

Оптимізація місць розміщення та кількості постів автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки АЕС

Вимоги стандарту щодо формування мережі постів автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (АСКРО) на українських АЕС в повному обсязі не виконуються. Для оптимізації кількості та місць розміщення постів АСКРО з датчиками для вимірювання потужності дози γ -випромінювання в санітарно-захисній зоні (СЗЗ) атомних станцій пропонується застосувати методичний підхід, який враховує екологічні, економічні, фізико-технічні фактори та особливості формування і поширення факела викиду від АЕС. Практичне використання методики здійснено на прикладі Хмельницької АЕС. Побудовано принципову схему розміщення γ -датчиків АСКРО у СЗЗ для двох енергоблоків станції.

Ключові слова: автоматизована система контролю радіаційної обстановки АСКРО АЕС, пости контролю, методика оптимізації мережі постів АСКРО, санітарно-захисна зона, Хмельницька АЕС.

С. В. Барбашев, Ф. А. Аверенков

Оптимизация мест расположения и количества постов автоматизированной системы контроля радиационной обстановки АЭС

Требования стандарта к формированию сети постов АСКРО на украинских АЭС в полном объеме не выполняются. Для оптимизации количества и мест размещения постов АСКРО с датчиками для измерения мощности дозы γ -излучения в санитарно-защитной зоне АЭС предлагается применить методический подход, учитывающий экологические, экономические, физико-технические факторы и особенности формирования и распространения факела выброса от АЭС. Практическое применение методики показано на примере Хмельницкой АЭС. Построена принципиальная схема размещения γ -датчиков АСКРО в СЗЗ для двух блоков электростанции.

Ключевые слова: автоматизированная система контроля радиационной обстановки АСКРО АЭС, посты контроля, методика оптимизации сети постов АСКРО, санитарно-защитная зона, Хмельницкая АЭС.

© С. В. Барбашев, П. О. Аверенков, 2017

Чинними в Україні правилами і нормами у сфері радіаційної безпеки [1–4] на кожній АЕС передбачено створення автоматизованої системи радіаційного контролю обстановки (АСКРО) для здійснення безперервного спостереження за радіаційною обстановкою на проммайданчику (ПМ), у санітарно-захисній зоні (СЗЗ) та зоні спостереження (ЗС) АЕС в усіх режимах роботи станції, охоплюючи проектні та за-проектні аварії, а також зняття з експлуатації. Крім того, до завдань АСКРО входить інформаційна підтримка діяльності органів виконавчої влади щодо забезпечення радіаційної безпеки.

В Україні нормативним документом, що окреслює призначення АСКРО, виконувани функції, загальні вимоги до обсягу контролю, формування мережі постів контролю, складу та структури системи, апаратури і видів забезпечення АСКРО, є державний стандарт «Автоматизовані системи контролю радіаційної обстановки для атомних станцій. Основні положення» [5] (далі — Стандарт), який поширюється як на новостворювані системи, так і на ті, які модернізуються.

З урахуванням Стандарту на всіх українських АЕС у різний час були створені АСКРО. Всі вони перебувають у робочому стані, безперервно фіксуючи радіаційну обстановку навколо АЕС, про що можуть свідчити сайти станцій, де в режимі реального часу відображаються радіаційний фон і метеодані в зоні спостереження.

Основа АСКРО становлять: система постів контролю (ПК) потужності дози фотонного випромінювання, що розміщуються на місцевості; сукупність датчиків, що вимірюють метеопараметри, за показаннями яких визначається стан стійкості атмосфери; технологічні датчики, призначені для визначення параметрів радіоактивного викиду в атмосферу; програмне забезпечення нижнього та верхнього рівнів. Нижній рівень забезпечує обробку показань датчиків з метою перетворення їх у спеціальний формат для використання в якості вихідних даних у прогностичних розрахунках. Верхній рівень, основу якого складають розрахункові моделі перенесення радіоактивної домішки в атмосфері та водному середовищі, а також математичні методи оцінки дозових навантажень на персонал і населення, забезпечує виконання прогностичних розрахунків радіоактивного забруднення навколишнього середовища (НС).

Розташування й кількість датчиків на території, що контролюється, мають першочергове значення у реалізації завдань АСКРО і обумовлюються демографічними, екологічними, економічними, фізико-технічними критеріями, які закладені в Стандарті.

Зазначимо, що вимоги Стандарту до формування мережі постів АСКРО на українських АЕС в повному обсязі не виконуються. Так, сформовані на АЕС за цим Стандартом мережі пунктів АСКРО «прозорі» для факела викиду радіонуклідів з АЕС. Наприклад, на Запорізькій і Рівненській АЕС факел викиду по багатьох напрямках за певних метеоумов може не перекрити жодного поста АСКРО (!) [6]. Це є наслідком того, що, формуючи мережу постів АСКРО, їх розташовують, як правило, поблизу або в межах населених пунктів, ігноруючи вимогу Стандарту про врахування екологічних особливостей середовища в районах розташування АЕС, зокрема ландшафту місцевості. Цей факт не дає змоги об'єктивно оцінювати реальний радіаційний стан НС за різних режимів роботи АЕС, об'єктивно визначати дози опромінення населення, достовірно прогнозувати формування можливих радіаційних ситуацій, бути превентивно готовими до прийняття оптимальних рішень у разі аварії.

