

Имя пользователя:
Баранюк Александр Володимирович

ID проверки:
1011580931

Дата проверки:
14.06.2022 21:13:46 EEST

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
14.06.2022 21:34:42 EEST

ID пользователя:
100007114

Название файла: TYa82-ShakhniukEV-diploma-2022

Количество страниц: 22 Количество слов: 4216 Количество символов: 28471 Размер файла: 414.50 KB ID файла: 1011450507

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

27.8%

Совпадения

Наибольшее совпадение: 20.2% с источником из Библиотеки (ID файла: 1004138998)

4.77% Источники из Интернета

60

Страница 24

26.2% Источники из Библиотеки

59

Страница 24

0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы

3

Подозрительное форматирование

4

страницы

3. АНЛІЗ ВПЛИВУ ПОВТОРЮВАНИХ ПОГОДНИХ УМОВ НА ГРАНИЧНІ ДОЗИ РАДІАЦІЇ НА МАЙДАНЧИКУ АЕС

3.1. Актуальність роботи

Пріоритет захисту людини та навколишнього природного середовища від впливу іонізуючого випромінювання є одним з основних принципів державної політики у сфері використання ядерної енергії та радіаційного захисту.

Дослідження впливу повторюваних погодних умов на граничні дози радіації на майданчику АЕС важливе тим що дозволяє спрогнозувати перенесення повітрям великих мас радіонуклідів під час аварії. Створення подібної моделі допомагає завчасно запланувати пелік рішень та заходів які необхідно застосувати при протіканні аварії на АЕС. Оскільки на даний момент відсутня методика оцінки радіаційного стану на майданчику АЕС при ЗПА, що розроблена відповідно до міжнародних норм та діючого законодавства України то дана оцінка носить лише попередні характер. Для виконання цієї оцінки будуть використовуватися рекомендації проведення розрахунків поширення радіонуклідів при протіканні ЗПА на майданчику АЕС.

3.2. Джерела і шляхи надходження активності на майданчик АЕС

При виникненні ЗПА на енергоблоці відбувається вихід активності в приміщення ГО і на майданчик станції. Основними джерелами надходження радіоактивних речовин є:

- Теплоносій першого контуру і вода БВ.
- Активність накопичена в газовому зазорі ТВЕЛ.
- Продукти поділу, що містяться в ядерному паливі.

При цьому слід враховувати, що радіоактивні речовини надходять в навколишнє середовище нерівномірно. На першому етапі розвитку ЗПА відбувається вихід теплоносія першого контуру (або води БВ). На другому етапі досягаються умови пошкодження оболонок ТВЕЛ і відбувається вихід активності газового зазору. Після досягнення умов початку плавлення активної зони відбувається вихід активності, що міститься в паливі. Проміжок часу між виходом активності теплоносія і активності газового зазору, при ЗПА, становить хвилини, або години при знеструмленні і щільному першому контурі. Досягнення умов пошкодження активної зони відбувається в перебігу більш тривалого часу, в залежності від вихідної події аварії, комбінації накладення відмов та стану РУ і становить від декількох годин до декількох діб.

Таким чином, радіаційний фон на майданчику АЕС в умовах ЗПА буде змінюватися в залежності від фази розвитку аварії.

Вихід активності відбувається в межі першого контуру та приміщення ГО і може надходити в навколишнє середовище за наступними шляхами:

- Через нещільності ГО.
- Через пароскидні пристрої другого контуру (для течі з першого контуру в другий).
- Через вентиляційну трубу (для випадків нефільтрованого скидання).
- Через систему фільтрованого скидання (система зараз вводиться в експлуатацію на енергоблоці №1 ПАЕС та планується до впровадження на інших енергоблоках).
- Надходження активності через трубопроводи систем за межі ГО (дана ЗПА, до пошкодження активної зони, матиме наслідки менш консервативні ніж теча теплоносія без урахування коефіцієнтів переходу в пар та ослаблення в межах ГО).

3.3. Перенесення радіонуклідів у атмосфері

Основною проблемою перенесення радіонуклідів у атмосфері є те що вони під впливом руху повітряних мас можуть розноситися на значну відстань від джерела викиду активності.

При протіканні ЗПА доза опроміювання на майданчику АЕС буде формується наступними шляхами:

- інгаляційний (вдихання радіоактивних частинок) ;
- зовнішнього опроміювання (β , γ) при перебуванні на забрудненій території.

