих модульних реакторів. Наведено огляд отриманих робочими групами Форуму результатів, які полягають у напрацюванні спільних позицій за питаннями, які вже виникали або, з високою ймовірністю, виникнуть під час очікуваного в низці країн ліцензування проєктів малих модульних реакторів, а саме: ліцензування малих модульних реакторів; проєктування та аналіз безпеки малих модульних реакторів; виготовлення, введення в експлуатацію та експлуатація малих модульних реакторів. Основну увагу на цьому етапі роботи Форуму приділено таким аспектам безпеки як організація регуляторного нагляду впродовж життєвого циклу таких реакторів і ключові регуляторні втручання, особливості впровадження першого з однотипних реакторів в умовах обмеженого досвіду експлуатації і зменшення пов'язаних з цим невизначеностей, створення системи збору та використання досвіду, врахування людського фактору, пасивні системи, особливості обґрунтування надійного виконання ними заданих функцій та застосовність принципу одиначної відмови, використання спільних конструкцій і систем на енергоблоках з декількома модулями, а також на багатоблокових АЕС, врахування можливості впливу зовнішніх подій на декілька блоків, що розташовані на майданчику, врахування розширених проєктних умов (включно з важкими аваріями) в обґрунтуванні безпеки та проєктні заходи для їх подолання, організація суміжних і комбінованих видів діяльності на майданчику багатоблокової АЕС.

Стаття містить пропозиції щодо використання результатів діяльності Форуму під час планування та здійснення ліцензування малих модульних реакторів в Україні.

Ключові слова: ліцензування, малі модульні реактори, глибокоешелонований захист, аналіз безпеки, ядерна та радіаційна безпека, державний нагляд.

© Жабін О. І., Печериця О. В., Шевченко І. А., Григораш О. В., Шепітчак А. В., 2022

Поточні вимоги з ядерної та радіаційної безпеки (ЯРБ) значною мірою ґрунтуються на досвіді, отриманому під час регуляторної оцінки та ліцензування енергоблоків АЕС з легководними реакторами великої потужності на низькозбагаченому урановому ядерному паливі. І хоча фундаментальні принципи та вимоги безпеки верхнього рівня, наведені в документах Міжнародного агентства з ядерної енергії (МАГАТЕ), міжнародних конвенціях, національній законодавчій та нормативній базі з ЯРБ, переважно є технологічно-нейтральними, сформовані на їх основі детальні вимоги, які знаходяться на більш низьких рівнях піраміди регуляторних документів, зазвичай враховують технологічні особливості типових проєктів АЕС і досвід їх експлуатації [1].

Зважаючи на наявні ключові відмінності малих модульних реакторів (ММР) від традиційних енергоблоків АЕС великої потужності постає питання щодо застосовності та достатності існуючої нормативної бази, а також прийнятності та збалансованості встановленого порядку ліцензування як з погляду забезпечення належного рівня безпеки експлуатації ММР, так і з погляду відсутності зайвих перешкод під час впровадження новітніх технологій у ядерній енергетиці. Зокрема, низка розробників ММР, представників ядерної енергетики та інших зацікавлених сторін, посилюються на унікальні особливості ММР виступають за пом'якшення регуляторних вимог, їх зміну/адапування та спрощення процесу ліцензування.

З метою обговорення регуляторних аспектів впровадження та експлуатації ММР, МАГАТЕ в 2015 році створено Форум регуляторів з ММР, до складу якого увійшли представники регулюючих органів дев'яти країн-учасниць МАГАТЕ, а саме США, Великобританії, Канади, Китаю, Фінляндії, Франції, російської федерації, Саудівської Аравії та Південної Кореї. Очікувані результати роботи Форуму охоплюють [2]:

- формування позиції щодо регуляторних питань;
- розроблення рекомендацій щодо внесення змін до раніше опублікованих документів МАГАТЕ або розроблення нових документів;

- підготовку інформації, яка допоможе регулюючим органам удосконалити нормативну базу під час впровадження новітніх технологій ММР у ядерній енергетиці;

- звітування щодо проблемних питань регулювання та розгляд способів їх розв'язання;

- розроблення пропозицій щодо змін у міжнародні кодекси та стандарти.

Роботу Форуму було організовано як пілотний проєкт, який виконувався впродовж 2015-2017 років і досліджував питання застосовності до ММР вимог щодо визначення зон аварійного планування, реалізації принципів диференційованого підходу і стратегії глибокоешелонованого захисту (ГЕЗ). Успішним завершенням проєкту стало розроблення звіту [3], в якому містяться напрацьовані спільні регуляторні позиції щодо зазначених питань, а також визначено кращі практики та підходи до розгляду цих питань під час ліцензування проєктів ММР. Огляд результатів пілотного проєкту наведено в статті [4].

