

Підхід до регуляторної передліцензійної оцінки проєкту ММР іноземного постачальника

■ 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

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8711-0242>

■ Тараканов Сергій Олександрович

Товариство з обмеженою відповідальністю «Холтек Україна», м. Київ, Україна

■ 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>

Нещодавно регулюючим органом Канади (Canadian Nuclear Safety Commission – CNSC) завершено першу фазу передліцензійної оцінки проєкту постачальника (Vendor Design Review – VDR) малого модульного реактора (ММР) SMR-160 американської компанії Holtec International. Зазначена подія є прикладом раннього залучення регулятора до розгляду обґрунтувань безпеки проєкту ММР, розробленого згідно з нормами та правилами іншої країни. Цей приклад, безперечно, заслуговує детального розгляду з огляду на потенційну привабливість впровадження технологій ММР в Україні та існуючий національний інтерес за цим напрямом. У матеріалах статті наведено огляд нормативної бази, яка регламентує виконання CNSC передліцензійної оцінки проєкту постачальника: мети, вихідних умов, основних етапів, технічного наповнення та загальних очікуваних результатів цього процесу. За результатами першої фази оцінки, виконаної для проєкту SMR-160, наведені основні аспекти, які досліджувались за кожним з технічних напрямів оцінки, а також її основні висновки. Зважаючи на доцільність впровадження відповідної передової практики в статті запропоновано розглянути питання розробки та впровадження нормативної основи для подальшого виконання національним ядерним регулятором передліцензійної оцінки проєктів, у яких застосовуються іноземні новітні технології.

Ключові слова: оцінка проєкту, малий модульний реактор, постачальник, ліцензійний процес.

© Жабін О. І., Печериця О. В., Тараканов С. О., Шевченко І. А., 2020

1 Нормативна основа

Основним нормативним документом (НД), який установлює всі атрибути процесу проведення CNSC передліцензійної оцінки проєкту реакторної установки (РУ) є REGDOC-3.5.4 «Pre-Licensing

Review of a Vendor's Reactor Design» [1]. Передліцензійна оцінка не є обов'язковою, вона здійснюється на замовлення постачальника і спрямована на раннє виявлення та вирішення питань до наданого на розгляд проєкту, особливо тих, які можуть призвести до значних змін в основоположних проєктних рішеннях та обґрунтуваннях безпеки.

Також, маючи на меті забезпечення громадської безпеки VDR сприяє регуляторній визначеності в конкретному, найчастіше – новітньому проєкті РУ, а саме:

дозволяє регулятору досить детально ознайомитись з особливостями конкретного проєкту перед можливим початком ліцензійного процесу;

визначає потенційні регуляторні або технічні виклики, надаючи постачальнику достатньо часу для їх усунення з метою уникнення їх переростання в перешкоду (бар'єр) для отримання ліцензії;

надає чіткий зворотній зв'язок постачальнику щодо того, наскільки проєкт РУ відповідає національним регулюючим вимогам з ядерної та радіаційної безпеки (ЯРБ).

Особливістю НД [1] є відсутність у ньому будь-яких вимог. Так, наприклад:

дієслово «слід, належить» (should) використовується для вираження вказівок рекомендованого характеру, керівних настанов;

«дозволено» (may) використовується для вираження вибору варіанту або дозволеної в межах документа дії;

«можна, можливо» (can) використовується для вираження фізичної або технічної можливості.

За результатами передліцензійної оцінки не відбувається сертифікація відповідного проєкту, а її висновки не впливають на рішення CNSC в межах ліцензійного процесу, оскільки вона не є його частиною (Рисунок 1).