Розповсюдження радіонуклідів, що потрапили в приземний прикордонний шар що складає нижні кілька метрів атмосфери, обумовлено як адвекцією (перенесення вітром), так і дифузєю (перемішування). Дані процеси відбуваються у локальному та глобальному масштабі. Спочатку радіонукліди розсіюються завдяки локальній циркуляції атмосфери. Цей процес триває від кількох годин до декількох днів і призводить до поширення радіонуклідів у горизонтальній площині на кілька кілометрів. Розведення та перемішування викликаються турбулентними вихорами та дією вітру. У вертикальному напрямку ці вихори обмежені розмірами шару перемішування, а горизонтальному — вони поширюються залежно від швидкості вітру.

Адвективна складова (звичайне перенесення радіонуклідів) визначається за вимірюваннями параметрів вітру на поверхні і на різних висотах. Ці вимірювання проводяться за допомогою різних метеорологічних систем, що працюють як у даній місцевості чи регіоні, так і глобальними мережами моніторингу.

Основними факторами впливу на радіонукліди в хмарі є:

- радіоактивний розпад і накопичення дочірніх продуктів;
- вологе осідання, коли пар або аерозоль потрапляють в краплі води або в сніжинки в хмарі і випадають у вигляді опадів, також можливо вимивання падаючими опадами і вплив туману;

- сухе осідання або гравітаційне осідання, відкладення аерозолів і адсорбція парів на предметах, що знаходяться на шляху вітру;
- утворення і злипання аерозолів.

Значну роль грає процес сухого осідання радіонуклідів. У наслідок цього активність що переноситься вітром буде вступати у контакт з механізмами, будівлями, персоналом та населенням. Оскільки процеси сухого осідання недостатньо досліджені та складні для прогнозування то їх зазвичай моделюють через швидкість осадження, яку визначають як потік осаджуваної речовини, поділений на концентрацію повітря. При цьому необхідно враховувати що частинки які пройшли через сухе або гравітаційне осідання можуть легко знову піднятися у повітря під дією зовнішніх чинників або за допомогою вітру. Процес повторного підняття у повітря активності може тривати значний час на забрудненій території .

3.4. Контроль радіаційного стану навколо АЕС

Радіаційний стан навколо АЕС контролюється системою «Кільце» та «Родос». Система кільце розташована навколо АЕС у 30-кілометровій зоні для постійного оперативного контролю. Комбінація системи «Кільце» та «Родос» дозволяє здійснити прогнозування поведінки викиду та надати рекомендації для захисту персоналу та населення.

Під час нормальної роботи система контролює радіаційний стан та автоматично повідомляє поступає до Укргідромету, Управління з надзвичайних ситуацій, до Державної інспекції ядерного регулювання та НАЕК «Енергоатом». У разі викидів радіоактивності система здійснює:

- вимір викидів;

- за допомогою імітаційної моделі в режимі реального часу на основі метеорологічних даних оцінює результуюче поле гамма-випромінювання на позиціях станцій і постах моніторингу;
- порівнює розраховане значення дози з інтегрованими вимірними потужностями дози за період часу;
- додаючи витіки до вимірних викидів, модель розраховує фактичну дозу випромінювання викликаного хмарою радіонуклідів та осадженням на поверхні території майданчику.

3.5. Параметри ЗПА

В даному пункті наведені ЗПА, які розглядаються при обґрунтуванні безпеки енергоблоків в ЗАБ (без важкого пошкодження активної зони), а також основні ВА, що розглядаються при аналітичному обґрунтуванні КУВА. Запроєктні аварії можна умовно розділити на два основних класи: ЗПА без пошкодження палива, та ЗПА з пошкодження палива (важкі аварії).

На основі даних аварій передбачається вибрати сценарії з радіоактивним викидом, що будуть охоплювати всі сценарії ЗПА. Аварії без пошкодження ЯП супроводжуються виходом активності теплоносія першого контуру до досягнення проектної межі по температурі оболонок ТВЕЛ. Таким чином, з аварій без важкого пошкодження активної зони, для аналізу радіаційної обстановки на майданчику, можна вибрати два граничних випадки:

- течу теплоносія першого контуру;
- порушення цілісності оболонок ТВЕЛ.

Розрахунок виконується для умов з відмовою ГО, а також для виходу активності газового зазору ТВЕЛ. За результатами даних розрахунків можна буде зробити висновок про час та фазу розвитку аварії, коли експлуатація

неаварійних енергоблоків буде ускладнена або неможлива в наслідок радіаційного фактору.

З аварій з важким пошкодженням активної зони, найбільш консервативною буде аварія «Теча з першого контуру в другий з накладенням повного знеструмлення без урахування дій персоналу з управління ВА». Дана ВА характеризується найбільшим відсотком виходу дозоутворюючих радіонуклідів в аерозольній формі та створює додаткові дозові навантаження на майданчику.

