

УДК 621.039.76

**Аналіз стану проблеми контролю, радіоактивного забруднення
навколишнього середовища та спосіб оптимізації РК**

**Analysis of the problem state of control, radioactive contamination of the
environment and method of optimization of LCD**

Науковий керівник - к.т.н. проф., Кіров В.С., Kirov V.

Комарова Я.О., Komarova Ya.

Магістри - Чорний В.М., Chorniy V.

Поляков В.Е., Polyakov V.

Анотація: Визначення загальної мети безпеки припускає, що радіаційний контроль (РК) є одним з ключових моментів забезпечення безпеки енерго-установок. Тільки через РК, можна робити висновки про фактично досягнутий рівень безпеки на об'єкті.

У статті розглянуті різні способи виконання цього завдання і зіставлення їх ефективності за різними показниками. У цій статті наведені загальні принципи, які дозволяють визначити такий обсяг контролю для конкретного об'єкту, а саме: види та об'єкти контролю, перелік параметрів, що контролюються, допустимі та контрольні рівні, кількість точок контролю, місця їх оптимального розміщення, періодичність вимірювань.

Ключові слова: РК (Радіаційний контроль), СРК (Системи радіаційного контролю), АСКРО (Автоматизована система контролю радіаційної обстановки), РБГ (Радіоактивні благородні гази), МДА (Мінімальна детектируема активність).

Аннотация: Определение общей цели безопасности предполагает, что радиационный контроль (РК) является одним из ключевых моментов обеспечения безопасности энерго-установок. Только через РК, можно делать выводы о фактически достигнутом уровне безопасности на объекте.

В статье рассмотрены различные способы выполнения этой задачи и сопоставления их эффективности по разным показателям. В этой статье приведены общие принципы,

которые позволяют определить такой объем контроля для конкретного объекта, а именно: виды и объекты контроля, перечень контролируемых параметров, допустимые и контрольные уровни, количество точек контроля, места их оптимального размещения, периодичность измерений.

Ключевые слова: РК (Радиационный контроль), СРК (Системы радиационного контроля), АСКРО (Автоматизированная система контроля радиационной обстановки), РБГ (Радиоактивные благородные газы), МДА (Минимальная детектируемая активность).

Abstract: Defining the overall safety objective assumes that radiation control (LCD) is one of the key points in ensuring the safety of power plants. Only through LCDs can you make a conclusion about the actual level of security achieved on the site.

The article discusses different ways of performing this task and comparing their performance by different indicators. This article provides general principles that allow you to determine the amount of control for a particular object, namely: types and objects of control, a list of controllable parameters, permissible and control levels, the number of control points, their optimal location, frequency measurements.

Keywords: RC (Radiation control), IBS (Radiation control systems), ASCRO (Automated radiation monitoring system), RBG (Radioactive noble gases), MDA (Minimum detectable activity).

Вступ

Визначення загальної мети безпеки передбачає, що радіаційний контроль (РК) є одним з ключових моментів забезпечення безпеки ядерних енергоустановок. Тільки на підставі результатів РК, можна робити висновки про фактично досягнутому рівні безпеки на об'єкті. Такі оцінки отримують за допомогою проведення цілого комплексу розрахунків дозових показників, що забезпечує отримання інформації про рівень опромінення людей і параметрах радіаційної обстановки на об'єкті і в навколишньому середовищі з метою:

- порівняння отриманих результатів з основними дозовими межами і допустимими рівнями (ДР);

- розробки заходів щодо зменшення радіаційного впливу до мінімального реально досяжного рівня і перевірки ефективності їх здійснення.

Для того щоб, радіаційний контроль відповідав сформульованій меті, його регламент повинен забезпечити повноту і достатність контролю. Під повнотою контролю розуміють наявність інформації, необхідної для того, щоб з ймовірністю, не нижче

заданої, визначити рівні опромінення людей і необхідні параметри радіаційної обстановки в будь-якій точці контрольованого простору, в будь-який момент часу. Під достатністю контролю розуміють мінімум інформації, яка забезпечує задану повноту. Мінімальний обсяг контролю, який забезпечує потрібну повноту, буде мінімально необхідним або достатнім обсягом радіаційного контролю.