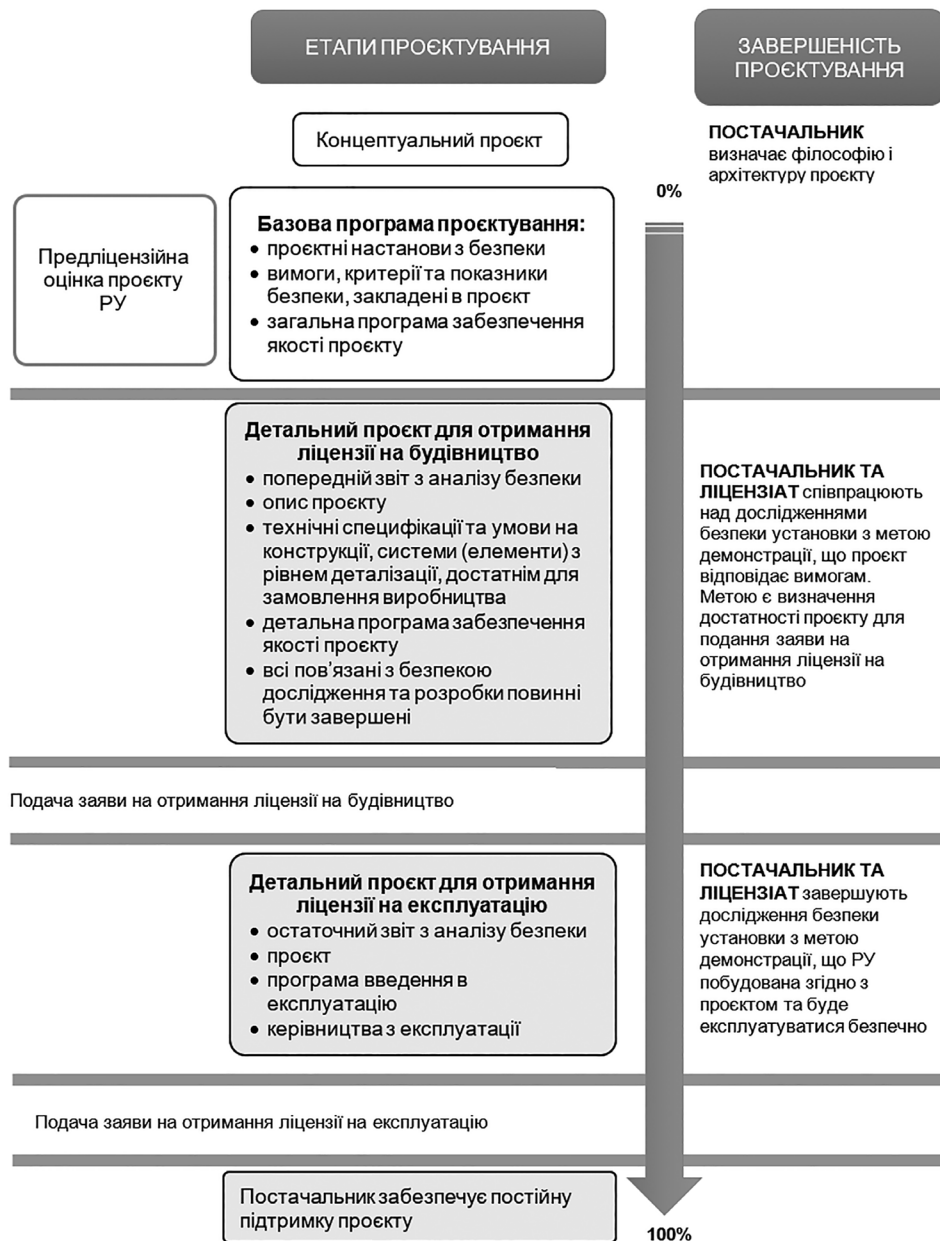


Рисунок 1 – Передліцензійна оцінка в процесі проєктування РУ [1]

Під час оцінки визначається наскільки: постачальник розуміє регулюючі вимоги з ЯРБ Канади та відповідні очікування CNSC; проєкт РУ відповідає національним регулюючим документам та стандартам з ЯРБ, передусім [2] або [3].

Під час VDR не виконується оцінка вартості проєкту та стану його завершеності, факторів, які впливають на тривалість ліцензування проєкту, можливих змін у проєкті за результатами VDR.

Мінімальний перелік проєктних документів для проведення передліцензійної оцінки (Рисунок 1) містить:

проєктні настанови з безпеки – опис філософії безпеки, закладеної в основі проєкту;

вимоги, виконання яких повинне бути продемонстроване в проєкті;

перелік розрахункових кодів, які використовуються під час проєктування;

проєктні вимоги до систем, важливих для безпеки, – мінімальні функціональні вимоги, очікувані показники надійності, опис досліджень та розробок, що демонструють виконання зазначених вимог;

аналізи та обґрунтування безпеки, які можуть бути використані в подальшій розробці попереднього звіту з аналізу безпеки (ПЗАБ);

загальна програма забезпечення якості проєкту конструкцій, систем та елементів (КСЕ) РУ.

Передліцензійна оцінка проводиться CNSC у три фази (етапи).

На **1-й фазі** CNSC вивчає надані постачальником проєктні документи з метою визначення, на загальному рівні, їх відповідності НД [2] або [3], та іншим національним вимогам, а саме: законам Канади в сфері ЯРБ; НД CNSC (загальні вимоги, радіаційний захист, ядерна захищеність, детерміністичний та імовірнісний аналіз безпеки, реалізація принципу «as low as reasonably achievable» (ALARA), управління аваріями, планування діяльності зі зняття з експлуатації); керівництвом канадської асоціації стандартів, сфера застосування яких поширюється на атомні електростанції (АЕС) (системи під тиском, матеріали для компонентів реактора, бетонні споруди, протипожежний захист, система управління, кваліфікація обладнання включно із сейсмічними впливами); національним будівельному та пожежному кодексам. Розгляд матеріалів проєкту відбувається за такими технічними напрямками:

1) загальний опис РУ, реалізація глибокоешелонованого захисту (ГЕЗ), цілі безпеки та дозові критерії прийнятності;

2) класифікація КСЕ;

3) проєкт активної зони (АЗ) реактора;

4) проєкт та кваліфікація ядерного палива (ЯП);

5) системи управління та електропостачання;

6) засоби зупину реактора;

7) системи аварійного охолодження АЗ та аварійного відведення тепла;

8) гермооболонка (ГО) та конструкції, важливі для безпеки;

9) запобігання запроєктованим і важким аваріям та пом'якшення їх наслідків;

10) аналіз безпеки;

11) проєкт контуру, що знаходиться під тиском, та пов'язаних з ним систем;

12) протипожежний захист;

13) радіаційний захист;

14) забезпечення підкритичності під час поводження зі свіжим та опроміненим ЯП;

15) стійкість, захищеність та забезпечення контролю за ядерними матеріалами;

16) програми науково-дослідних робіт, запроваджених постачальником;

17) система управління процесом проєктування і забезпечення якості проєкту та аналізу безпеки;

18) людський фактор;

19) врахування питань, пов'язаних із зняттям з експлуатації, в проєкті.