При виборі ЗПА для аналізу вибираються граничні випадки ЗПА проаналізованих при обґрунтуванні безпеки АЕС, що дозволить виключити вплив аварійних сценаріїв і граничних умов розрахунків при теплогідралічному аналізі (що впливає на час пошкодження активної зони). На підставі проведеної вище інформації, для оцінки радіаційної обстановки на майданчику вибираються наступні граничні аварії, що характеризують стадії розвитку ЗПА:

- теча теплоносія першого контуру за межі ГО (Розрив трубопроводу планового або ремонтного розхолодження Ду300 за межами ГО з урахуванням дій оперативного персоналу);
- порушення цілісності оболонок ТВЕЛ з відмовою ГО (Розрив трубопроводу планового або ремонтного розхолодження Ду300 за межами ГО);
- порушення цілісності оболонок ТВЕЛ з щільним ГО (теча теплоносія всередині ГО);
- теча з першого контуру в другий з накладенням повного знеструмлення без урахування дій з управління ВА.

При виконанні оцінок сценаріїв ЗПА при відмові ГО і ВА, використовуються наступні припущення:

- для течі теплоносія першого контуру за межі ГО вихід активності теплоносія відбувається протягом 1000 с, при цьому враховується коефіцієнт переходу в пар.
- передбачається що при досягненні проектної межі по температурі оболонок ТВЕЛ, вихід активності газового зазору відбувається рівномірно протягом 10000 с, так як не всі ТВЕЛ пошкоджуються одночасно.
- При аварії з важким пошкодженням активної зони передбачається, що вихід активності відбувається рівномірно протягом 100000 с.

Припущення про тривалий, а не залповий викид дозволяє більш реалістично змоделювати зміну радіаційної обстановки на майданчику, так як при залповому викиді буде досягатися пікове значення в початковий момент аварії та різке зниження в наступні моменти за рахунок осадження і вносу хмари викиду вітром, що призведе до швидкого досягнення поставарійних параметрів. Тривалість викиду вибрана приблизно рівною часу протікання даного типу аварій. Для аварій з щільним ГО - викид вважається залповим.

Розрахунок безперервного викиду протягом відносно короткого проміжку часу виконувався інтегруванням активності викиду на проміжок часу рівний кроку розрахунку. На кожному наступному кроці розрахунку проводилося підсумовування з поточним станом поширення активності, яка вийшла на попередніх кроках розрахунку. Сумарний результат наданий як суперпозиція стану викидів, здійснених на кожному кроці розрахунку, до розрахункового моменту часу. Тобто розрахунок проводився як сума викидів активності рівній кількості кроків розрахунку.

Розрахунок кожної аварії проводиться для двох варіантів категорій стійкості атмосфери:

- штильові умови;
- наявність вітру.

3.6. Методичні підходи до розрахунку потужності дози на майданчику АЕС при ЗПА

3.6.1. Розрахунок фактору метеорологічного розбавлення для умов штилю або дуже слабого вітру

Для оцінки ситуації на майданчику найбільш консервативними є штильові умови, коли активність поширюється в атмосфері за рахунок дифузії, внаслідок чого навколо джерела створюється хмара підвищеної концентрації радіоактивних аерозолів, також в штильових умовах створюється підвищена концентрація поверхневого забруднення радіонуклідами.

В даному розділі наведено методику та результати розрахунку фактору метеорологічного розведення для умов стабільної атмосфери і для слабого вітру.

Фактор метеорологічного розведення розраховується за формулою:

$$G(x, y, 0) = \frac{F(t)}{2\pi K h} \left(1 - \frac{xyA}{2K}\right) \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2Kt}}\right]$$

де

$r = \sqrt{x^2 + y^2 + h^2}$ – відстань від точки викиду до точки детектування, м;

h – ефективна висота викиду, м;

K – коефіцієнт дифузії домішок в повітрі, м²/с.

Значення інтегралу ймовірності (табульована величина):

$$\Phi = \frac{2}{2\pi} \int_0^x \exp\left(-\frac{\tau^2}{2}\right) d\tau.$$

Найбільші труднощі викликає визначення коефіцієнта дифузії K , так як відсутні загальні рекомендації щодо його визначення. Коефіцієнт дифузії K змінюється в діапазоні 2-0,02 м²/с і менше.

Коефіцієнт ослаблення домішок розраховувався за формулою:

$$F(t) = f_v(t) \cdot f_r(t).$$

Коефіцієнт ослаблення домішок за рахунок сухого осідання, для умов штитю, розраховувався за формулою:

$$f_v(t) = \exp\left[-\sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^t \frac{1}{\sigma_z(t)} \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2(t)}\right) dt\right],$$

де

v – швидкість сухого осадження м/с;

h – ефективна висота викиду, м;

$\sigma_z(t)$ – коефіцієнт дисперсії по вертикальній осі.