Як показали розрахунки [7, 8], щоб зареєструвати факел викиду за будь-якого напрямку вітру і найгірших метеоумов, найменша кількість датчиків потужності дози γ -випромінювання, які рекомендується розмістити на ПМ і в СЗЗ атомної станції з одним енергоблоком, має дорівнювати 22–25. На станціях, які мають два і більше блоків, кількість датчиків буде ще більшою, а в зоні спостереження їх має налічуватися до 100 [9]. Жодна АЕС в Україні не задовольняє цим умовам — кількість датчиків там є набагато меншою, хоча результати робіт з обґрунтування розташування і кількості постів АСКРО для деяких українських АЕС [10–12] говорять про необхідність їх збільшення. Отже, питання побудови оптимальної мережі постів АСКРО на даний час є актуальним. Під оптимізацією мається на увазі визначення кількості постів контролю (в подальшому під ПК розумітимемо пост з датчиком вимірювання потужності дози γ -випромінювання, коротко — γ -датчиком), розташованих за правилом, згідно з яким факел радіоактивного викиду, що виникає внаслідок аварії на АЕС, обов'язково буде зареєстровано хоча б одним з них.

Є кілька методичних підходів до цього питання. Так, тема повноти та достатності радіаційного контролю досліджувалась у роботах [10, 11]. В них обґрунтовано фізичні принципи та методологія визначення чисельних критеріїв повноти і достатності контролю та наведено підхід до оптимізації розташування постів контролю з урахуванням характерних особливостей розподілу метеоданих, який дає змогу оцінити мінімальний обсяг контролю, необхідний для висновку про неперевищення чи перевищення контрольованого рівня для об'єкта. Але в цих роботах, крім метеопараметрів, не проаналізовано дію інших факторів (ландшафт, рельєф місцевості, щільність забруднення, чисельність населення та інші характеристики місцевості, джерела викиду, а також економічні та фізико-технічні чинники), які впливають на формування мережі постів контролю.

Деякі з методичних підходів, наприклад ті, які пропонувалися для АСКРО Запорізької та Рівненської АЕС, наведено в [12–14] і проаналізовано в [15]. Проте за допомогою запропонованих методик вирішувались, в основному, вузькі завдання: або оцінка та підтвердження ефективності вже наявної системи постів АСКРО (Рівненська АЕС), або визначення такого розташування постів, за якого в разі їх мінімальної чисельності забезпечуватиметься повнота контролю, яка задовольняє користувачів системи, а за параметр оптимізації взято ймовірність виявлення викиду постами, розміщеними в ЗС АЕС (Запорізька АЕС).

Визначаючи кількість та місця розташування ПК АСКРО Хмельницької АЕС виходили з того, що сформована мережа постів має гарантувати достовірну реєстрацію викиду, за якого за межами СЗЗ буде перевищена фонові потужність дози, характерна для даної місцевості.

Обґрунтування методики формування мережі ПК АСКРО на Южно-Українській АЕС знайти не вдалося. Мабуть, кількість і розташування пунктів АСКРО вибиралися тут емпірично за умови відповідності вимогам галузевого стандарту України щодо створення АСКРО.

Мета статті — запропонувати принципи формування мережі постів АСКРО і методику оптимізації кількості та місць розміщення постів з датчиками для вимірювання потужності дози γ -випромінювання з урахуванням різних факторів, які впливають на формування, поширення

і реєстрацію факела викиду на різних відстанях від АЕС. Практичне використання методики здійснено на прикладі Хмельницької АЕС.

На наш погляд, принципи формування мережі ПК АСКРО повинні бути різними для ПМ, СЗЗ і ЗС.

Основними завданнями АСКРО на промайданчику є виявлення викиду, який перевищує допустимий рівень, оцінка потужності викиду та визначення напрямку його поширення на підставі даних про напрям вітру і стан стійкості атмосфери. Для отримання такої інформації досить розташувати γ -датчики рівномірно за периметром ПМ на спорудах АЕС. Відстань між ними треба вибирати так, щоб будь-який викид, на будь-якій висоті та за будь-яких геометричних та лінійних розмірів був зареєстрований з максимальною ймовірністю. В цьому разі ні екологічні (крім метеорологічних), ні економічні, ні демографічні чинники ролі не грають. Точність вимірювання залежить тільки від фізико-технічних характеристик застосованих датчиків.

До розміщення датчиків у санітарно-захисній зоні (радіус — до 3000 м) потрібно висувати дещо інші вимоги. Вони полягають у необхідності реєстрації змін, що відбуваються з факелом викиду поза промайданчиком. Ці зміни обумовлюються станом приземного шару атмосфери, на який, в свою чергу, впливає ландшафт місцевості (екологічний фактор). Оскільки в СЗЗ заборонено постійне і тимчасове проживання людей і вводиться режим обмеження господарської діяльності, демографічний принцип розміщення ПК АСКРО на неї не поширюється. Таким чином, кількість і розташування датчиків АСКРО в СЗЗ визначатимуться метеоумовами, характеристиками підстильної поверхні та чутливістю датчиків (фізико-технічний фактор). Для цього датчики мають розміщуватися рівномірно за азимутом, але на різній відстані від джерела викиду.