Для кожного з цих напрямів в [1] визначено конкретні мету та обсяг оцінки, яку необхідно виконати. Приблизні працевтрати фахівців CNSC на виконання 1-ї фази VDR складають 5000 робочих годин. У результаті постачальник отримує звіт CNSC з підсумками оцінки та висновками за кожним з 19 напрямів. У разі виявлення необхідності додаткових дій від постачальника з метою демонстрації прагнення задовольнити критеріям оцінки (вимоги НД [2] або [3], або іншим, зазначеним вище) за тим чи іншим технічним напрямом, CNSC окремо формує свою позицію, яка може мати одну з таких форм:

1) зауваження, а саме:

невідповідність вимогам НД або необґрунтоване застосування альтернативних підходів; відсутність систематичного підходу для підтвердження того, що мета безпеки, покладена в основу нормативних вимог, буде досягнута;

2) необхідність технічного роз'яснення, зумовлена недостатністю матеріалів обґрунтування (наприклад, відсутність у наданих на розгляд матеріалах окремого документа, недостатня якість наданих документів тощо).

Визначення шляхів та обсягів усунення зауважень, або надання роз'яснень є відповідальністю постачальника. Якщо будь-які із зазначених питань не будуть враховані постачальником належним чином, це може на наступних фазах VDR перерости у фундаментальну перешкоду, що унеможливіє майбутнє ліцензування проєкту.

Виконання 1-ї фази VDR на прикладі проєкту SMR-160 компанії Holtec International описано в наступному розділі статті.

На **2-й фазі** рівень деталізації розгляду проєктної документації суттєво підвищується (оціночні працевтрати складають 9500 робочих годин і можуть бути збільшені залежно від прийнятності та повноти підтвердження новітніх проєктних рішень у матеріалах обґрунтувань) з фокусуванням на визначенні наявності потенційних **фундаментальних перешкод** для подальшого ліцензування. Такими перешкодами можуть бути:

- невідповідність національним вимогам ЯРБ;
- необґрунтоване відхилення від [2] або [3], інших національних вимог з ЯРБ;

- необґрунтоване відхилення від стандартів або програми забезпечення якості під час проєктування та виконання аналізів безпеки;

- відсутність відображення та належного врахування в проєкті відомих в світовій ядерній енергетиці проблемних питань, які мають вплив на безпеку;

- відсутність належного врахування в проєкті принципу ALARA;

- відсутність доказів апробованості новітніх рішень, що пропонуються в проєкті;

- неприйнятно високий рівень технічної складності забезпечення безпечної експлуатації (технології, що пропонуються в проєкті на виконання регуляторних вимог, занадто складні та можуть зумовити важкі наслідки через людський фактор).

Перелік критеріїв, технічних областей оцінки, загальний формат та наповнення звітних матеріалів залишається незмінним, порівнюючи з попередньою фазою VDR.

Третя, остання, фаза передліцензійної оцінки проєкту РУ виконується CSNC застосовуючи індивідуальний (case-by-case) підхід та спрямована на детальну оцінку проєктних матеріалів за одним чи кількома (за бажанням постачальника) з 19-ти технічних напрямів, які є ключовими для можливого отримання ліцензії на будівництво. Причому постачальник, зазвичай, має на меті оптимізувати рівень деталізації подальшого розгляду CSNC матеріалів – складових заяви на отримання зазначеної ліцензії.

2 Основні результати першої фази оцінки проєкту SMR-160 канадським регулюючим органом

Перша фаза VDR проєкту SMR-160 тривала понад 24 місяці і охоплювала розгляд 130 технічних документів, креслень, а також додаткової інформації та роз'яснень

постачальника за 19 технічними напрямами, зазначеними в розділі 1 цієї статті.

За результатами виконаної CNSC оцінки [4] встановлено, що постачальником загалом продемонстровано розуміння цілей та вимог НД Канади, які стосуються проєктування АЕС, в обсязі, достатньому на цьому етапі VDR. З урахуванням новітніх технологій та характеристик SMR-160 у деяких випадках постачальником запропоновано альтернативні підходи та методики для досягнення цілей і намірів, закладених в основу розробки відповідних регуляторних вимог, та зазначено про наміри щодо належного обґрунтування цих підходів та методик із досягненням більш високого (або принаймні не меншого) рівня безпеки, ніж забезпечується з використанням традиційних підходів. За результатами оцінки визначено окремі питання, за якими на наступній фазі VDR очікується надання постачальником більш детальної інформації або додаткових роз'яснень та обґрунтувань. Фахівці CNSC вважають, що всі виявлені питання можуть бути успішно вирішені постачальником.

Більш детально основні аспекти, що досліджувались за кожним з технічних напрямів першої фази VDR, а також результати оцінки [4] наведені нижче.

2.1 Загальний опис РУ, реалізація ГЕЗ, цілі безпеки та дозові критерії прийнятності.