Коефіцієнт ослаблення за рахунок радіоактивного розпаду обчислюється за формулою:

$$f_r(t) = \exp(-\lambda t),$$

де

λ – постійна радіоактивного розпаду;

t – час після зупинки.

3.6.2. Атмосферне перенесення

Значення інтегральної об'ємної активності i -го радіонукліда ($\text{Бк} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{год}$) в повітрі розраховується за формулою:

$$IA_{v,i}(x) = QG(x) / 3600 ,$$

де Q_i – активність викиду i -го радіонукліда, Бк;

$G_i(x)$ – фактор розведення для короткострокового викиду для i -ГО радіонукліда на відстані від джерела викиду, $\text{с} \cdot \text{м}^{-3}$.

Фактор розбавлення для короткострокового викиду для i -го радіонукліда на відстані від джерела викиду розраховується як:

$$G(x) = \frac{F(x)}{\pi \sigma_y(x) \sigma_z(x) u} \exp \left[- \frac{h^2}{2\sigma_z^2(x)} \right],$$

де F – функція виснаження хмари викиду;

σ_y , σ_z – стандартні відхилення розподілу суміші в хмарі викиду в горизонтальному і вертикальному напрямку, відповідно, м;

u – швидкість вітру, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

h – ефективна висота викиду з урахуванням підйому струменю, м.

Значення стандартного відхилення розподілу домішки в хмарі викиду в горизонтальному напрямку (σ_y , м) розраховується за формулою:

$$\sigma_y(x) = \frac{c_3 x}{\sqrt{1 + 10^{-4} \cdot x}},$$

де значення параметру c_3 визначається в залежності від категорії стійкості атмосфери по Пасквіллу – Гіффорду.

Значення стандартного відхилення розподілу домішок в хмарі викиду в вертикальному напрямку (σ_z , м) розраховується за формулою:

$$\sigma_z(x) = \min \left[f(z_0, x) \cdot g(x), \sigma_z^{\max} \right],$$

де σ_z^{\max} – граничне значення σ_z для відповідної категорії стійкості атмосфери, м;

z_0 – висота шорсткості підстильної поверхні що визначається для відповідного типу мікрорельєфу поверхні, м.

Функції $g(x)$ та $f(z_0, x)$ задаються з урахуванням формул:

$$g(x) = \frac{a_1 x^{b_1}}{1 + a_2 x^{b_2}},$$

$$f(z_0, x) = \begin{cases} \ln \left[c_1 x^{d_1} (1 + c_2 x^{d_2}) \right] & \text{при } z_0 > 0.1 \text{ м,} \\ \ln \left[\frac{c_1 x^{d_1}}{1 + c_2 x^{d_2}} \right] & \text{при } z_0 \leq 0.1 \text{ м.} \end{cases}$$

Значення параметрів a_1, b_1, a_2, b_2 визначаються в залежності від категорії стійкості атмосфери.

Функція виснаження хмари викиду розраховується наступним чином:

$$F_i(x) = F_i^r \left(\frac{x}{u} \right) \cdot F_i^d(x) \cdot F_i^w(x),$$

де F_i^r - функція виснаження хмари викиду в результаті радіоактивного розпаду;

F^d - функція виснаження хмари викиду в результаті сухого осадження домішки на поверхню ґрунту;

F^w - функція виснаження хмари викиду в результаті вимивання домішки опадами.

Значення функції виснаження хмари викиду в результаті радіоактивного розпаду:

$$F_i^r(t) = \exp(-\lambda_{r,i}t),$$

де $\lambda_{r,i}$ – постійна радіоактивного розпаду i -го радіонукліда, c^{-1} .

Функція виснаження хмари викиду в результаті сухого осадження домішки на поверхню ґрунту обчислюється за формулою:

$$F_i^d(x) = \begin{cases} \exp\left[-\frac{2v_i^d x}{\pi u} \int_0^x \frac{1}{\sigma_z(x)} \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) dx\right], & x \leq x_m, \\ \left\{ \exp\left[-\frac{2v_i^d x_m}{\pi u} \int_0^{x_m} \frac{1}{\sigma_z(x)} \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) dx\right] \right\} \exp\left[-\frac{v_i^d}{H_z^{\max}}(x - x_m)\right], & x > x_m, \end{cases}$$

де v_i^d – швидкість сухого осадження, $m \cdot c^{-1}$;

x_m - відстань від джерела викиду, на якому функція вперше від точки викиду досягає свого граничного значення, м;

H_z^{\max} - максимальна товщина шару перемішування ($H_z^{\max} = \frac{\pi}{2} \sigma_z^{\max}$), м.

Функція виснаження хмари викиду в результаті вимивання домішок опадами до моменту часу $t=x/u$, визначається як:

$$F_i^w(t) = \exp(-\Lambda_i t),$$

де Λ_i – параметр вимивання домішки опадами, г^{-1} .