Актуальність теми обумовлена недостатнім обґрунтуванням системи розташування постів радіаційного контролю на українських АЕС з точки зору повноти та достатності. У даній статті загальні принципи, які висунуті на підставі запропонованого ймовірносно-стохастичного підходу, дозволяють більш повно визначити такий обсяг контролю для конкретного об'єкта, а саме: види і об'єкти контролю, перелік контрольованих параметрів, допустимі і контрольні рівні, кількість точок контролю, місця їх оптимального розміщення, періодичність вимірювань.

Метою статті є розробка ймовірносно-стохастичного методу оптимізації радіаційного контролю навколишнього середовища атомних електростанцій.

1.«Аналіз стану проблеми контролю, радіоактивного забруднення навколишнього середовища»

Питання захисту від іонізуючого випромінювання набувають на сьогоднішній день одне з провідних місць, як в науковій, так і соціально-політичній сфері діяльності суспільства. Це пов'язано в першу чергу з розвитком ядерних технологій, з одного боку і великою кількістю спекуляцій на «ядерну загрозу» з іншого.[1]

Визначення загальної мети безпеки передбачає, що радіаційний контроль (РК) є одним з ключових моментів забезпечення безпеки ядерних енергоустановок і радіаційного «благополуччя» територій в цілому.

Тільки на підставі, результатів РК, можна судити про фактично досягнутому рівні безпеки на об'єкті. Такі оцінки отримують шляхом проведення цілого комплексу розрахунків дозових показників, що забезпечують отримання інформації про рівні опромінення людей і параметрах радіаційної обстановки на об'єкті і навколишньому середовищу.

Якщо мова йде про контроль навколишнього середовища, то необхідно відзначити наступні міркування. Факел радіоактивного викиду навколо джерела розподілена не рівномірно. Отже, радіаційні параметри (такі як потужність експозиційної дози або радіоактивні випадання), є наслідком метеорологічної ситуації навколо джерела і будуть різними для різних точок контролю. Таким чином, вимірювання, отримані на одному

стаціонарному посту контролю апріорі (заздалегідь відомо), без будь-яких додаткових знань про загальні закономірності розподілу вимірюваної величини, не дадуть повної картини радіоактивного забруднення навколишнього середовища.[2]

Крім того, в разі, коли на ядерному об'єкті складається надзвичайна ситуація, і час на збір і обробку інформації, а отже, і отримання висновку про неперевищення (перевищенні) контрольованими параметрами регламентованих рівнів, буде йти з затримкою по відношенню до їх поточним значенням, впливає необхідність в системі, що дозволяє проводити поточну оцінку існуючого рівня безпеки за комплексом показників. У даній ситуації виникає необхідність в цілій системі постів і методі оцінки результатів вимірювань, як складової системи радіаційного контролю (СРК).

Для коректного вирішення завдання необхідне введення ймовірнісного опису процесів. У зв'язку з цим і для зручності подальших досліджень в роботі вводиться поняття "повноти контролю за об'єктом" з наступним визначенням.

Під повнотою радіаційного контролю розуміється наявність інформації, необхідної для того, щоб з ймовірністю, не нижче заданої, визначити рівні опромінення людей і необхідні параметри радіаційної обстановки в будь-якій точці контрольованого простору в будь-який момент часу. Значення ймовірності вибирається виходячи з зовнішніх передумов. Отже, щоб радіаційний контроль відповідав сформульованим цілям, його регламент повинен забезпечувати повноту і достатність контролю.