Формуючи мережу пунктів АСКРО в зоні спостереження АЕС (3000–30 000 м) в основу необхідно покласти еколого-гігієнічний принцип, що враховує і санітарно-гігієнічний, і екологічний підходи до радіаційного захисту. Це означає, що для автоматизованого контролю радіаційної обстановки треба створити таку мережу ПК, яка враховувала би не лише найнесприятливіші метеоумови, а й типи ландшафтів (зокрема рельєф місцевості), щільність забруднення, чисельність населення та інші характеристики місцевості й джерела викиду, які піддаються кількісним оцінкам, а також економічні та фізико-технічні чинники. Мережа постів АСКРО в ЗС повинна бути сформована на основі моніторингу метеоданих, ландшафтно-геохімічного і демографічного районування досліджуваної території, яка контролюється [9].

Далі розглянемо методику визначення кількості ПК АСКРО та їх розміщення, яка може бути застосована тільки для СЗЗ АЕС. Методики для ПМ і ЗС не розглядаються з причин, про які було сказано.

В основу методики покладено нормативний документ [16], рекомендований для застосування на підприємствах ядерної галузі Росії. З його допомогою побудовані АСКРО на Нововоронезькій, Калінінській, Балаковській і Ростовській АЕС.

Розглянемо суть методики.

Необхідну і достатню кількість γ -датчиків, спроможних зареєструвати факел або хмару радіоактивних викидів, що поширюється від джерела за будь-якого напрямку вітру ($0 < \varphi < 2\pi$) і за будь-якого стану стійкості атмосфери,

визначають так. Приймають, що радіоактивна домішка розсіюється з висоти $h_{\text{еф}}$ за найгірших метеорологічних умов, які відповідно до класифікації моделі Пасквілла—Гіффорда [17] характеризуються категорією стійкості атмосфери типу F і швидкістю вітру 1 м/с. За цих умов відбуваються повздовжнє вітрове перенесення і слабка поперечна дифузія факела викиду. На підстильній поверхні на відстані $R \approx 3$ км від джерела (межа СЗЗ) на проекції осі викиду задають потужність дози зовнішнього опромінення, що дорівнює гранично допустимій річній дозі для категорії «В» (населення), вважаючи, що таку потужність дози створює у вибраній точці факел, який поширюється в заданому напрямку.

У розподілі потужності дози в напрямку, перпендикулярному до осі факела викиду, знаходять відстань δ , на якій вона дорівнюватиме порозу чутливості датчика. Тоді необхідна кількість датчиків визначається цілою частиною рівності

$$N_{\text{н}} = [2\pi R / 2\delta] = [\pi R / \delta],$$

а достатня кількість датчиків системи АСКРО, розташованих навколо одного енергоблока АЕС, буде на одиницю більша:

$$N_{\text{д}} = N_{\text{н}} + 1.$$

Підхід до розміщення постів, запропонований у [16], полягає у використанні в системі контролю необхідної й достатньої кількості датчиків $N_{\text{д}}$, розміщених на місцевості рівномірно за азимутом певним чином. Кожен з датчиків N_i , де $i = 1, 2, \dots, N_{\text{д}}$, встановлюється на відстані R_i від верхньої точки джерела радіоактивних викидів (на відстані r_i від нижньої точки джерела), відмінній від відповідних відстаней усіх інших датчиків, наприклад як у спіралі Архімеда, яка являє собою гладку криву (рис. 1), R_i є функцією кута: $R_i = R_0 \varphi_i$, $\varphi_i = i \Delta \varphi$, $i = 1, 2, 3, \dots, N_{\text{д}}$, $\Delta \varphi = 2\pi / N_{\text{д}}$, або багатопроменеву зірку.

Отже, викладена методика визначення необхідної й достатньої кількості та азимутального розподілу γ -датчиків АСКРО навколо АЕС враховує метеорологічні, економічні та фізичні принципи; це дає підстави говорити, що вона повною мірою задовольняє критеріям, визначеним у Стандарті до формування мережі постів контролю. Але ця методика розглядає одиночне джерело викиду, тобто коли АЕС має один енергоблок, і не дає відповіді, як діяти у разі, якщо АЕС має два або більше блоків.

Кількість γ -датчиків, розташованих між двома блоками АЕС, визначають у такий спосіб. Датчики розставляють по спіралі Архімеда для кожного енергоблока окремо і знаходять точки перетину двох сімейств прямих, що проходять через джерела викидів і датчики, розташовані на кривих. Точки на перетині прямих і визначають необхідну кількість датчиків, які потрібно встановити між блоками АЕС. Для оптимізації кількості датчиків знаходять дублюючі точки у виділених напрямках. Датчики, які розташовані на кривих і дублюють один одного, з метою економії витрат на формування мережі пунктів АСКРО відкидають.

Щодо більшої кількості енергоблоків, розташованих на одній прямій або симетрично, для створення оптимальної мережі постів радіаційного контролю пропонується застосувати метод трансляції (переміщення) [18].