У листопаді 2017 року розпочато другий етап роботи Форуму і створено три робочі групи для розгляду питань ліцензування, проєктування та аналізу безпеки, а також виготовлення, введення в експлуатацію та експлуатації ММР. Зокрема ці робочі групи сконцентрували свою роботу на проблемних питаннях, які були визначені під час пілотного проєкту [2]. Як і в пілотному проєкті, на завершення другого етапу в 2021 році кожною з робочих груп розроблено відповідні звіти [5]–[7], а також видано сумісний анотаційний звіт [8]. Результати напрацювань робочих груп у межах другого етапу роботи Форуму далі висвітлені в статті більш детально.

### Питання ліцензування ММР

Основними питаннями, які розглянуто робочою групою з питань ліцензування ММР, є такі [2]:

- ключові регуляторні заходи впродовж життєвого циклу ММР;

- потенційні проблеми процесу ліцензування проєкту першого та наступних ММР однієї серії;

- ліцензування будівництва нових багатомодульних та багатоблокових АЕС.

Регуляторний нагляд за ЯРБ здійснюється на всіх етапах життєвого циклу ядерної установки. На кожному з етапів національною законодавчою та нормативною базою передбачаються певні точки контролю, які надають регулюючому органу можливість перевірити та переконатись, що діяльність

здійснюється відповідно до встановлених вимог і умов дозвільних документів та забезпечується захист персоналу, населення і довкілля від неприпустимого радіаційного впливу, пов'язаного з діяльністю у сфері використання ядерної енергії.

Як зазначається в [5], [8], специфічні особливості ММР (заводське виготовлення, можливість транспортування повністю завантаженого паливом модуля для деяких проєктів ММР тощо) вимагають перегляду процедур та визначення нових точок регуляторного контролю. Для стратегічно важливих точок контролю впродовж життєвого циклу установки пропонується ввести термін «ключове регуляторне втручання» (КРВ). Таке втручання може бути ініційовано як регулюючим органом, так і ліцензіатом, а його ступінь може змінюватись від введення більш пильного контролю за діяльністю ліцензіата до призупинення такої діяльності до моменту ухвалення відповідного регулюючого рішення.

Критерії, за якими регулюючим органам пропонується визначати необхідність КРВ, наведені в підрозділі 1.3.1 [5] і серед іншого охоплюють ступінь впливу на ризик або безпеку етапу життєвого циклу, складність проєкту загалом або частини, що потребує втручання, новизна та відсутність апробації проєкту або його частини, початок основних етапів введення в експлуатацію (зокрема для першого ММР з серії). Загальною характеристикою цих критеріїв є те, що вони становлять підвищений ризик і, якщо не виконані ліцензіатом належним чином, можуть надалі становити проблеми або зумовити приховані недоліки, які впливають на безпеку.

Під час ліцензування регулюючому органу потрібно враховувати вихід на ринок ММР нових організацій, які не мають того досвіду, що очікується від традиційних та більш досвідчених компаній у сфері проєктування, будівництва та експлуатації об'єктів атомної енергетики, а також обмежений досвід самого регулюючого органу щодо технологій, які впроваджуються. За необхідності мають бути передбачені цільові навчальні програми.

Для перших ММР з серії стандарти ліцензування не повинні знижуватись. Навпаки, для таких установок очікується введення додаткових вимог щодо підтвердження їх безпеки, що потребує наявності в регулюючому органу певної свободи. Водночас має бути забезпечена послідовність у застосуванні регуляторних вимог під час розвитку проєкту від першого до серійних ММР, що може бути досягнуто застосуванням принципів безпеки високого рівня (див., наприклад, [1], [9]) з використанням диференційованого підходу.

З метою підтвердження достатності запасів для покриття невизначеностей проєкту для перших ММР з серії також може знадобитись встановлення додаткових засобів безпеки, засобів управ-

ління під час виходу на потужність, експлуатації, проведення приймальних випробувань, контрольно-вимірювальної апаратури тощо. По мірі переходу від першої установки до серійної регулюючому органу потрібно ретельно оцінювати вплив поступових змін проєкту на безпеку. Водночас, необхідно знайти адекватний баланс між наданням можливості еволюції проєкту та забезпеченням безпеки.