Під достатністю розуміється мінімум інформації, що забезпечує задану повноту. Мінімальний обсягу контролю, що забезпечує необхідну повноту, і буде називатися мінімально необхідним або достатнім обсягом радіаційного контролю.[3-4]

2.«Характеристика джерел забруднення навколишнього середовища»

В ході експлуатації АЕС в навколишнє середовище надходять рідкі і газоподібні радіоактивні відходи. Основний потік радіонуклідів при нормальній експлуатації надходить в навколишнє середовище з вентиляційних труб блоків і з водоскидних каналів. Усереднені нормалізовані газоподібні викиди і скиди за основними типами біологічно значущих радіонуклідів для реактора ВВЕР наводяться в табл. 1.

Як видно з наведеної таблиці основна маса викидається активності припадає на радіоактивні благородні гази (РБГ) і можна очікувати, що повітряний шлях радіаційного впливу є основним з радіаційного впливу на населення та навколишнє середовище. Єдиний підхід, що не приводить до великих обсягів непотрібних вимірювань - це ведення

контролю за дозоутворюючими радіонуклідами або їх групами. Для їх визначення необхідно оцінити внесок в ефективну дозу різних шляхів опромінення, базуючись на даних про склад викиду з АЕС.

Таблиця 1 - Усереднені нормалізовані газоподібні викиди і рідкі скиди з АЕС з реактором ВВЕР (ТБк/ГВт×рік⁻¹)

Тип реактора	Викид у атмосферу			Викид у гідросферу	
	РБГ	ДЖН	³ Н	ДЖН	³ Н
ВВЕР					
мінімум	111	11.1×10 ⁻⁴	-	-	-
максимум	277	2×10 ⁻²	7.4	1.8×10 ⁻⁴	5.0

Розрахунки ґрунтуються на моделях лінійної безпорогової залежності дози від величини концентрації радіонуклідів, які її зумовлюють. У загальному вигляді ця залежність задається рівнянням:

$$D = \sum_i \sum_j q_j \cdot D_{ij}^0 \cdot t, \quad (1)$$

де: D – ефективна еквівалентна доза опромінення, Зв

i – індекс, що визначає шляхи опромінення;

q-концентрація j-го радіонукліда, Бк / м³;

D_{ij}^0 – дозовий коефіцієнт для j-го радіонукліда, що залежить від шляху опромінення, Зв м³ / Бк с;

t – час опромінення, с.

Ефективна еквівалентна доза D у формулі (1) є регламентуються межею і являє собою суперпозицію дозових квот за різними шляхами надходження радіонуклідів в організм. Парціальні вклади дозових показників, що входять в цю суперпозицію, визначаються виходячи з проектних оцінок і даних експлуатаційної практики з урахуванням характерного для даної місцевості розміщення сільськогосподарських угідь і населення. Внесок радіонуклідів у відповідні дозові квоти визначається або відомим співвідношенням радіоактивних ізотопів у викидах станції (для діючих станцій) або проектним співвідношенням (для проєктованих або споруджуваних АЕС).

Аерозольна активність повітря є прямим показником опромінення за рахунок дихання і першою ланкою в ланцюжку, пов'язаної з щільністю радіоактивного забруднення території. Таким чином, опосередковано, за сумарним вкладом, цей параметр може становити до 54% відсотків індивідуальної ефективної еквівалентної дози. При цьому, якщо в формуванні потужності експозиційної дози від поверхні ґрунту, бере участь весь спектр радіонуклідів, що викидаються, то за внутрішнє опромінення за рахунок споживання продуктів харчування відповідають радіоізотопи цезію і стронцію, а при інгаляційному надходженні за короткочасний період, критичними є радіоактивний йод.