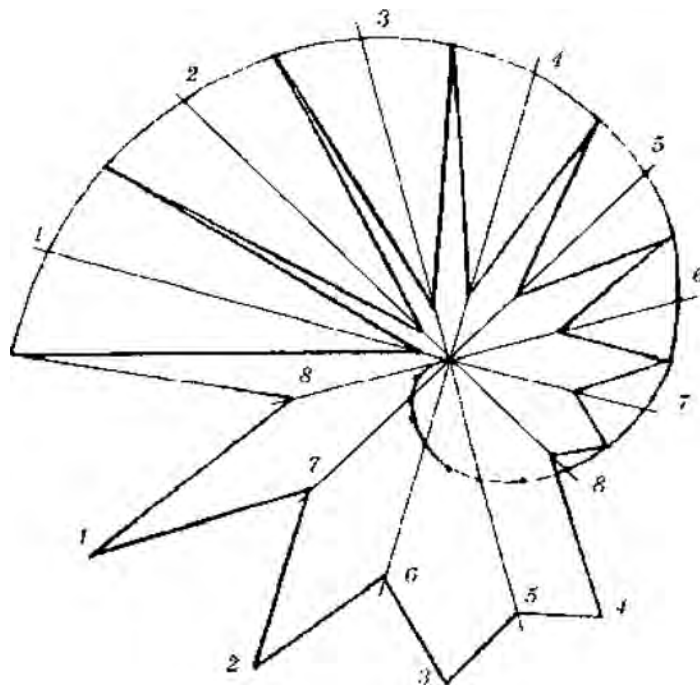


Рис. 1. Розміщення пунктів контролю АСКРО в СЗЗ за допомогою спіралі Архімеда (на перетині кривої з променями) і багатопроменевою зіркою (у вершинах і основах променів)

Покажемо, як розглянутий методичний підхід можна застосувати на практиці до реальної АЕС. Для цього побудуємо принципову схему розміщення γ -датчиків АСКРО у СЗЗ для двох блоків Хмельницької АЕС (ХАЕС).

Спочатку знайдемо кількість γ -датчиків, спроможних зареєструвати факел викиду. Для цього, як було вже сказано, треба знати поріг їх чутливості і радіус СЗЗ. Радіус СЗЗ ХАЕС приймемо рівним 3000 м (зараз встановлено радіус СЗЗ, рівний 2700 м), а відстань між блоками — 500 м.

Мінімальна потужність дози γ -випромінювання, яка може бути зареєстрована датчиками типу БДМГ, що зазвичай застосовуються в АСКРО, — 0,1 мкЗв/год. Це приблизно дорівнює потужності дози природного радіаційного фону.

Щоб отримати розподіл дози в напрямку, перпендикулярному до радіуса СЗЗ, розглянемо максимальну проектну аварію (МПА), яка характеризується двостороннім розривом головного циркуляційного трубопроводу, а джерелом радіоактивних викидів у НС є витік через захисну оболонку. Ефективну висоту викиду приймемо рівною нулю.

Для моделювання викиду і розрахунку розподілу потужності еквівалентної дози нами був застосований код RODOS, який використовується у проведенні прогностичної оцінки радіаційної обстановки [19, 20]. За допомогою цього коду побудовано розподіл потужності дози в напрямку, перпендикулярному осі поширення факела викиду при МПА на ХАЕС (рис. 2). Використовуючи дані рис. 2 і формулу лінійної інтерполяції знайдемо, що δ (0,1 мкЗв/год) = 1082 м. Тоді необхідна кількість датчиків, розташованих у СЗЗ навколо одного енергоблока ХАЕС, $N_{\text{н}} = [\pi R / \delta] = [\pi \cdot 3000 / 1082] = 8,7 \approx 9$, а достатня — на одиницю більша, тобто $N_{\text{д}} = 10$.

Для визначення місць розташування датчиків між двома енергоблоками АЕС і оптимізації їх кількості будуємо спіралі

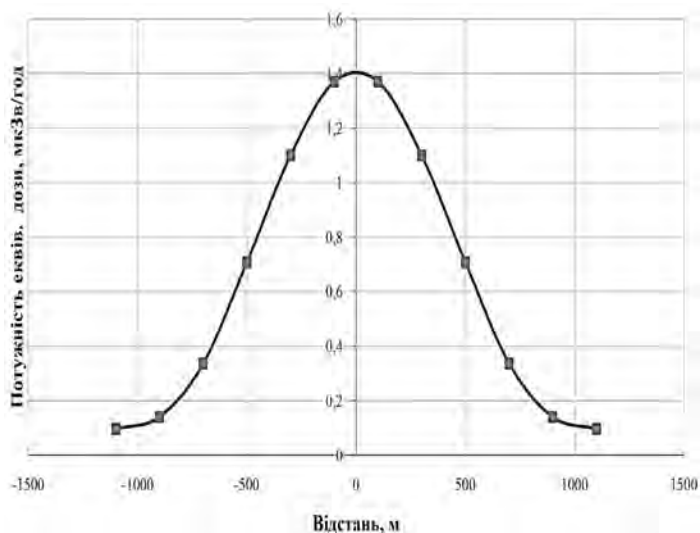


Рис. 2. Розподіл потужності дози в напрямку, перпендикулярному осі факела викиду, при МПА на ХАЕС