Під час оцінки за цим напрямом визначається ступінь реалізації концепції ГЕЗ у проєкті для всіх станів РУ, наявність і достатність реалізованих рівнів захисту, спрямованих на запобігання аваріям і забезпечення необхідного захисту в разі їх виникнення. Також у процесі розгляду цього технічного питання досліджуються застосовані під час проєктування принципи та підходи, спрямовані на забезпечення виконання встановлених НД цілей безпеки для всіх можливих станів, від нормальної експлуатації (НЕ) РУ до запроєктних аварій, включно з розширеними проєктними умовами (РПУ). Щодо дозових критеріїв прийнятності перевіряється, які саме критерії застосовані постачальником і як саме вони відповідають вимогам CNSC. За цим технічним напрямом під час проведення першої фази оцінки зауважень не виявлено. Також зазначено, що ступінь деталізації наданої інформації відповідає очікуваному, а постачальником продемонстровано розуміння відповідних вимог CNSC. Водночас визначено декілька технічних питань, які потребують більш детальних роз'яснень на другій фазі VDR.

2.2 Класифікація КСЕ. Метою розгляду цього технічного напрямку було дослідження прийнятності та послідовності підходів, застосованих під час проєктування, для

визначення важливості для безпеки різних КСЕ, що входять до проєкту РУ, а також до їх класифікації за іншими ознаками (наприклад, за внутрішнім тиском, сейсмостійкістю тощо). Під час VDR перевіряються:

несуперечливість класифікації КСЕ з огляду на їх функції та важливість для безпеки, включно з аналізом принципів, підходів та критеріїв установлення переліку КСЕ, що виконують функції безпеки, та важливості КСЕ для безпеки;

зв'язок між класифікацією КСЕ та застосованими правилами проєктування, такими як галузеві кодекси і стандарти, а також вимогами щодо кваліфікації КСЕ та забезпечення якості;

врахування інтерфейсу між КСЕ різних класів та забезпечення відсутності негативного впливу КСЕ нижчого класу на належне функціонування та надійність більш важливих КСЕ.

За цим технічним напрямом постачальником представлено узагальнені відомості щодо методології класифікації КСЕ за впливом на безпеку та вимог до інших типів класифікації, наведено приклад застосування цієї методології та надано попередній перелік основних КСЕ з відомостями щодо їх класифікації. За результатами оцінки встановлено необхідність надання на наступній фазі VDR більш детальної інформації щодо порівняння застосованих вимог НД США з канадськими нормативними вимогами, та додаткових відомостей за низкою технічних питань.

2.3 Проєкт АЗ реактора і 2.4 проєкт та кваліфікація ЯП. Розуміння поведінки фізики АЗ і поведінки ЯП в різних постульованих режимах експлуатації є важливим елементом дослідження нового проєкту РУ, його ролі в забезпеченні безпеки ядерної установки загалом, а також ролі ЯП в реалізації принципу ГЕЗ. Згідно з вимогами НД, зокрема [2], АЗ та паливні елементи проєктуються так, щоб в усіх експлуатаційних станах (ЕС), проєктних аваріях (ПА) та в РПУ забезпечувалась можливість зупину реактора, підтримання його підкритичного стану та охолодження з належним запасом. Крім того має бути визначена та підтверджена експериментальними дослідженнями та досвідом експлуатації верхня межа змін характеристик ЯП унаслідок опромінення, а також підтверджена відсутність деформації паливних елементів або інших змін у структурних елементах реактора, які можуть мати негативний вплив на поведінку АЗ або пов'язаних з нею систем.

Під час оцінки зокрема перевірялось виконання вимог з проєктування АЕС щодо аналізу безпеки, надійності проєкту, забезпечення гарантованого зупину реактора, конструкції АЗ, паливних елементів та тепловиділяючих збірок,

систем управління, контуру циркуляції теплоносія. За результатами виконаної CNSC оцінки визначено необхідність надання на наступній фазі оцінки проєкту додаткової інформації з низки технічних питань (параметрів нейтронної кінетики, обґрунтування проєктних меж для ЯП; верифікації та валідації кодів з фізики реактора, поведінки палива; попередніх результатів аналізу безпеки НЕ, порушень нормальної експлуатації (ПНЕ), аналізу проєктних аварій та РПУ тощо).

2.5 Системи управління та електропостачання. За цим технічним напрямом оцінювались відомості щодо:

основних систем, які забезпечують підтримання параметрів установки в експлуатаційних межах під час НЕ (включно з системою управління реактором), а також систем, призначених для управління станом установки після виникнення постульованих вихідних подій (ВП);

систем контролю та управління;

блокового та резервного щитів управління, а також допоміжних аварійних споруд (кризового центру);

систем електропостачання.

Питання, що розглядались під час оцінки, полягали в такому:

дотримання принципу ГЕЗ, фундаментальних засад розділення функцій між системами НЕ та системами безпеки;

відсутність впливу систем, які не є важливими для безпеки, на виконання функцій безпеки;

виконання цільових показників надійності, які забезпечують дотримання основних цілей безпеки та дозових критеріїв;

забезпечення надання достовірної інформації щодо стану установки в усіх режимах;

надійність спрацювання систем безпеки та необхідних забезпечуючих систем в автоматичному або ручному режимі;

забезпечення електропостачання систем, важливих для безпеки, від станційних та зовнішніх джерел в усіх станах РУ.

Деякі з питань, що потребують надання детальних відомостей на другій фазі VDR, містять опис процесу вибору стандартів проєктування систем контролю та управління, опис систем електропостачання тощо.