Так як, на сьогоднішній день в Україні регламентуються річні межі ефективної дози населення в термінах річної індивідуальної ефективної дози і рівні виправданості щодо прийняття контрзаходів при аварійних викидах для поточної радіаційної обстановки, то вибір об'єктів контролю повинен проводитися таким чином, щоб забезпечити можливість визначення дозових навантажень на населення усереднених за рік відповідно до шляхів їх формування і мати можливість оцінити поточну радіаційну обстановку. Перше завдання вирішується за допомогою всієї системи радіаційного контролю; друга - за допомогою АСКРО, що є її підсистемою. При цьому необхідність в контролі за певним об'єктом, в плані отримання усереднених за рік доз опромінення, визначається в першу чергу його внеском в ефективну дозу по кожній з груп органів і ефективну дозу всього тіла.[5-6]

3.«Принципи організації автоматичного контролю за навколишнім середовищем»

Автоматизована система контролю радіаційної обстановки (АСКРО), як складова системи радіаційного контролю (СРК), повинна забезпечувати радіаційний контроль навколишнього середовища в автоматизованому режимі і передбачає моніторинг потужності дози гамма-випромінювання, радіоактивних аерозолів, радіойода і радіоактивних благородних газів (РБГ) в викидах і скидах з АЕС і на місцевості.[9]

Для кожного з таких змін повинен бути встановлений зв'язок з об'єктом і дано прогноз можливої динаміки.

Отже, поняття повноти для АСКРО можна сформулювати наступним чином:

Під повнотою радіаційного контролю для АСКРО розуміється наявність інформації, одержуваної в режимі реального часу, необхідної для того, щоб з ймовірністю, не нижче заданої, визначити відносні зміни параметрів радіаційної обстановки

перевищують задані значення в будь-якій точці контрольованих територій в поточний момент часу.

Таким чином, для надійної реєстрації радіоактивного викиду на місцевості необхідно, з одного боку, знайти такі точки розташування датчиків, де з найбільшою ймовірністю фактор метеорологічного розведення матиме максимальні значення, а з іншого - підібрати таку вимірювальну апаратуру і методичний супровід, які забезпечили б значення мінімальна детектуєма активність (МДА) в розрахованих точках контролю при викидах, характерних для режиму нормальної експлуатації.[7]