Поверхнева питома активність i -го радіонукліда на ґрунті ($\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}$) розраховується за формулою:

$$A_{S,i}(x) = IA_{V,i}(x) \left\{ v_i^d \cdot 3600 + \Lambda_i \int_0^{\infty} \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] dz \right\},$$

де $IA_{V,i}(x)$ – об'ємна питома активність i -го радіонукліда в повітрі, $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{г}$;

v_i^d – швидкість сухого осадження, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$;

Λ_i – параметр вимивання домішки опадами, г^{-1} ;

z – апліката точки на відстані x від джерела викиду, м .

Характеристики кліматичних умов в районі розміщення майданчика АЕС розраховуються для кожної станції окремо. З усього спектра зміни погодних умов, найбільш консервативними для аналізу є слабкий вітер (1 м/с) та умови штилю, які обрані як реалістичний і консервативний варіант розрахунку.

3.6.3. Розрахунок фактору метеорологічного розбавлення для умов вітряної погоди

В умовах вітряної погоди потужність дози для викиду з ГО буде нерівномірною по майданчику. Для викиду з ГО та ШРУ-А потужність дози буде, визначатися концентрацією радіонуклідів у межах аеродинамічної тіні будівлі. При цьому мінімум дозового навантаження буде з підвітряного боку, а максимум з боку протилежного напрямку вітру.

Для викиду з венттруби потужність дози буде складатися з опромінення від витягнутої хмари викиду та від осідаючих радіонуклідів (на відстані коли

значення вертикальної дисперсії зрівняється із значенням висоти джерела). Також на дозові показники впливатиме витік через нещільності ГО.

В обох з описаних випадків викиду в умовах вітряної погоди, найбільш консервативними є змінні умови, коли напрямок вітру буде змінюватися протягом розвитку аварії, що може привести до рівномірного забруднення всієї території майданчика АЕС. Передбачається, що викид з ГО та ШРУ-А потрапляє в область аеродинамічної тіні.

Джерело, що знаходиться в аеродинамічній тіні будівлі розглядається як об'ємне джерело викиду потужністю:

$$V_b = C_r S_b u,$$

де C_r – коефіцієнт форми будівлі наближено рівний 0,5;

S_b – площа перетину будівлі перпендикулярного напрямку вітру, м²;

u – швидкість вітру, м/с.

Згідно з методом віртуального джерела, викид об'ємного джерела як і раніше вважається точковим, але зсунутим на таку відстань проти вітру, при якому розрахункова концентрація віртуального струменю буде збігатися з реальною концентрацією, що викидається в повітря. Таким чином треба знайти відстань x_d , при якій:

$$V_b = \pi \sigma_y \sigma_z u,$$

де V – потужність об'ємного джерела м³/с.

Результати розрахунку потужності об'ємного джерела наведені у Додатку В у таблиці В.1.

Результати розрахунку фактору метеорологічного розведення представлені у Додатку В у таблиці В.2. Для джерел, що перебувають в аеродинамічній тіні прийнята ефективна висота, що дорівнює 30 м. Даний

фактор метеорологічного розведення наведено без урахування коефіцієнта ослаблення хмари. Також консервативно не враховується динамічний підйом струменю викиду.

Результати розрахунку об'ємної активності та щільності випадіння радіонуклідів Додатку В у таблицях В.3- В.12.

3.7. Розрахунок доз за різними шляхами надходження

Ефективна доза опромінення всього тіла за всіма шляхами надходження розраховується за формулою.

$$E_{\tau}(x) = \sum_i [E_{\tau,i}^{air}(x) + E_{\tau,i}^{srf}(x) + E_{\tau,i}^{ing}(x)],$$

де x – відстань від джерела викиду, м;

$E_{\tau,i}^{air}$, $E_{\tau,i}^{srf}$, $E_{\tau,i}^{ing}$ – ефективні дози для референтного віку від i -го радіонукліду, обумовленого зовнішнім опроміненням та інгаляційним надходженням від радіоактивної хмари, зовнішнім опроміненням від поверхні ґрунту, зараженого внаслідок осадження хмари, а також пероральним надходженням.

Ефективна доза для референтного віку, сформована i -им радіонуклідом за рахунок інгаляційного надходження та зовнішнього опромінення від хмари викиду розраховується за формулою:

$$E_{\tau,i}^{air}(x) = IA_{v,i}(x) \cdot g_{\tau,i}^{air},$$

де $IA_{v,i}$ – інтегральна об'ємна питома активність i -го радіонукліда в повітрі, Бк·м⁻³·ГОД;

$g_{\tau,i}^{air}$ – коефіцієнт потужності ефективної дози для референтного віку за рахунок інгаляційного надходження і зовнішнього опромінення від хмари

викиду на одиницю об'ємної питомої активності і-го радіонукліда в повітрі, $\text{мЗв} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{г}^{-1}$.