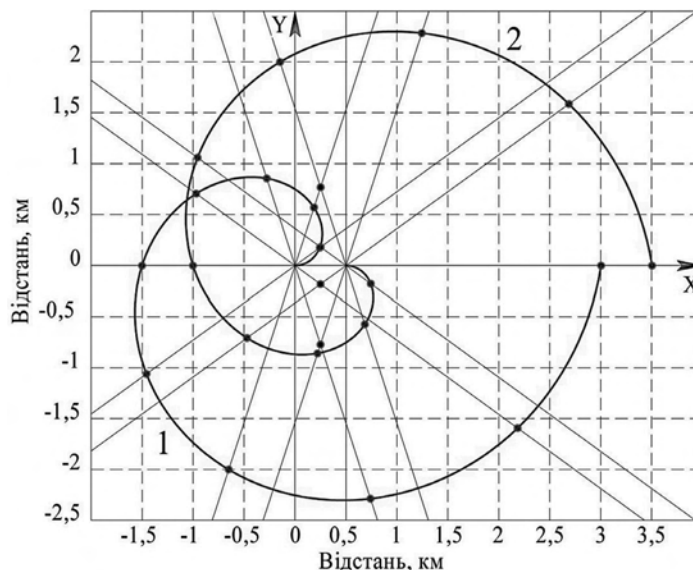


Рис. 3. Розміщення γ -датчиків АСКРО для двох енергоблоків ХАЕС

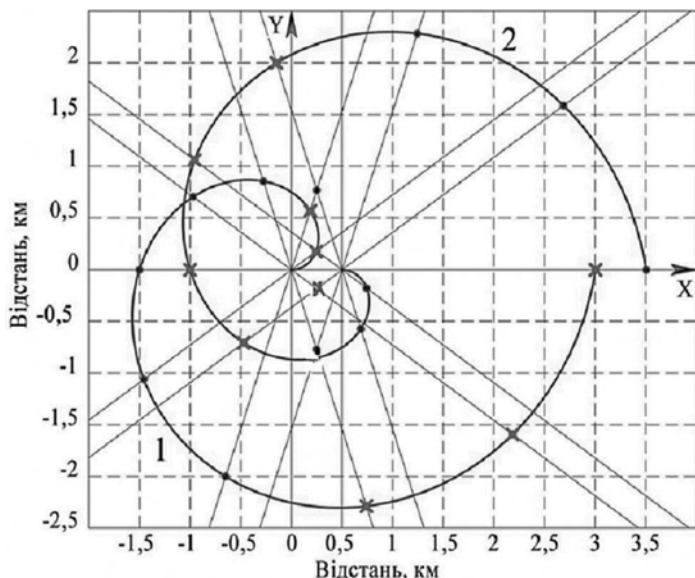


Рис. 4. Виділення датчиків, що дублюються у виділених напрямках для двох енергоблоків ХАЕС

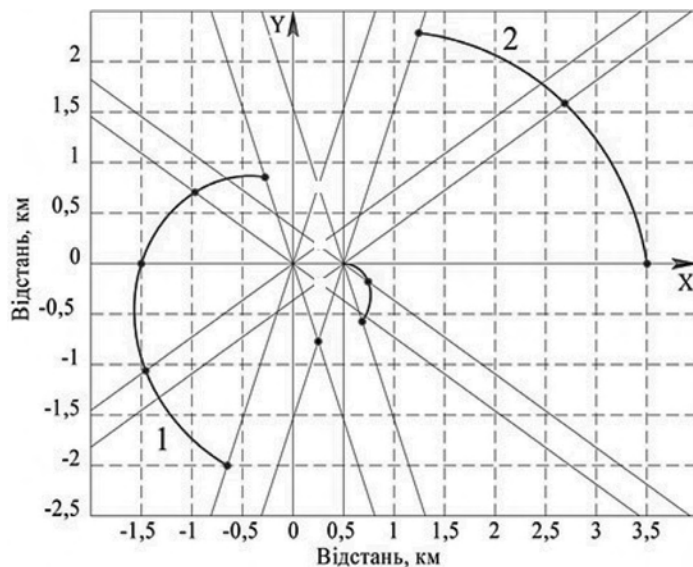


Рис. 5. Схема розміщення γ -датчиків АСКРО у С33 для двох енергоблоків ХАЕС

Архімеда для кожного блока окремо (рис. 3). Знаходимо точки перетину двох сімейств прямих, що проходять через джерела викидів і датчики, розташовані на кривих, а також дублюючі точки у виділених напрямках (рис. 4). Датчики в точках, які дублюються в однаковому напрямку потенційного розповсюдження викиду, з метою оптимізації фінансових і матеріальних коштів відкидаємо (див. перекреслені точки на рис. 4). Точки, що залишилися, й визначають необхідну кількість датчиків між блоками АЕС. Остаточну схему розміщення γ -датчиків АСКРО у С33 для двох енергоблоків АЕС наведено на рис. 5.

Таким чином, виконані за методикою [16] розрахунки показали: щоб у повному обсязі виконати умови Стандарту для отримання достовірної інформації про радіаційну обстановку в зоні контролю при штатній роботі АЕС і при аварії, в санітарно-захисній зоні ХАЕС, де зараз працюють два енергоблоки, треба розмістити 11 γ -датчиків. На даний

момент у С33 ХАЕС є три γ -датчики АСКРО [21]. Якщо взяти до уваги, що на проммайданчику АЕС встановлено ще 14 датчиків потужності дози γ -випромінювання, то для виявлення з високою ймовірністю викиду в будь-якому напрямку за різних категорій стійкості атмосфери та для оцінки викинутої активності цього достатньо. Але трьох датчиків у С33 ХАЕС недостатньо для одержання необхідної інформації про подальше (поза ПМ) розповсюдження факела викиду і особливості формування поля радіоактивного забруднення навколо станції, що потрібно для прогнозування змін радіаційної обстановки в зоні контролю у разі виникнення радіаційної аварії та прийняття рішень щодо впливу АЕС на НС і населення.