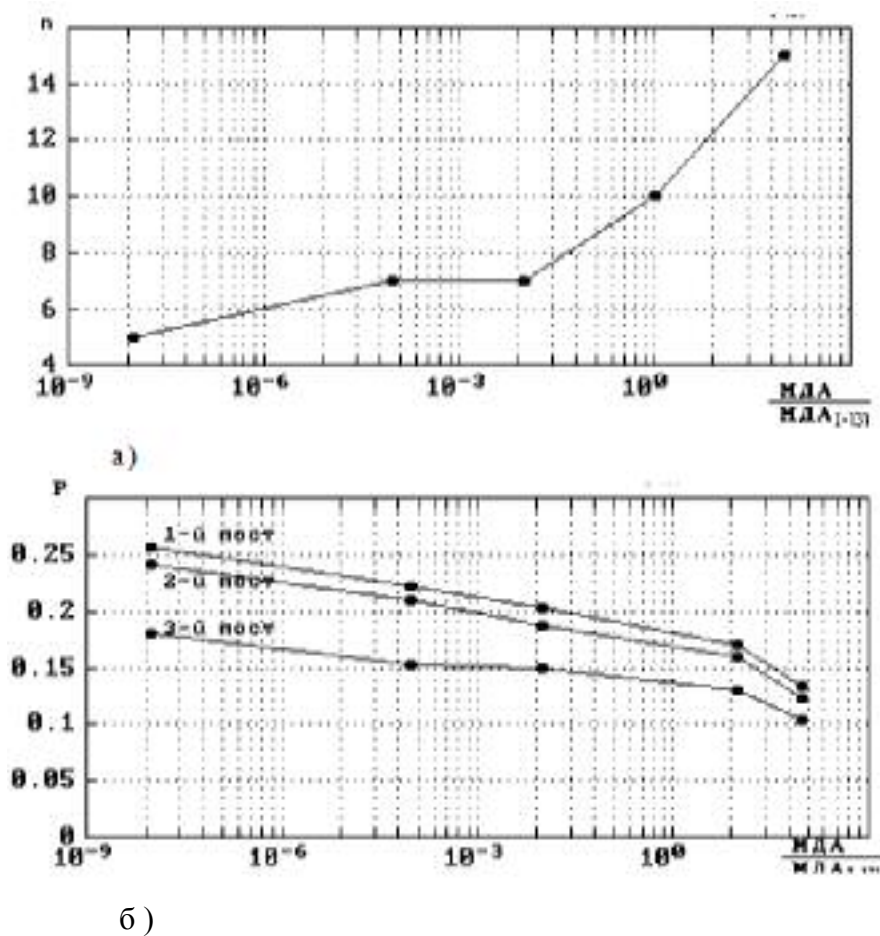


Рис.1 Залежність від МДА нормованого на МДА I-131

а) оптимальне число постів

б) ймовірність виявлення викиду трьома постами контролю

Ілюстрацією до сказаного можуть служити наведені нижче малюнки, на яких показано залежності кількості постів контролю та ймовірності виявлення викиду, у 10 разів перевищує проектний, від МДА, розраховані для зони спостереження ЮУАЕС. МДА

тут наводиться у відносних одиницях, нормована на величину МДА для ^{131}I рівного 1.6×10^{-9} Ки/л. Принципи оптимальної розстановки постів контролю (ПК) та розрахунок їх кількості будуть викладені нижче.

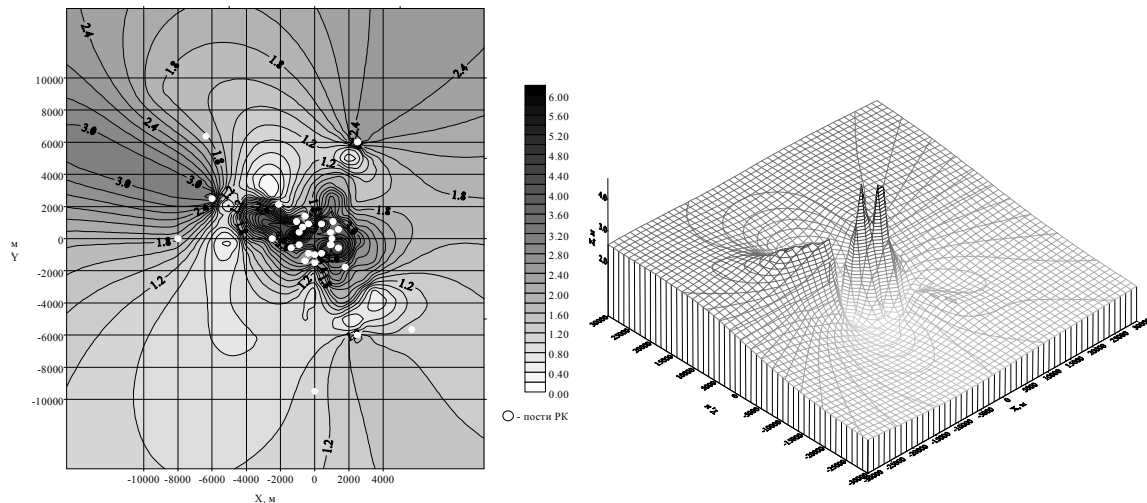


Рис. 2. Ймовірність реєстрації викиду Cs-137 одним постом (зліва) і оптимальне розташування постів контролю (праворуч).

Як видно з малюнків, чим нижче значення мінімально детектуючої активності використовуваних для реєстрації викиду приладів, тим меншою кількістю постів можна забезпечити повноту контролю; тим більша ймовірність зареєструвати радіоактивний викид кожним окремо взятим постом.[8]

Залежність повноти контролю від кількості і місця розташування постів контролю. Щоб забезпечити реєстрацію радіоактивного викиду, необхідно в зоні спостереження знайти такі точки, в яких концентрації радіонуклідів у приземному шарі атмосфери були б найбільшими, а значить фактор метеорологічного розведення брав би максимальні значення. Іншими словами, слід знайти оптимальні місця розташування постів контролю, такі, що при їх мінімальної чисельності буде забезпечена необхідна повнота контролю.