2.6 Засоби зупину реактора. НД [2] вимагає, щоб проєктом було передбачено засоби для зниження потужності реактора та її підтримання на низькому рівні впродовж необхідного часу в випадку, коли система управління реактором та притаманні реактору внутрішні властивості є недостатніми або нездатними підтримувати потужність реактора в заданих межах під час експлуатації. Принаймні один з передбачених засобів зупину

має бути здатним забезпечити надійне переведення реактора в підкритичний стан та підтримання його в цьому стані, а самі засоби спроектовані з урахуванням принципів незалежності, різноманітності та забезпечення безпечного зупину реактора за будь-якої постульованої відмови.

Ці вимоги потребують від постачальника проведення та документування аналізу для визначення проєктних вимог до засобів зупину з боку РУ і майбутніх експлуатаційних параметрів установки із застосуванням систематичного підходу та урахуванням вимог забезпечення якості в межах запровадженої системи управління проєктуванням та аналізом безпеки.

За результатами оцінки була виявлена необхідність роз'яснень, які мають бути наданими на другій фазі VDR, щодо визначення стану зупину, класифікації необхідних для зупину систем, детальних конструктивних даних щодо органів зупину та елементів АЗ, достатності запасів підкритичності для різних ЕС, захисту від ненавмисного досягнення критичного стану тощо.

2.7 Системи аварійного охолодження АЗ та аварійного відведення тепла. Не зважаючи на те, що поточні регуляторні вимоги сформульовані ґрунтуючись на досвіді експлуатації традиційних водоохолоджуваних реакторів, CNSC усвідомлює можливість застосування альтернативних засобів для виконання функцій аварійного охолодження АЗ та аварійного відведення тепла. Під час першої фази VDR розглядалися такі питання як:

розуміння постачальником очікувань CNSC та нормативних вимог стосовно цих систем, включно з вимогами щодо резервування, фізичного розділення, різноманітності, надійності, врахування принципу одиничної відмови тощо;

наявність зв'язків між системами нормального та аварійного відведення тепла, можливість їх одночасного функціонування;

особливості реалізації та класифікація зазначених систем за впливом на безпеку, взаємодія з іншими системами.

За результатами першого етапу оцінки зазначено про необхідність подальшого надання більш детальної інформації за низкою технічних питань (конструкція та характеристики системи пасивного охолодження АЗ; врахування принципу одиничної відмови та запобігання відмовам із загальної причини в проєкті деяких систем, верифікація та валідація розрахункових кодів).

2.8 ГО та конструкції, важливі для безпеки. Під час аналізу цього технічного питання розглядалися засоби утримання радіоактивних речовин, які виділяються під час аварії, в

установлених границях для всього спектра постульованих режимів, роль цих засобів у реалізації концепції ГЕЗ, проєктні вимоги щодо відповідних КСЕ та їх очікувані експлуатаційні параметри.

На наступному етапі оцінки існує необхідність надання більш детальних відомостей щодо фізичних зв'язків між ГО та конструкціями оббудови, обґрунтування вибору кодексів та стандартів для їх проєктування, верифікації та валідації розрахункових кодів і деякої іншої інформації.

2.9 Запобігання запроєктним і важким аваріям та пом'якшення їх наслідків. НД [2] передбачає наявність засобів для запобігання аваріям та пом'якшення наслідків тих аварій, що виникли. Перелік можливих подій, які мають враховуватись під час проєктування, містить ПНЕ, ПА та РПУ. Останні розподіляються на РПУ без важкого пошкодження ЯП та важкі аварії і аналізуються із застосуванням методів поліпшеної оцінки для підтвердження неперевищення встановлених меж радіоактивних викидів. Серед питань, що потребують більш детальної інформації на наступній фазі VDR, було зазначено про необхідність:

підтвердження застосування результатів імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) для визначення РПУ;

надання попередніх результатів науково-дослідних робіт (НДР), які підтверджують ефективність новітніх КСЕ та цілісності ГО під час РПУ;

верифікації та валідації розрахункових кодів аналізу РПУ тощо.

2.10 Аналіз безпеки. Було розглянуто методологічні аспекти застосованого підходу до детерміністичного аналізу безпеки (ДАБ), питання вибору та класифікації ВП, вибору критеріїв прийнятності, застосування розрахункових кодів, а також питання визначення уставок для забезпечення зупину реактора. До того розглянуто приклади ДАБ деяких ВП. У частині ІАБ на цьому етапі було оцінено загальну прийнятність наданої методології виконання ІАБ першого рівня для внутрішніх ВП. Цілковито зрозуміло, що на початкових стадіях опрацювання проєкту ядерної установки обсяги проведеного аналізу та ступінь його деталізації є обмеженими та будуть підвищуватись по мірі проробки проєкту установки. Не зважаючи на це, за результатами оцінки виявлено декілька зауважень, наприклад, про необхідність надання методології врахування невизначеностей щодо параметрів аналітичної моделі під час застосування огинаючого консервативного підходу ДАБ, валідації та підтвердження застосовності розрахункових кодів ДАБ,

необхідності документування методології виконання ІАБ другого рівня, ІАБ внутрішніх та зовнішніх екстремальних впливів (ЕВ), врахування ЕС на низьких рівнях потужності тощо.

2.11 Проект контуру, що знаходиться під тиском, та пов'язаних з ним систем. Під час першої фази VDR виявлено деякі розбіжності між класифікацією елементів за впливом на безпеку, за вимогами до забезпечення цілісності обладнання та трубопроводів, які працюють під тиском, і встановленою групою вимог до якості, що загалом і визначає перелік застосованих кодексів, норм та стандартів. Також зазначено про необхідність подальшого уточнення відомостей щодо розділів стандартів, які мають застосовуватись під час проведення гідравлічних випробувань після виготовлення та монтажу обладнання та трубопроводів.