Для усунення недоліків наявної в С33 ХАЕС мережі постів АСКРО пропонуємо її модернізувати згідно із запропонованою методикою, розмістивши ПК з γ -датчиками так, як показано на ситуаційному плані С33 станції (рис. 6).

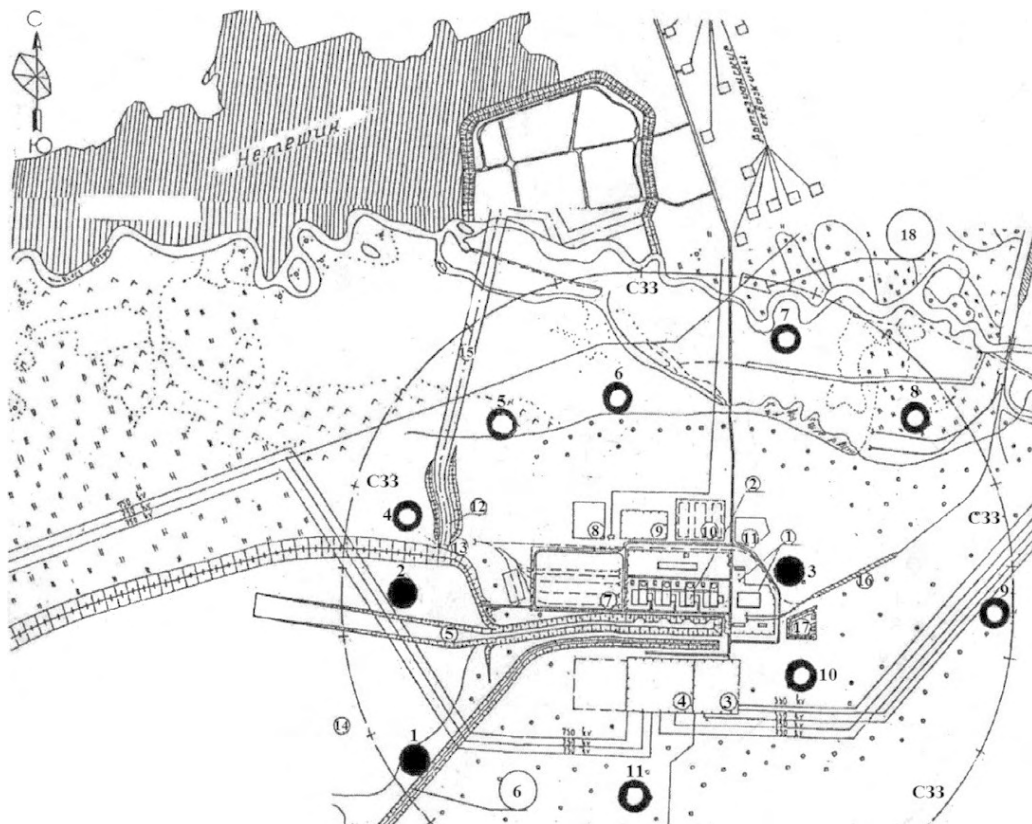


Рис. 6. Схема розміщення постів АСКРО з γ -датчиками (позначені кружками) на ситуаційному плані СЗЗ ХАЕС (три наявні пости і вісім постів, які пропонується встановити додатково):

1 – проммайданчик; 2 – енергоблоки; 3 – відкритий розподільний пристрій 330 кВ; 4 – відкритий розподільний пристрій 750 кВ; 5 – підвідний канал; 6 – відвідний канал; 7 – будівельний двір; 8 – біологічні ставки; 9 – очисні споруди; 10 – бризкові басейни; 11 – пожежне депо; 12 – водозабірні споруди; 13 – насосна станція; 14 – наливне водосховище; 15 – підвідний канал до водозабірної споруди; 16 – залізнична станція АЕС; 17 – шламонагромаджувач; 18 – насосна станція

Висновки

В основу методичного підходу до оптимізації кількості та місць розміщення постів АСКРО з датчиками для вимірювання потужності дози γ -випромінювання в санітарно-захисній зоні АЕС покладено нормативний документ, рекомендований до застосування на підприємствах ядерної галузі Росії. Методика враховує екологічні, економічні, фізико-технічні фактори та особливості формування й поширення факела викиду від АЕС. Для урахування всіх цих факторів і особливостей датчики розміщуються рівномірно по азимуту, але на різній відстані від джерела викиду.

Практичне використання методики розглянуто на прикладі Хмельницької АЕС. Побудовано принципову схему розміщення γ -датчиків АСКРО у СЗЗ для двох блоків станції.

Показано, що для виконання в повному обсязі умов Стандарту стосовно отримання достовірної інформації про радіаційну обстановку в зоні контролю при штатній роботі АЕС і при аварії, в СЗЗ Хмельницької АЕС, де зараз працює два енергоблоки, треба розмістити 11 γ -датчиків. На даний момент у СЗЗ станції розташовано три γ -датчики АСКРО, що недостатньо для одержання необхідної інформації про подальше розповсюдження факела викиду, особливої формування поля радіоактивного забруднення навколо станції та прогнозування змін радіаційної обстановки в зоні контролю в разі виникнення радіаційної аварії й прийняття рішень щодо впливу АЕС на навколишнє середовище і населення.

Для усунення недоліків існуючої зараз у СЗЗ Хмельницької АЕС мережі постів АСКРО пропонується її модернізувати і розмістити пости контролю з γ -датчиками згідно з наведеними у статті розрахунками.