Висновки

1. З проведеного в роботі аналізу випливає, важливість і актуальність науково-обґрунтованих методичних підходів, на підставі яких встановлюється мережу точок

контролю, періодичність контролю і система контрольних рівнів, які враховують наявну апаратно-методичне підтримку і забезпечує повноту контролю за об'єктом.

2. Наведений в статті критерій повноти контролю та рекомендації щодо розробки методики побудови регламенту не прив'язані ні до конкретного об'єкта контролю ні до режиму експлуатації об'єкта, тобто вони уніфіковані щодо об'єктів і інваріантні щодо параметрів. Отже, можуть бути реалізовані для широкого спектра задач контролю, включаючи різні режими експлуатації.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 15484-81. Ионизирующие излучения и их измерения. Термины и определения. - М.: Стандарты, 1981. - С. 91-98.
2. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. - второй вид. / Н. С. Бабаев, В. Ф. Демин, Л. А. Ильин и др. / Под ред. акад. А. П. Александрова. - М.: Высшая школа. - 1984. - 130 с.
3. Концепция безопасности реакторной установки АСТ / Ф. М. Митенко, В. В. Егоров, В. С. Куули и др. М: Атомная энергия. - 1988. - Т. 64. - Вып. 4. - 267 с.
4. Публикация 37 МКРЗ. Оптимизация радиационной защиты на основе анализа соотношения затраты-выгода. - М.: Высшая школа. - 1985. -
5. ДГН 6.6.1-6.5.001-98. Норми радіаційної безпеки України. - Київ, 1998. - С.10-20.
6. ГОСТ 12.1.0.07-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. - М.: Госстандарт. - 1976. - 210 с.
7. ГОСТ 17.2.3.01-77. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями. -М.: Госстандарт. - 1979. - С. 72-75.
8. Рао С. Р. Вероятность регистрации выброса: Пер. с англ. -М.: Наука. - 1968. - 547 с.
9. Кіров В. С. Теплові схеми турбоустановок АЕС та їх розрахунки: Навч. посібн. / Одеськ. Націон. Політехн. Ун-т-Одеса: АО БАХВА. - 2002. - 200 с., з іл.
10. Харабет А. М., Зотєєв О. Є., Чулкін О. А. Застосування теорії можливостей для визначення надійності енергетичного обладнання АЕС // Ядерна енергетика та довкілля. - Київ. - 2013. - №2. - С. 63-69.
11. Кіров, В. С. Атомні електричні станції. Ч. 1: навч. посібник / В. С. Кіров; Одес. нац. політехн. ун-т. - Одеса, 2018. - 201 с.

12. Кравченко, В. П. Розробка регресійних рівнянь для прогнозування зносу згинів трубопроводів другого контуру АЕС / В. П. Кравченко, В. С. Медвінський // Вост.-Европ. журн. передових технологій. - 2010. - Т. 6, № 7(48). - С. 23-26.
13. Жук, В. В. Забезпечення безпеки АЕС з реактором ВВЕР-СКД / В. В. Жук, С. В. Барбашев, В. П. Кравченко // Ядерна енергетика та довкілля. - 2015. - № 1. - С. 4-10.
14. Корольов, А. В. Потенціал відпрацьованого ядерного палива / А. В. Корольов, О. П. Іщенко // Ядерна енергетика та довкілля. - 2015. - № 2. - С. 61-64.
15. Корольов, А. В. Експериментальне дослідження амплітуди вибухів водню в малому обсязі / А. В. Корольов, М. В. Колесник // Ядерна енергетика та довкілля. - 2013. - № 1. - С. 52-58.