Оскільки деякі проєкти ММР передбачають можливість переміщення для роботи в іншому місці, для обслуговування (в межах майданчика або з переміщенням на завод) або перевантаження (з тимчасовою заміною модуля на інший або без неї), під час ухвалення рішення щодо видачі ліцензії мають розглядатись усі аспекти повного життєвого циклу модуля/блока. Необхідно враховувати, що в межах багатомодульних та багатоблокових АЕС різні модулі/установки можуть знаходитись на різних стадіях життєвого циклу, а також мати певні відмінності в конфігурації, що має належним чином контролюватись ліцензіатом. Регулюючий орган повинен переконатись у наявності в ліцензіата достатніх можливостей для здійснення передбачених ліцензією видів діяльності, а також мати достатні повноваження для підтвердження того, що ліцензіат має достатній контроль та здійснює нагляд за діяльністю власного персоналу та ключових підрядників. Навіть у випадках, коли різні модулі / блоки багатомодульної / багатоблокової АЕС фінансуються та належать різним організаціям, очікується, що діяльність такої АЕС здійснюється єдиним ліцензіатом [8].

З питаннями багатомодульності та багатоблоковості тісно пов'язана низка різноманітних аспектів, таких як потенційний вплив / взаємодія поміж різними модулями, можливість спільного використання систем та засобів безпеки, вплив зовнішніх екстремальних подій на різні модулі, людський фактор (наприклад, організація блокового щита управління (БЩУ), можливість обслуговування декількох модулів, мінімальна кількість персоналу зміни) тощо. Зважаючи на це такі питання розглядалися кожною з робочих груп з урахуванням їх специфіки. Зокрема, щодо використання спільних систем на багатомодульних / багатоблокових АЕС робочою групою з питань ліцензування визначено, що регулюючий орган має переконатись у такому:

передбачено, за необхідності, можливість виконання функцій безпеки для кожного модуля / блока; враховано вплив використання спільних конструкцій, систем, елементів на загальний ризик;

продемонстровано достатню потужність системи відведення тепла кінцевому поглиначу для виконання необхідних функцій безпеки у разі порушень нормальної експлуатації та в аварійних умовах з урахуванням сумарного теплового навантаження усіх модулів/блоків.

Також робочою групою в [5], [8] надано рекомендації щодо спільного персоналу та спільних БЦУ багатомодульних / багатоблокових АЕС (рисунки 1-2).

Зокрема, потрібно підтвердити:

належну організацію підготовки персоналу та перевірки знань щодо конструкції різних проєктів установок і відповідних процедур;

розроблення аварійних планів для майданчика загалом і врахування в них можливості виникнення подій на декількох енергоблоках, розташованих на цьому майданчику;

достатність персоналу БЦУ, врахування людського фактора і його відображення в документації, що подається для отримання ліцензії, а також організацію процесу контролю за конфігурацією (що має входити до переліку питань програми інспекційних заходів регулюючого органу);

врахування ситуації, за якої управління з спільного БЦУ є неможливим.

### Проектування та аналіз безпеки ММР

Робочою групою з проектування та аналізу безпеки ММР розглянуто такі основні питання [2]:

специфічні до ММР аспекти багатомодульності та багатоблоковості;

особливості застосування в проєктах ММР пасивних засобів безпеки та внутрішньої самозахисності;

особливості аналізу запроєктних аварій на ММР.

Основні напрацювання цієї робочої групи, спрямовані на вирішення поставлених питань, задокументовані в [6], [8] та стисло описані нижче.

Щодо термінології робочою групою зауважено, що модульний реактор розглядається як реакторна установка (ядерна парогенеруюча установка), проєкт якої дозволяє в безпосередній близькості до неї додавати до тієї самої інфраструктури інші реакторні установки подібної (майже ідентичної) конструкції. І хоча ММР характеризуються більш високим ступенем використання спільних конструкцій, систем та елементів, ніж традиційні установки, в багатьох проєктах ММР передбачається, що експлуатація кожного модуля може здійснюватися відносно незалежно від стану завершення будівництва або умов експлуатації іншого модуля такого енергоблока.

Проектні рішення щодо багатоблоковості та багатомодульності і пов'язані з цим питання безпеки мають розглядатись для кожного з рівнів ГЕЗ, а саме щодо впливу на безпеку нормальної експлуатації та у разі порушень нормальної експлуатації тощо.