2.12 Протипожежний захист. Завданням за цим технічним напрямом була оцінка та підтвердження того, що в процесі проектування РУ, зовнішніх будівель та КСЕ, які необхідні для функціонування АЕС, враховуються вимоги до протипожежного захисту та передбачаються достатні засоби, включно з положеннями експлуатаційних інструкцій, резервуванням КСЕ, наявністю фізичних бар'єрів, просторового розділення, протипожежних систем та врахуванням у проекті принципу «безпечної відмови», які забезпечують мінімізацію імовірності виникнення та наслідків пожеж. Під час оцінки було розглянуто розроблений постачальником Стандарт проектування SMR-160 щодо протипожежного захисту, в якому зокрема визначені застосовні нормативні вимоги та надані рекомендації з їх врахування в процесі проектування.

Серед іншого, в наданих постачальником документах зазначається, що проект передбачає встановлення автоматичних систем виявлення пожеж, автоматичних систем та ручних засобів пожежогасіння. Вибір місць розташування протипожежних засобів планується здійснювати за результатами аналізу внутрішніх пожеж. Оскільки постачальник посилається лише на документи Комісії ядерного регулювання США, загальним висновком першої фази VDR за цим технічним напрямом є необхідність підтвердження врахування вимог канадських НД під час проектування вже на його початкових етапах через суттєвий взаємозв'язок проектних рішень з аналізом пожежної безпеки.

CNSC очікує, що надалі буде продемонстровано прогрес у розробці аналізу внутрішніх пожеж, аналізу безпечного зупину для обґрунтування проекту протипожежного захисту, а також буде надано результати

порівняння вимог Комісії ядерного регулювання США з вимогами канадських НД (gap assessment) для обґрунтування їх співставності.

2.13 Радіаційний захист. Розглянуто цілі та загальні вимоги проекту щодо радіаційного захисту, а також реалізація принципу ALARA. За результатами оцінки зазначено, що постачальником надані достатні для цієї фази VDR підтвердження щодо наміру врахувати вимоги до радіаційного захисту, а обрані цільові параметри щодо радіаційних наслідків НЕ, ПНЕ та ПА узгоджуються з установленими в НД межами.

Водночас виявлено декілька аспектів, які потребують врахування постачальником та/або технічних роз'яснень надалі, до яких належить необхідність надання попередніх розрахунків радіаційних наслідків; ПЗАБ для підтвердження характеристик викидів, що використовуються для оцінки радіаційних наслідків (включно з розрахунками характеристик для різних станів НЕ), та інші питання.

2.14 Забезпечення підкритичності під час поводження зі свіжим та опроміненним ЯП. Оскільки в проекті SMR-160 використовується збагачене ЯП, ненавмисне досягнення критичного стану під час поводження зі свіжим та опроміненним ЯП, та його зберігання є ймовірною подією, яка становить радіаційну загрозу, що потребує впровадження в проекті необхідних захисних засобів для її попередження та пом'якшення наслідків.

За результатами оцінки зроблено висновок, що постачальником надано достатні (для цієї фази оцінки) відомості щодо запобігання ненавмисному виникненню критичності та пом'якшення наслідків відповідних подій на майданчику АЕС. Водночас зазначається про необхідність у додаткових відомостях щодо пом'якшення наслідків за межами майданчика і наголошується, що відповідні засоби мають розглядатись саме під час проектування (а не під час розробки планів аварійного реагування, як запропоновано постачальником).

2.15 Стійкість, захищеність та забезпечення контролю за ядерними матеріалами. За цим технічним напрямом розглядалися такі елементи проекту як:

стійкість, до якої входить структурна міцність і стабільність будівель та споруд під час внутрішніх і зовнішніх ЕВ для забезпечення виконання функцій, важливих для безпеки;

фізичний захист і захист комп'ютеризованих систем, включно з питаннями доступу персоналу до будівель і споруд;

контроль за ядерними матеріалами для забезпечення їх нерозповсюдження та запобігання використанню в незадекларованих видах діяльності.

Під час оцінки зауважень до стійкості не виявлено, а щодо забезпечення захищеності зазначено про необхідність подальшого надання більш детальної інформації за окремими питаннями, наприклад, про захист від кібератак. Зазначається про необхідність відображення зв'язку з вимогами саме канадських НД замість документів США, на які посилається постачальник. Щодо забезпечення контролю за ядерними матеріалами очікується, що надалі постачальником буде надано додаткові відомості про метод визначення вмісту ядерних матеріалів у свіжому, завантаженому та відпрацьованому ЯП; окремі аспекти виготовлення ЯП і його транспортування на майданчику АЕС та за його межами, транспортно-технологічні операції з ним та зберігання на майданчику, а також поводження з радіоактивними відходами.

2.16 Програми науково-дослідних робіт, запроваджених постачальником. Для оцінки невизначеностей, уточнення запасів безпеки і підтвердження проєктних рішень щодо новітньої реакторної технології надаються результати (на першій фазі VDR – плани проведення) НДР на підтримку процесу проєктування та обґрунтування безпеки, відомості щодо застосування апробованих методів та врахування досвіду експлуатації. Під час VDR розглядаються запроваджені процеси розробки та проведення НДР, передбачені обсяги, графіки і поточний стан досліджень, експериментальні установки та нові засоби проєктування, а також плани впровадження необхідної інфраструктури для забезпечення потреб майбутніх ліцензіатів.