Ефективна доза зовнішнього опромінення для референтного віку від випадіння і-го радіонукліда на поверхню ґрунту:

$$E_{\tau,i}^{\text{srf}}(x) = k_{\text{srf}} A_{s,i}(x) g_{\tau,i}^{\text{srf}} \int_0^t \gamma(\theta) d\theta,$$

де k_{srf} – зниження дози опромінення, який враховує рельєф місцевості; 0.7;

$A_{s,i}$ – поверхнева питома активність і-го радіонукліда на ґрунті, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$;

$g_{\tau,i}^{\text{srf}}$ – коефіцієнт потужності ефективної дози зовнішнього опромінення для референтного віку на одиницю поверхневої питомої активності і-го радіонукліда на ґрунті, $\text{мЗв} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч}^{-1}$;

F_i^r – виснаження і-го радіонукліда в результаті радіоактивного розпаду;

t – тривалість інтервалу інтегрування, 14 днів.

Еквівалентна доза, реалізована інгаляційним надходженням для референтного віку, розраховується за формулою:

$$E_{\tau,i}^{\text{inhal}}(x) = IA_{v,i}(x) H_i^{\text{inhal}} V_{\tau}^{\text{inhal}},$$

де $IA_{v,i}$ – інтегральна об'ємна питома активність і-го радіонукліда в повітрі, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{с}$;

H_i^{inhal} – коефіцієнт переходу активності у еквівалентну дозу при інгаляційному надходженні і-го радіонукліда, $\text{мЗв} \cdot \text{Бк}^{-1}$;

V_{τ}^{inhal} – середня витрата повітря для референтного віку τ , $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

Результати розрахунку потужності еквівалентної дози на різних відстанях для аварії з вибоком теплоносія першого контуру для штильових та вітряних умов для реактору типу ВВЕР-1000 наведені у таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 - Потужність еквівалентної дози на різних відстанях для аварії з вибоком теплоносія першого контуру для штильових умов

Час після початку аварії, с	Потужність еквівалентної дози опромінення усього тіла, мЗв/с			
	50 м	100 м	150 м	200 м
1000	2.09E-01	-	-	-
2000	4.23E-01	0.049537	-	-
3000	6.11E-01	0.117806	0.005014	-
4000	7.75E-01	0.186491	0.029564	-
5000	9.17E-01	0.249897	0.063527	-
6000	1.27E+00	0.368835	0.111199	0.010211
7000	1.63E+00	0.490298	0.16444	0.027742
8000	1.98E+00	0.613202	0.221626	0.05066
9000	2.34E+00	0.736936	0.281714	0.077676
10000	2.69E+00	0.861154	0.344007	0.107894
20000	2.80E+00	0.988021	0.417575	0.153837
30000	2.90E+00	1.076608	0.493989	0.204592
40000	3.02E+00	1.148314	0.567167	0.257305
50000	3.15E+00	1.216515	0.62429	0.310726
60000	3.29E+00	1.285482	0.672412	0.364206
70000	3.21E+00	1.298773	0.706544	0.408814
80000	3.13E+00	1.305142	0.733705	0.446428
90000	3.04E+00	1.305886	0.755226	0.478395
100000	2.94E+00	1.301922	0.772054	0.505676
110000	2.85E+00	1.293929	0.784892	0.528985
120000	2.76E+00	1.274183	0.782354	0.535098

Таблиця 3.2 - Потужність еквівалентної дози на різних відстанях для аварії з з вибоком теплоносія першого контуру для вітряних умов

Час після початку аварії, с	Потужність еквівалентної дози опромінення усього тіла, мЗв/с			
	50 м	100 м	150 м	200 м
1000	1.36E-01	-	-	-

Час після початку	Потужність еквівалентної дози опромінення усього тіла, мЗв/с			
	50 м	100 м	150 м	200 м
2000	2.76E-01	3.23E-02	-	-
3000	3.98E-01	7.68E-02	3.27E-03	-
4000	5.05E-01	1.22E-01	1.93E-02	-
5000	5.98E-01	1.63E-01	4.14E-02	-
6000	8.28E-01	2.41E-01	7.25E-02	6.66E-03
7000	1.06E+00	3.20E-01	1.07E-01	1.81E-02
8000	1.29E+00	4.00E-01	1.45E-01	3.30E-02
9000	1.53E+00	4.81E-01	1.84E-01	5.07E-02
10000	1.75E+00	5.62E-01	2.24E-01	7.04E-02
20000	1.83E+00	6.44E-01	2.72E-01	1.00E-01
30000	1.89E+00	7.02E-01	3.22E-01	1.33E-01
40000	1.97E+00	7.49E-01	3.70E-01	1.68E-01
50000	2.05E+00	7.93E-01	4.07E-01	2.03E-01
60000	2.15E+00	8.38E-01	4.39E-01	2.38E-01
70000	2.09E+00	8.47E-01	4.61E-01	2.67E-01
80000	2.04E+00	8.51E-01	4.78E-01	2.91E-01
90000	1.98E+00	8.52E-01	4.93E-01	3.12E-01
100000	1.92E+00	8.49E-01	5.03E-01	3.30E-01
110000	1.86E+00	8.44E-01	5.12E-01	3.45E-01
120000	1.80E+00	8.31E-01	5.10E-01	3.49E-01