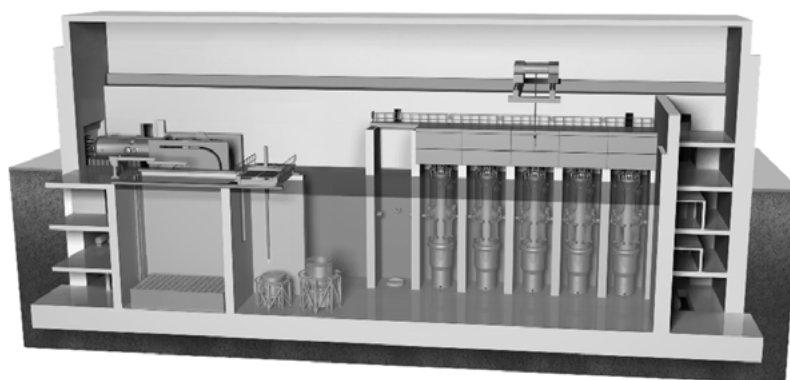


Рисунок 1 – Проєкт багатомодульної АЕС з ММР NuScale [10]



Рисунок 2 – Управління багатомодульною АЕС (БЦУ симулятора 12-модульного енергоблока АЕС з ММР NuScale)

Існуюча в деяких країнах вимога щодо необхідності підтвердження для систем, важливих для безпеки, які є спільними для декількох енергоблоків, відсутності негативного впливу такого проєктного рішення на виконання функцій безпеки кожного з енергоблоків, має бути застосовною й до ММР.

Серед іншого, поширене використання спільних конструкцій, систем та елементів має враховуватись під час формування переліку вихідних подій для аналізу безпеки багатомодульних енергоблоків та багатоблокових АЕС. Наприклад, мають враховуватись відмови в системах поведіння з ядерним паливом, які використовуються декількома реакторними установками.

Для модулів та енергоблоків, які вводяться в експлуатацію або обслуговування яких виконується послідовно, має бути продемонстровано, що екстремальні впливи, виникаючі на одному енергоблоці або модулі під час його будівництва, експлуатації або обслуговування, не призводять до значущих для безпеки наслідків на суміжних енергоблоках/модулях, або що такі наслідки належним чином враховані. Вважається доцільним як для розробників проєкту, так і для регулюючих органів оцінити ризик для майданчика загалом, розробивши методи поєднання (агрегації) ризиків від різних джерел, що розташовані на майданчику.

Звертається увага на недостатність регуляторних настанов щодо врахування людського фактора на багатоблокових АЕС. З огляду на це особливу увагу потрібно приділити валідації застосованих під час проєктування підходів за цим напрямом з метою підтвердження безпечної експлуатації та реагування на найбільш витратні щодо ресурсів умови, включно з подіями, які впливають на декілька модулів / енергоблоків, у всіх режимах їх експлуатації. Аналогічно потрібно проаналізувати та продемонструвати достатність технічних засобів, людських ресурсів, витратних матеріалів та інші аспекти аварійного реагування з погляду впливу аварії на одному енергоблоці на дії з управління аваріями та аварійного реагування на інших блоках.

Зважаючи на широке використання у проєктах ММР пасивних систем робоча група вважає доцільним розробити більш детальні рекомендації та вимоги щодо обсягів обґрунтування їх роботи з погляду безпеки з урахуванням категорій таких систем відповідно до [11], [12]. Прийнятною вважається будь-яка комбінація активних і пасивних систем безпеки за умови виконання принципів ГЕЗ та проєктування систем безпеки. Водночас, перевага надається властивостям внутрішньої самозахищеності, пасивним системам або постійно працюючим системам і, в останню чергу, системам, які потребують введення в роботу (рисунок 3).

Важливим для ідентифікації видів відмов пасивних систем і аналізу їх надійності є визначення розробником проєкту чітких критеріїв, які харак-

теризують рушійні сили в цих системах, і умов, здатних суттєво погіршити ефективність або передбачуваність їх роботи. Під час обґрунтування безпеки установки, зокрема першої з однотипної серії, невизначеності щодо характеристик систем та властивостей внутрішньої самозахищеності мають із застосуванням системного підходу бути виявлені та враховані в результатах розрахунково-аналітичних та експериментальних (на інтегральних стендах, прототипах) обґрунтувань, реалізованих у проєкті, компенсуючих заходах (за необхідності), передбачених діях персоналу та інших заходах, спрямованих на підтвердження заданих характеристик і отримання даних щодо досвіду експлуатації.

Принцип одиничної відмови для пасивних систем може не застосовуватись, якщо надійність системи забезпечується в інший спосіб і обґрунтована, а врахування цього принципу в проєкті системи (наприклад, завдяки резервуванню) не є практично доцільним.