Взявши за основу запропонований у статті підхід, пропонується розробити аналогічний український нормативний документ.

Список використаної літератури

1. СП АС-88. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций. М. : МОЗ СРСР, 1988.
2. ДСП 6.177-2005-09-02. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. К., 2005. 74 с.
3. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій. Офіційний вісник України. 2008. № 95.
4. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). К., 1997. 121 с.
5. ДСТУ 95.1.01.03.024-97. Автоматизовані системи контролю радіаційної обстановки для атомних станцій. Основні положення. К., 1997. 21 с.
6. Барбашев С. В., Пристер Б. С. Пути и способы усовершенствования системы радиационного контроля АЭС. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. К., 2010. Вип. 14. С. 17–23.
7. Елохин А. П. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки окружающей среды : Уч. пособие. М. : НИЯУ «МИФИ», 2010. 254 с.
8. Елохин А. П. Оптимизация методов и средств автоматизированных систем контроля радиационной обстановки окружающей среды : дис. ... доктора техн. наук: 05.13.06, 05.13.05. М., 2001. 325 с.
9. Барбашев С. В. Система комплексного радиоэкологического мониторинга районов расположения АЭС Украины: дис. ... доктора техн. наук: 05.14.14. Одесса, 2009. 394 с.
10. Bogorad V. I., Nikonov D. A. Optimization of radiation monitoring in the surveillance zone of a nuclear power plant. *International Symposium on Environmental Impact of Radioactive Releases, IAEA-SM-339, Vienna, 1995*.
11. Богорад В. І. Імовірно-стохастичний метод оптимізації радіаційного контролю навколишнього середовища АЕС : дис. кандидата фізико-математичних наук: 01.04.01. Одеса, 2000. 118 с.

12. Ривненская АЭС : Обоснование расположения постов контроля АСКРО РАЭС. 11/09 – 12.100.ОД.1 / ГП НАЭК «Энергоатом». К., 2012. 117 с.

13. Техническое задание : Автоматизированная система контроля радиационной обстановки Запорожской АЭС. ТЗ-ВН.702.410.34 / Вестрон. Харьков, 2010. 125с.

14. Концептуальное решение : О модификации автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) ОП ЗАЭС. ОО.РБ.XS.РШ / ГП НАЭК «Энергоатом», ОП «Запорожская АЭС». К., 2012. 8 с.

15. Барбашев С. В., Витько В. И., Коваленко Г. Д. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки в окружающей природной среде : Монография. Одесса : Астропринт, 2015. 132 с.

16. Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население: утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 465 от 08.06.2010. 111 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/532067/1>

17. Учет дисперсионных параметров атмосферы при выборе площадок для атомных электростанций : Руководство по безопасности. (Серия изданий по безопасности № 50-SG-S3). Вена : МАГАТЭ, 1982. 105 с.

18. Елохин А. П., Жилина М. В., Рау Д. Ф. Метод расстановки постов АСКРО для двух и более энергоблоков АЭС. *Глобальная ядерная безопасность*. 2012. № 1(2). С. 54–63.

19. Ehrhardt J., Weis A. (Eds.). EUR 19144 — RODOS: Decision support system for off-site nuclear emergency management in Europe (Nuclear science and technology series). Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2000. VII, 259 pp.

20. Raskob W. European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies (EURANOS). *Kerntechnik*. 2007. Vol. 72. № 4. P. 172–175.

21. Хмельницкая АЭС : Технико-экономическое обоснование энергоблоков № 3, 4. 43-812.203.004.ОЭ.13.16 / ГП НАЭК «Энергоатом». К., 2011. Т. 13, ч. 16. 164 с.

References

1. *SP AS-88*. Health and Safety Rules of NPP Design and Operation [SP AS-88. Sanitarnyye pravila proektirovaniia i ekspluatatsii atomnykh stantsii], Moscow, USSR MHP, 1988. (Rus)

2. *DSP 6.177-2005-09-02*. Basic Health and Safety Rules of Radiation Safety in Ukraine, Approved by Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 54 dated 02 February 2005 [DSP 6.177-2005-09-02. Osnovni sanitarni pravyla zabezpechennia radiatsiinoi bezpeky Ukrainy, zatverdzeni nakazom MOZ Ukrainy No. 54 vid 02.02.2005], (Ukr)

3. *NP 306.2.141-2008*. General Safety Provisions for NPP: Approved by Order SNRCU No. 162 dated 19 November 2007 [NP 306.2.141-2008. Zahalni polozhennia bezpeky atomnykh stantsii, zatverdzeni nakazom Derzhatomrehuliuivannia Ukrainy No. 162 vid 19.11.2007], Official Bulletin of Ukraine, 2008, No. 39. (Ukr)

4. *DGN 6.6.1.-6.5.001-98*. Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97), Approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of Ukraine No. 62 dated 01 December 1997 [Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97), zatverdzeni postanovoiu Holovnoho derzhavnogo sanitarnoho likaria Ukrainy No. 62 vid 01.12.1997], Kyiv, 1997, 121 p. (Ukr)

5. *DSTU 95.1.01.03.024-97*. Automated Radiation Monitoring Systems for Nuclear Power Plants. Main Provisions, Approved by Order of the State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine No. 319 dated 22 September 97 [Avtomatyzovani systemy kontroliu radiatsiinoi obstanovky dlia atomnykh stantsii. Osnovni polozhennia: zatverdzeni nakazom Derzhatomrehuliuivannia Ukrainy No. 319 vid 22.09.97], Kyiv, 1997, 21 p. (Ukr)