Результати розрахунку потужності еквівалентної дози на різних відстанях для аварії з пошкодженням оболонки ТВЕЛ для штильових та вітряних умов для реактору типу ВВЕР-1000 наведені у таблицях 3.3 та 3.4.

Таблица 3.3 - Потужність еквівалентної дози на різних відстанях для аварії з пошкодженням оболонки ТВЕЛ для штильових умов

Час після початку аварії, с	Потужність еквівалентної дози опромінення усього тіла, мЗв/с			
	50 м	100 м	150 м	200 м
1000	4.60E+04	-	-	-
2000	9.03E+04	1.16E+04	-	-
3000	1.27E+05	2.81E+04	1.27E+03	-
4000	1.58E+05	4.50E+04	7.65E+03	-
5000	1.83E+05	6.11E+04	1.68E+04	-
6000	2.83E+05	9.69E+04	3.07E+04	2.86E+03
7000	3.85E+05	1.35E+05	4.68E+04	7.96E+03
8000	4.89E+05	1.75E+05	6.47E+04	1.49E+04
9000	5.94E+05	2.16E+05	8.41E+04	2.33E+04
10000	7.01E+05	2.58E+05	1.05E+05	3.30E+04
20000	7.68E+05	3.08E+05	1.32E+05	4.94E+04
30000	8.39E+05	3.48E+05	1.62E+05	6.89E+05
40000	9.20E+05	3.85E+05	1.93E+05	9.01E+04
50000	1.01E+06	4.23E+05	2.20E+05	1.13E+05
60000	1.10E+06	4.63E+05	2.45E+05	1.36E+05
70000	1.12E+06	4.84E+05	2.66E+05	1.57E+05
80000	1.14E+06	5.03E+05	2.85E+05	1.76E+05
90000	1.15E+06	5.20E+05	3.03E+05	1.94E+05
100000	1.17E+06	5.36E+05	3.20E+05	2.11E+05
110000	1.18E+06	5.52E+05	3.36E+05	2.27E+05
120000	1.19E+06	5.71E+05	3.45E+05	2.36E+05

Таблица 3.4- Потужність еквівалентної дози на різних відстанях для аварії з пошкодженням оболонки ТВЕЛ для вітряних умов

Час після початку аварії. с	Потужність еквівалентної дози опромінення усього тіла, мЗв/с			
	50 м	100 м	150 м	200 м
1000	-	0	-	-
2000	24.62388	4.377463	-	-
3000	52.60287	12.11474	0.356114	-
4000	82.48409	21.84791	2.703358	-
5000	113.8026	32.90964	6.406798	-
6000	145.9781	44.98072	11.1214	0.943802
7000	179.0105	57.82911	16.61526	2.666444
8000	212.6101	71.30979	22.71452	5.014644
9000	246.7769	85.30682	29.33215	7.881387
10000	281.5109	99.73326	36.41015	11.19723
20000	650.926	267.2554	130.6392	67.87029
30000	1030.975	445.0419	235.0122	135.0507
40000	1415.968	628.7831	345.4907	208.1225
50000	1803.086	816.1908	460.0615	285.3561
60000	2192.368	1006.414	577.5781	365.6017
70000	2583.844	1198.89	697.4694	448.2851
80000	2977.535	1393.053	818.8811	532.5498
90000	3370.614	1588.627	941.816	618.3957
100000	3765.949	1785.049	1065.992	705.5387
110000	4160.714	1982.327	1191.128	793.6954
120000	4557.764	2180.467	1317.226	882.8668

ВИСНОВОК

За результатами аналізу радіоактивного викиду при штильових та вітряних погодних умовах при перебігу ЗПА можна зробити висновок, що продовження роботи неаварійних енергоблоків за радіаційним фактором при виникненні ЗПА на майданчику можливо до моменту початкової фази ВА.