Щодо аналізу запроєктних аварій (за оновленою термінологією – розширених проєктних умов), проведення якого, як частини обґрунтування безпеки, передбачено вимогою 20 документа МАГАТЕ SSR-2.1 (Rev.1) [13], робоча група підтверджує застосовність цієї вимоги до ММР. Зокрема, звертається увага на необхідність проведення аналізу розвитку вихідних подій у припущенні відмови або деградації бар'єрів безпеки на рівнях 1-3 ГЕЗ для визначення вразливості установки до важких аварій і підтвердження ефективності передбачених проєктом засобів для запобігання таким аваріям і мінімізації їх наслідків. Відзначається, що для деяких інноваційних проєктів ММР (наприклад, для рідкосольових реакторів) термін «плавлення ядерного палива», який зазвичай асоціюється

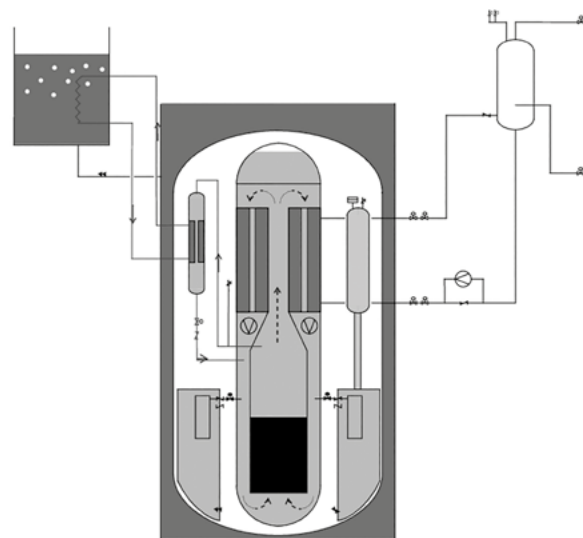


Рисунок 3 – Пасивні системи проєкту ММР Westinghouse [14]

з важкими аваріями, може бути незастосовним, в зв'язку з чим критерії, які характеризують важку аварію, мають бути спільно визначеними регулюючим органом та розробниками ММР.

Розробниками має бути продемонстровано, як саме стратегія ГЕЗ щодо наявності незалежних бар'єрів на шляху розвитку аварій реалізована в засобах безпеки, а також обґрунтовано вибір таких засобів. Для забезпечення виконання фундаментальних функцій безпеки, зокрема функції утримання радіоактивних продуктів поділу в гермооб'ємі, в усіх (наскільки це практично виправдано) можливих сценаріях важких аварій мають бути передбачені засоби безпеки на рівні 4 ГЕЗ. Також, для поліпшення стійкості до множинних відмов необхідно розглянути можливість впровадження додаткових засобів для сценаріїв з множинними відмовами.

Розробники ММР з використанням системного підходу мають визначити ймовірні сценарії важких аварій включно з тими, які мають досить малу ймовірність виникнення, а заяви щодо запобігання важким аваріям передбаченими в проєкті засобами мають бути підкріплені аналізом та категоризацією наслідків, пов'язаних з відмовою таких засобів, без урахування пом'якшуючих дій персоналу.

#### **Виготовлення, введення в експлуатацію та експлуатація ММР**

Основні питання, які розглядались робочою групою з виготовлення, введення в експлуатацію та експлуатації ММР, охоплюють [2]:

можливості промислового виготовлення, управління ланцюгом поставок і введення ММР в експлуатацію;

збір та використання досвіду впродовж життєвого циклу ядерних установок з ММР;

здійснення суміжних та комбінованих видів діяльності на майданчику багатоблокової АЕС з ММР.

Здебільшого результати обговорення за першим питанням стосуються взаємодії ліцензіата з організаціями-розробниками проєкту, виробниками та постачальниками. Щодо регулюючих вимог у [7] звертається увага на важливість впровадження принципів культури безпеки як ліцензіатом, так і його підрядниками та постачальниками, використання застосовних кодексів та стандартів, які регламентують виготовлення обладнання та пов'язані з цим операції, а також необхідність впровадження ліцензіатом спрямованої на безпеку системи управління, яка, серед іншого, передбачає підтвердження кваліфікації постачальників та контроль за їх діяльністю.

Особливої уваги регулюючого органу потребують проєкти ММР, які передбачають завантаження модуля ядерним паливом у заводських умовах та транспортування модулів до місця використання,

оскільки ці операції потребують ліцензування та регулюючого контролю.

Щодо збору та використання досвіду впродовж життєвого циклу ядерних установок з ММР зауважимо, що ця діяльність, відповідальність за яку згідно з вимогами ЯРБ [15] покладено на експлуатуючу організацію (ліцензіата), є одним з організаційно-технічних принципів безпеки. Ліцензіат, зі свого боку, має поширити систему застосування досвіду на постачальників та підрядників, залучених до виконання робіт, які впливають на безпеку [7], а регулюючий орган має незалежно від ліцензіата підтвердити впровадження ефективної системи збору та використання досвіду.