6. *Barbashev, S. V., Prister, B. S.* (2010), “Ways and Means of Improving NPP Radiation Monitoring System” [Puti i sposoby usovershenstvovaniia systemy radiatsionnogo kontroliu AES], Safety Problems of Nuclear Power Plants and Chornobyl, No. 14, pp. 17–23. (Rus)

7. *Yelokhin, A. P.* (2010), “Automated Environmental Radiation Monitoring Systems” [Avtomatyzirovannyye systemy kontroliu radiatsiinoi obstanovki okruzhaiushchei sredy], National Research Nuclear University, Moscow Engineering Physics Institute, Moscow, 254 p. (Rus)

8. *Yelokhin, A. P.* (2001), “Optimization of Methods and Means for Environmental Radiation Control by Computer-Aided Systems” [Optimizatsiia metodov i sredstv avtomatizirovannykh sistem kontroliu radiatsiinoi obstanovki okruzhaiushchei sredy: dis. ... doktora tekhn. nauk], Moscow, 325 p. (Rus)

9. *Barbashev, S. V.* (2009), “Complex Radioecological Monitoring System for Areas of Ukrainian NPPs” [Sistema kompleksnogo radioekologicheskogo monitoringa raionov rasplozheniia AES Ukrainy: dis. ... doktora tekhn. nauk], Odessa, 394 p. (Rus)

10. *Bogorad, V. I., Nikonov, D. A.* (1995), “Optimization of Radiation Monitoring in the Surveillance Zone of a Nuclear Power Plant”, International Symposium on Environmental Impact of Radioactive Releases, IAEA-SM-339, Vienna.

11. *Bogorad, V. I.* (2000), “Probabilistic and Stochastic Method to Optimize NPP Environment Radiation Monitoring [Imovirnisnostokhastychnyi metod optymizatsii radiatsiinoho kontroliu navkolyshniho seredovyscha AES: dis. ... kadydata fizyko-matematychnykh nauk], Odessa, 118 p. (Ukr)

12. Rivne NPP. Justification of ARMS Location at Rivne NPP [Obosnovaniie rasplozheniia postov kontroliu ASKRO RAES], Kyiv, 2012, 117 p. (Rus)

13. Terms of Reference. Automated Radiation Monitoring System for Zaprizhzhya NPP. [Tekhnicheskoe zadaniie. Avtomatizirovannaia sistema kontroliu radiatsiinoi obstanovki Zaporozhskoi AES. TZ-VN.702.410.34], Kharkiv, 2010, 125 p. (Rus)

14. Conceptual Decision. About Modification of the Automated Radiation Monitoring System (ARMS) at Zaporizhzhya NPP [Konseptualnoie resheniie. O modifikatsii avtomatizirovannoi systemy kontroliu radiatsiinoi obstanovki Zaporozhskoi AES], Kyiv, 2012, 8 p. (Rus)

15. *Barbashev, S. V., Vitko, V. I., Kovalenko, G. D.* (2015), Automated Radiation Monitoring System of the Environment: Monograph [Avtomatyzirovannyye systemy kontroliu radiatsiinoi obstanovki v okruzhaiushchei prirodnoi srede], Astroprint, Odessa, 132 p. (Rus)

16. Provision on Improving Accuracy of Predictive Evaluation of Radiation Contamination of the Environment and the Radiation Exposure for Personnel and Population, Approved by Order of Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision No. 465 dated 08 June 2010 [Polozheniie o povyshenii tochnosti prognosticheskikh otsenok radiatsionnykh kharakteristik zagriazneniia okruzhaiushchei sredy i dozovykh nagruzok na personal i naseleniie: utverzhdeno prikazom Federalnoi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru No. 465 ot 08.06.2010], Moscow, 111 p. (Rus)

17. Consideration of Dispersion Parameters of the Atmosphere in Siting of Nuclear Power Plants. Safety Guide [Uchiot dispersionnykh parametrov atmosfery pri vybere ploshchadok dlia atomnykh elektrostantsii. Rukovodstvo po bezopasnosti], IAEA Safety Standards Series, No. 50-SG-S3, Vienna, 1982, 105 p. (Rus)

18. *Yelokhin, A. P., Raou, D. F., Zhilina, M. V.* (2012), “Method of Arranging Automated Radiation Monitoring System Posts for Two and More NPP Power Units [Metod rasstanovki postov ASKRO dlia dvukh i bolee energoblokov AES], Global Nuclear Safety, No. 1(2), pp. 54–63. (Rus)

19. *Ehrhardt, J., Weis, A.* (Eds.) (2000), “RODOS: Decision Support System for Off-Site Nuclear Emergency Management in Europe”, Nuclear Science and Technology Series, Luxembourg, No. VII, 259 p.

20. *Raskob, W.* (2007), “European Approach to Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies (EURANOS)”, *Kerntechnik*, Vol. 72, No. 4, pp. 172–175.

21. Khmelnytsky NPP. Feasibility Studies of Units No.3 and 4 [Khmelnitskaia AES. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovaniie energoblokov No. 3, 4], Kyiv, 2011, Vol. 13, Part 16, 117 p. (Rus)

Отримано 03.02.2017.