Експлуатація енергоблоків ускладнена при аварії з виходом газового зазору ТВЕЛ в умовах штилю, що є консервативним варіантом розрахунку і обмежено можлива за умови наявності вітру (реалістичний варіант). Отже, при ЗПА на майданчику, враховуючи всі негативні фактори від зупинки реактору для енергосистеми України та можливості управління ЗПА, можна відкласти зупинку блоків до моменту досягнення початку пошкодження АкЗ (вихід ГЗ всіх ТВЕЛ активної зони).

У разі виникнення ЗПА на двох енергоблоках багатоблокової АЕС дані результати також можна застосовувати, так як запас часу при аварії з течєю теплоносія багаторазово перевищує критерії прийнятності і в гіпотетичне двократне збільшенні потужності викиду радіації не змінить серйозно рівень загрози для персоналу.

Граничні рівні по об'ємній активності будуть перевищені для аварій з відмовою ГО. Для аварій з течєю теплоносія всередині ГО і розущільнення оболонок ТВЕЛ без відмови ГО в умовах вітряної погоди (реалістичний варіант розрахунку) перевищення не буде.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ОСНОВНІ СТРАТЕГІЧНІ ЦІЛІ РОЗВИТКУ ДЕРЖАВНОЇ ІНСПЕКЦІЇ ЯДЕРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ УКРАЇНИ НА 2019-2024 РОКИ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://snriu.gov.ua/news/dokument-osnovni-strategichni-tsili-rozvitku-derzhavnoi-inspektzii-yadernogo-regulyuvannya-ukraini-na-2019-2024-roki>.

2. Плачков Г. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні [Електронний ресурс] / Григорій Плачков. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://snriu.gov.ua/news/oprilyudneno-dopovid-pro-stand-yadernoyi-ta-radiacijnoyi-bezpeki-v-ukraini>.

3. Справочник по радиационной безопасности . – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.: ил.

4. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97); Государственные гигиенические нормативы. - Киев: Отдел полиграфии Украинского центра госсанэпиднадзора.

5. Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. 2-е издание переработанное и дополненное. Москва. Энергоатомиздат. 1991.

Совпадения

Источники из Интернета

60

7	http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE20081.html	1.8%
8	http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/3815/1/Dereza_Teh_Radioekolog_Monitor_M_2018.pdf	1.49%
10	https://snriu.gov.ua/storage/app/sites/1/docs/shorichna_dopovid_pro_stan_yadernou_ta_radiacijnoi_bezpeky/dopo... 24 источника	0.62%
13	https://zakononline.com.ua/documents/show/55342__55342	0.26%
16	https://zadocs.ru/jurnalistika/24645/index.html	0.21%
19	http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/19686/libro%20computational%20Intelligence%20for%20Busi... 30 источников	0.19%
21	https://www.studmed.ru/science/tek/kotelnye-ustanovki	0.19%
22	https://knute.edu.ua/file/NjY4NQ==/129283cf8321b747f3b0404d42dff959.pdf	0.19%

Источники из Библиотеки

59

1	TYa62-Petishin-diploma-2020-mod ID файла: 1004138998 Учебное заведение: National Technical University of Uk...	20.2%
2	TYa82-KleinOS-diploma-2022 ID файла: 1011450505 Учебное заведение: National Technical University of Ukraine...	5.48%
3	TYa42-KozyrRV-diploma-2018 ID файла: 5990696 Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "K...	5.22%
4	TYa71mn-IvanovZV-thesis-2019 ID файла: 11883482 Учебное заведение: National Technical University of Ukraine...	3.27%
5	TYa61-IvanovaMV-diploma-2020-mod ID файла: 1004049226 Учебное заведение: National Technical University of...	3.18%
6	TYa81mp-IllinOM-thesis-2019-1 ID файла: 1000749392 Учебное заведение: National Technical University of Ukrai...	2.66%
9	TYa71-IshchenkoM-special-question-2021 ID файла: 1008179075 Учебное заведение: National Technical Universit...	1.14%
11	Студенческая работа ID файла: 7116534 Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University 12 источник	0.62%
12	Студенческая работа ID файла: 1008347209 Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University	0.4%
14	TZ-01MP-SitnikovaOL-diploma-2021 (1) ID файла: 1009471700 Учебное заведение: National Technical University o...	0.24%
15	Студенческая работа ID файла: 1009710083 Учебное заведение: Zhytomyr National Agroecological U 3 источник	0.24%
17	TYa72mp-GankoTO-thesis-2018 ID файла: 8640697 Учебное заведение: National Technical University of Ukraine ...	0.21%
18	Студенческая работа ID файла: 1000058438 Учебное заведение: National University of Life and Env 30 источник	0.19%

20	НП (1)	ID файла: 1000532829	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Ins...	0.19%
23	Студенческая работа	ID файла: 1005982114	Учебное заведение: State University Kyiv National Econ 3 Источник	0.19%