З урахуванням цього, інфраструктура накопичення інформації з досвіду щодо ММР має бути створена заздалегідь і враховувати різноманітні потреби зацікавлених сторін, які можуть поширюватись за межі конкретної країни. Необхідно передбачити механізми передачі такої інформації для забезпечення можливості технічної кооперації та ухвалення рішень. Це, відповідно, вимагає підписання угод між розробниками ММР, ліцензіатами та іншими зацікавленими сторонами для забезпечення можливості обміну інформацією із збереженням прав інтелектуальної власності [7].

Останнє з питань, що розглянуто робочою групою, охоплює такі аспекти як:

організація послідовного будівництва блоків, їх введення в експлуатацію та експлуатація, включно з додаванням нових блоків для підвищення загальної потужності АЕС;

експлуатація та обслуговування блоків, які знаходяться в різних експлуатаційних станах та/або в разі виникнення вихідних подій;

комплектація експлуатаційним та ремонтним персоналом з урахуванням технологічних особливостей та ступеня їх апробації;

проведення обслуговування та/або капітальних ремонтів/реконструкцій в умовах експлуатації інших енергоблоків.

У цих аспектах розробниками, виробниками та ліцензіатами ММР може бути вивченим та застосованим наявний досвід будівництва та експлуатації традиційних багатоблокових АЕС.

Зокрема, учасники робочої групи в [7], [8] зазначають, що всі види суміжних та комбінованих видів діяльності на майданчику багатоблокової АЕС мають бути розглянуті в обґрунтуванні безпеки установки. Види діяльності, які є потенційно вразливими з погляду ризику від пов'язаних або комбінованих видів діяльності, мають бути виявлені, проаналізовані з використанням системного підходу та відображені у звіті з безпеки АЕС загалом, а також враховані в плані будівництва АЕС.

Кожне розширення суміжних видів діяльності має супроводжуватись співставним ступінчастим підсиленням заходів управління ризиком та орга-

нізаційних можливостей і передбачатись планом будівництва АЕС. Експлуатуюча організація повинна підтримувати здатність виконувати покладені функції з урахуванням впровадження нових (додаткових) модулів на АЕС.

Важливу роль відіграють такі складові культури безпеки як:

обізнаність робітників щодо наявних обмежень з виконання суміжних та комбінованих робіт з погляду впливу на безпеку;

визначеність сфер відповідальності ліцензіата та ключових підрядників, залучених до будівництва, введення в експлуатацію, обслуговування;

впровадження інтегрованої системи процесів та засобів виявлення пов'язаних видів діяльності, визначення їх потенційного ризику та впровадження необхідних заходів для запобігання та пом'якшення подій, які можуть вплинути на безпеку.

Особливу увагу потрібно приділити ситуаціям монтажу або введення в експлуатацію нового модуля в безпосередній близькості до модулів, що знаходяться в експлуатації тощо.

Програма введення в експлуатацію багатоблокової АЕС має розглядати АЕС як цілісний комплекс і передбачати накопичення та врахування досвіду експлуатації по мірі спорудження нових енергоблоків майданчика. По мірі впровадження нових блоків діяльність і результати введення в експлуатацію спільних систем мають переглядатись для підтвердження здатності виконання заданих функцій із забезпечення функцій безпеки, як передбачено в аналізі безпеки.

Також виокремлюється важливість впровадження ліцензіатом програми управління конфігурацією, яка охоплює АЕС загалом, належним чином враховує людський фактор (зокрема в разі експлуатації декількох енергоблоків з одного БЦУ) і запобігає помилкам персоналу та виникненню прихованих проблем, що впливають на безпеку.

### Пропозиції та загальні висновки

Загарбницька війна російської федерації проти України, яка наразі триває, матиме довгострокові негативні наслідки для нашої країни, та зумовить необхідність її тривалого відновлення у всіх без винятку сферах. Не зважаючи на це, впровадження новітніх технологій в енергетичному секторі, на думку авторів статті, буде одним з ключових питань державної стратегії відбудови та подальшого розвитку України після нашої перемоги. Напрацювання робочих груп Форуму, що детально наведені в звітах [5]-[8] і висвітлені в цій статті, є корисними та мають бути використані під час діяльності Державної інспекції ядерного регулювання (Держатомрегулювання) та Державного підприємства «Державний науково-технічний

центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДНТЦ ЯРБ) з підготовки до ліцензування нових ядерних установок, зокрема ММР, в Україні. Насамперед йдеться про такі поточні складові цієї діяльності:

виконання ДНТЦ ЯРБ завдання «Розробка нормативного документа "Положення з передліцензійної оцінки проєкту ядерної установки"» в межах програми співпраці Держатомрегулювання та Комісії ядерного регулювання США;

виконання ДНТЦ ЯРБ проєкту з порівняльного аналізу нормативної бази України та основ, які закладені в проєкт ММР NuScale в межах контракту з компанією NuScale, США;

виконання ДНТЦ ЯРБ проєкту «Надання підтримки в проведенні технічної оцінки проєкту ММР США (пілотна фаза)» в межах контракту з Аргонською національною лабораторією, США;

участь Держатомрегулювання та ДНТЦ ЯРБ у програмі «Основна інфраструктура для відповідального використання технологій ММР», (FIRST) Державного Департаменту США.