За результатами виконаної CNSC оцінки зазначено про необхідність надання більш детального опису ітераційного процесу врахування результатів НДР для прийняття проєктних рішень та низки інших додаткових відомостей.

2.17 Система управління процесом проєктування та забезпечення якості проєкту та аналізу безпеки. За цим технічним напрямом розглядалися такі питання як управління якістю процесів, персоналом, інформацією, закупівлею товарів та послуг, що стосуються проєктування, тощо. Надані постачальником програма якості та відповідні процедури верхнього рівня демонструють розуміння вимог та очікувань CNSC за цим напрямом. Зважаючи на те, що за основу під час розробки системи управління та забезпечення якості обрано вимоги НД та стандартів США, постачальником розроблено план забезпечення якості та додаткові процедури, в яких виконано порівняння вимог НД і стандартів США з канадськими вимогами та надано посилання на розділи документації системи управління та забезпечення якості, в

яких ці вимоги реалізовано. Для тих канадських вимог, які не мають аналогів у застосованих НД і стандартах США, запропоновано підходи до їх врахування.

За результатами проведеної CNSC оцінки встановлена необхідність подальшого надання більш докладної інформації, ніж представлена в наданих процедурах верхнього рівня, а також відображення питань збору, документування, поширення та врахування в проєкті набутого досвіду, включно з досвідом експлуатації.

2.18 Людський фактор. Результати оцінки свідчать, що постачальником надано достатні для цієї фази VDR відомості щодо врахування людського фактора. Однак деякі питання потребують подальших, більш детальних роз'яснень. Серед іншого це стосується:

можливості та підходів до визначення мінімальної кількості персоналу MMP на основі даних з експлуатації традиційних АЕС;

розподілу обов'язків із врахування людського фактора та нагляду за цією діяльністю;

планів щодо використання MMP на декількох блоках майданчика та можливості керування з єдиного щита управління;

планів та обсягів навчання проєктувальників (включно з персоналом сторонніх організацій) інженерним аспектам врахування людського фактора, культури безпеки;

відповідності тренажера, який буде використовуватися під час інтегрованої валідації систем першого MMP;

валідації ситуативної обізнаності персоналу в різних експлуатаційних та аварійних ситуаціях.

2.19 Урахування питань, пов'язаних зі зняттям з експлуатації, в проєкті. Оцінювалося планування об'єктів на майданчику для виконання завдань, пов'язаних зі зняттям з експлуатації, а також урахування під час проєктування систем і елементів питань мінімізації радіаційного забруднення впродовж експлуатації, зручності демонтажу, поводження, дезактивації та подальшого захоронення.

Під час оцінки виявлено низку питань, які планується дослідити більш детально на наступній фазі VDR, деякі з яких передбачають урахування в проєкті:

наявного досвіду зняття з експлуатації ядерних установок, вимог НД, галузевих стандартів, настанов зі зняття з експлуатації;

інженерних аспектів врахування людського фактора, принципів та практики радіаційного захисту під час зняття з експлуатації, принципу ГЕЗ і можливих відмов обладнання.

Також планується розглянути програму з розробки специфічних до проєкту SMR-160 пропозицій щодо підходів до зняття з експлуатації, наприклад, стосовно

транспортування корпусу, використання засобів дистанційної різки, проведення вантажних і транспортних операцій. Очікується, що перед початком другої фази постачальник визначиться зі стратегією зняття з експлуатації, послідовністю задач з її виконання, типом і характеристиками необхідного обладнання тощо, та забезпечить належне документування підстав обраних проєктних рішень з погляду подальшого зняття з експлуатації.

Під час оцінки також було виявлено необхідність більшої деталізації стандартів/настанов постачальника, які стосуються зняття з експлуатації, а також питань категоризації та поведінки з радіоактивними відходами.

Як вже було вказано, за результатами першої фази VDR проєкту SMR-160 не було визначено викликів, що мають потенціал перетворення у фундаментальні перешкоди для подальшого ліцензування цього проєкту в Канаді. За результатами оцінки було визначено напрями та обсяги подальших дій постачальника в перспективі початку зазначеного ліцензійного процесу.

Загальні висновки та рекомендації щодо потреби впровадження підходу з регуляторної передліцензійної оцінки в Україні

Протягом останніх років у нашій країні в порядку, встановленому національними вимогами з ЯРБ, впроваджено низку новітніх зарубіжних технологій (проєктні рішення, реалізовані в новому безпечному конфайнменті, диверсифікація ядерного палива, тощо). Наразі цей процес також триває та, згідно з існуючими законодавчими актами, рішеннями та планами на державному рівні (наприклад, [5] – [7]), у найближчому майбутньому варто очікувати нові приклади його реалізації. За результатами першої фази передліцензійної оцінки проєкту MMP іноземного постачальника, виконаної CNSC для проєкту SMR-160 [4] за окремими технічними напрямами (дивись попередній розділ статті), визначено необхідність подальшого проведення порівняльного аналізу у цьому випадку канадських та покладених в основу зазначеного проєкту американських нормативних вимог з ЯРБ. Також, у звіті [4] вказується, що постачальником був виконаний такий аналіз за низкою напрямів перед початком передліцензійної оцінки. Необхідно зазначити, що аналогічна діяльність («gap analysis») передбачається угодами [8], [9], метою яких є сприяння діяльності з впровадження в Україні новітніх технологій MMP. Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної

та радіаційної безпеки» (ДНТЦ ЯРБ) має власний досвід виконання аналогічних досліджень (наприклад, [10]), який дає підстави стверджувати, що:

виконання порівняльного аналізу національних вимог з ЯРБ та вимог, реалізованих у проєкті ядерної установки іноземного постачальника, розміщення якої планується на території України, є ефективним інструментом запобігання можливому виникненню перешкод подальшого ліцензування зазначеного проєкту; наявність нормативної основи для виконання передліцензійної оцінки проєкту ядерної установки іноземного постачальника (з порівняльним аналізом застосованих під час проєктування нормативних вимог з чинними в Україні НД, як одним з основних атрибутів зазначеної оцінки) дозволить забезпечити своєчасну регуляторну визначеність у конкретному проєкті, а також ґрунтовне формування кола питань, які необхідно вирішити перед початком відповідного ліцензійного процесу.

З огляду на зазначене вище, вважається доцільним здійснити розгляд питання щодо необхідності розробки НД, який би визначав процедуру та обсяги виконання передліцензійної оцінки проєкту ядерної установки іноземного постачальника з метою запровадження цієї передової світової практики в діяльність національного ядерного регулятора.

Список використаної літератури

1. REGDOC-3.5.4. Pre-Licensing Review of a Vendor's Reactor Design. CNSC processes and practices, 2018.
2. REGDOC-2.5.2. Design of Reactor Facilities: Nuclear Power Plants. Physical Design, 2014.
3. RD-367. Design of Small reactors, 2011.
4. CNSC. Phase 1. Pre-Licensing Vendor Design Review. SMR LLC, CNSC, 2020.
5. Закон України «Про ратифікацію Паризької угоди» від 14.07.2016 р. за № 1469-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19>.
6. Розпорядження КМУ від 18.08.2017 р. № 605-р «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>.
7. Указ Президента України № 406/2020 «Про невідкладні заходи щодо стабілізації ситуації в енергетичній сфері та подальшого розвитку ядерної енергетики». URL: <https://www.president.gov.ua/documents/4062020-35109>.
8. Угода про партнерство між НАЕК «Енергоатом», ДНТЦ ЯРБ та Holtec International, 2019.

9. Меморандум про розуміння між NuScale Power та ДНТЦ ЯРБ, 2020.

10. Звіт «Про результати порівняльного аналізу використаних при розробленні обладнання та систем централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива вимог нормативних документів США і відповідних вимог нормативних документів України». ДНТЦ ЯРБ, 2016.

References

1. REGDOC-3.5.4. Pre-Licensing Review of a Vendor's Reactor Design, CNSC Processes and Practices, 2018.
2. REGDOC-2.5.2. Design of Reactor Facilities: Nuclear Power Plants, Physical Design, 2014.
3. RD-367. Design of Small Reactors, 2011.
4. CNSC Phase 1 pre-licensing vendor design review SMR LLC, CNSC, 2020.
5. Law of Ukraine "On Paris Agreement Ratification" No. 1469-VIII dated 14 July 2016. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19>.
6. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 605-r dated 18 August 2017 "On Approval of the Energy Strategy of Ukraine Until 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness". Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>.
7. Decree of the President of Ukraine No. 406/2020 "On Emergency Measures for Stabilize the Situation in the Energy Field and Further Nuclear Energy Development". Retrieved from: <https://www.president.gov.ua/documents/4062020-35109>
8. Agreement on Partnership between Energoatom, SSTC NRS and Holtec International, 2019.
9. Memorandum of Understanding between NuScale Power and SSTC NRS, 2020.
10. Report on "Comparative Analysis of US and Ukrainian Regulatory Requirements Used in the Development of Equipment and Systems for the Centralized Spent Fuel Storage Facility", SSTC NRS, 2016.

Approach to Regulatory Pre-Licensing SMR Vendor Design Review

Zhabin O.¹, Pecherytsia O.¹, Tarakanov S.², Shevchenko I.¹

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

²Limited Liability Company «Holtec Ukraine», Kyiv, Ukraine

The Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) has recently completed the first phase of the pre-licensing vendor design review (VDR) for the SMR-160 small modular reactor (SMR) designed by Holtec International (USA). This event is an example of early involvement of the regulatory authority into review of the safety assessment for SMR design developed in compliance with standards and rules of another country. This example deserves a detailed analysis considering that the introduction of SMR technology is potentially attractive for Ukraine and there is national interest in this area. The paper presents an overview of the regulatory framework governing the pre-licensing VDR by CNSC: objective, initial conditions, main stages, technical content and general expected results of this process. According to the first phase of the review performed for the SMR-160 design, information on the main aspects addressed for each technical area and the main review findings are provided. Since the implementation of relevant advanced practices is reasonable and relevant, the paper proposes to consider the development and implementation of regulatory framework for the national nuclear regulatory authority to perform further pre-licensing reviews of designs using the latest foreign technologies.

Keywords: design review, small modular reactor, vendor, licensing process.

Отримано 03.11.2020.