Результати роботи Форуму, наведені в [4], вже використовуються ДНТЦ ЯРБ під час реалізації зазначених вище проєктів, спрямованих на підтримку та зміцнення регуляторного потенціалу Держатомрегулювання з урахуванням майбутніх викликів, які полягатимуть у необхідності проведення, на підставі найкращих міжнародних практик, компетентного розгляду результатів оцінки безпеки розміщення в Україні нових ядерних установок у післявоєнний час. Застосування матеріалів [5]-[8] у межах зазначених вище проєктів та подальшої запланованої діяльності з їх продовження безперечно підсилить регуляторну визначеність у виборі оптимальних способів, напрямів та обсягів цього розгляду.

### Список використаної літератури

1. Hierarchical structure of safety goals for nuclear installations. IAEA-TECDOC-1874. Vienna: IAEA, 2019. URL: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1874web.pdf>.
2. Small Modular Reactor (SMR) Regulators' Forum. Інформаційна сторінка МАГАТЕ щодо Форуму регуляторів ММР. URL: <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/smr-regulators-forum>.
3. 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>.
4. Балашевська Ю. В., Жабін О. І., Печериця О. В., Плачков Г. І., Рижов Д. І., Шевченко І. А. Застосування результатів роботи Форуму регуляторів ММР у рамках ліцензування проєктів ММР в Україні. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2020. № 3(87). С. 4-12. doi: 10.32918/nrs.2020.3(87).01.

5. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Working Group on Licensing Issues. Phase 2 Report. June 2021. URL: [https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working\\_group\\_on\\_licensing\\_issues\\_phase\\_2\\_report.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working_group_on_licensing_issues_phase_2_report.pdf)

6. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Working Group on Design and Safety Analysis. Phase 2 Report. June 2021. URL: [https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working\\_group\\_on\\_design\\_and\\_safety\\_analysis\\_phase\\_2\\_report.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working_group_on_design_and_safety_analysis_phase_2_report.pdf)

7. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Working Group on Manufacturing, Construction, Commissioning and Operation. Phase 2 Report. June 2021. URL: [https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working\\_group\\_on\\_manufacturing\\_construction\\_commissioning\\_and\\_operation\\_phase\\_2\\_report.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working_group_on_manufacturing_construction_commissioning_and_operation_phase_2_report.pdf)

8. SMR Regulators' Forum Phase 2 Summary Report: Covering Activities from November 2017 to December 2020. June 2021. URL: [https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/smr\\_regulators\\_forum\\_phase\\_2\\_summary\\_report.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/smr_regulators_forum_phase_2_summary_report.pdf)

9. Fundamental Safety Principles. Safety Fundamentals No. SF-1. Vienna: IAEA, 2006. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1273\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1273_web.pdf)

10. Langdon K NuScale Small Modular Reactor (SMR) Overview. INPRO Dialogue Forum on Opportunities and Challenges in Small Modular Reactors. Ulsan, Republic of Korea, 2-5 July 2019. URL: <https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df17/IV.5-KenLangdon-NuScale.pdf>

11. Safety Related Terms for Advanced Nuclear Plants. IAEA-TECDOC-626. Vienna: IAEA, 1991. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_626\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_626_web.pdf)

12. Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants. IAEA-TECDOC-1624. Vienna: IAEA, 2009. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1624\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1624_web.pdf)

13. Safety of Nuclear Power Plants: Design. IAEA Safety Standards. Specific Safety Requirements No. SSR-2/1 (Rev.1). Vienna: IAEA, 2016. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf>

14. Smith M. C., Wright R. F. Westinghouse Small Modular Reactor passive safety system response to postulated events. Proceedings of the 2012 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants - ICAPP '12, 2012.

15. Загальні положення безпеки атомних станцій. Затверджено наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 19.11.2007 № 162, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25.01.2008 за № 56/14747. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08#Text>

3. SMR Regulators' Forum. Pilot project report: considering the application of a graded approach, defense-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>

4. Balashevskaya, Yu., Zhabin, O., Pecherytsia, O., Plachkov, H., Ryzhov, D., Shevchenko, I. (2020). Application of SMR regulators' forum results for SMR licensing in Ukraine. *Nuclear and Radiation Safety*, 3(87),4-12. doi: 10.32918/nrs.2020.3(87).01.

5. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Working group on licensing issues. Phase 2 report. June 2021. Retrieved from: [https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working\\_group\\_on\\_licensing\\_issues\\_phase\\_2\\_report.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working_group_on_licensing_issues_phase_2_report.pdf)

6. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Working group on design and safety analysis. Phase 2 report. June 2021. Retrieved from: [https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working\\_group\\_on\\_design\\_and\\_safety\\_analysis\\_phase\\_2\\_report.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working_group_on_design_and_safety_analysis_phase_2_report.pdf)

7. Small Modular Reactors Regulators' Forum. Working group on manufacturing, construction, commissioning and operation. Phase 2 report. June 2021. Retrieved from: [https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working\\_group\\_on\\_manufacturing\\_construction\\_commissioning\\_and\\_operation\\_phase\\_2\\_report.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/working_group_on_manufacturing_construction_commissioning_and_operation_phase_2_report.pdf)

8. SMR Regulators' Forum Phase 2 summary report covering activities from November 2017 to December 2020. June 2021. Retrieved from: [https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/smr\\_regulators\\_forum\\_phase\\_2\\_summary\\_report.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/21/06/smr_regulators_forum_phase_2_summary_report.pdf)

9. Fundamental Safety Principles. Safety Fundamentals. No. SF-1. IAEA, Vienna, 2006. Retrieved from: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1273\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1273_web.pdf)

10. Langdon, K. NuScale small modular reactor (SMR) overview. INPRO Dialogue Forum on Opportunities and Challenges in Small Modular Reactors. Ulsan, Republic of Korea, 2-5 July 2019. Retrieved from: <https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df17/IV.5-KenLangdon-NuScale.pdf>

11. IAEA-TECDOC-626. Safety Related Terms for Advanced Nuclear Plants. IAEA, Vienna, 1991. Retrieved from: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_626\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_626_web.pdf)

12. IAEA-TECDOC-1624. Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants. IAEA, Vienna, 2009. Retrieved from: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1624\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1624_web.pdf)

13. Safety of nuclear power plants: design. IAEA Safety Standards. Specific Safety Requirements No. SSR-2/1 (Rev.1). IAEA, Vienna, 2016. Retrieved from: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf>

14. Smith, M. C., Wright, R. F. Westinghouse small modular reactor passive safety system response to postulated events. Proceedings of the 2012 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants - ICAPP '12, 2012.

15. General Safety Provisions for NPP Safety. Approved by Order No. 162 of the State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine dated 19 November 2007, registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 25 January 2008 under No. 56/14747. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08#Text>

## References

1. IAEA-TECDOC-1874. Hierarchical Structure of Safety Goals for Nuclear Installations. IAEA, Vienna, 2019. Retrieved from: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1874web.pdf>

2. IAEA web-page on Small Modular Reactor (SMR) Regulators' Forum. Retrieved from: <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/smr-regulators-forum>



## **Application of SMR Regulators' Forum Phase 2 Results within Licensing of SMR Designs in Ukraine**

**O. Zhabin<sup>1</sup>, O. Pecherytsia<sup>1</sup>, I. Shevchenko<sup>1</sup>,  
O. Grygorash<sup>2</sup>, A. Shepitchak<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> State Enterprise «State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation safety», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine, Kyiv, Ukraine

This article provides general information on the safety topics and results of Phase 2 of the Small Modular Reactors Regulators' Forum. It provides an overview of the results obtained by the Forum working groups to establish common positions on the issues that have already arisen or are likely to arise during the expected licensing of the small modular reactor design in a number of countries. In particular, the following topics have been addressed by the working groups: licensing of small modular reactors; their design and safety analysis; manufacturing, commissioning and operation of small modular reactors. At this Phase of the Forum, the main effort was focused on safety aspects such as the organization of regulatory control throughout the life cycle of small modular reactors and key regulatory interventions, specifics of licensing of the first of the same type reactors considering a limited experience feedback, reduction of uncertainties associated with a

lack of experience, establishing a system for experience accumulation and use, consideration of human factor, passive systems, specifics of justification of their reliable functional performance and applicability of the single failure principle, use of common structures and systems at multi-module units, as well as at multi-unit NPPs, consideration of external hazards that can affect multiple facilities at the multi-unit sites, consideration of the design extension conditions (including severe accidents) in the safety assessment and design measures to overcome them, organization and conduct of co-activities and combined activities at a multi-unit small modular reactors' site. The article includes proposals on the further use of the Forum results in planning and licensing of small modular reactors in Ukraine.

Keywords: licensing, small modular reactor, defense-in-depth, safety assessment, nuclear and radiation safety, regulatory control.

Отримано 02.05.2022