

РАДІОАКТИВНІ АЕРОЗОЛІ ТА ГАЗИ (Частина 2)*

Левченко О. Г., д.т.н., проф., зав. каф. ОПЩБ КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. Виконано аналіз впливу газоподібних радіоактивних викидів атомних електричних станцій на навколишнє середовище. Показано як атомні електричні станції забруднюють довкілля та негативно впливають на біосферу і людину. Наведена загальна характеристика та класифікація звичайних і радіоактивних аерозолів.

Ключові слова: газоподібні радіоактивні викиди, аеродисперсні системи, аерозолі, класифікація, властивості.

Abstract. The analysis of the impact of gaseous radioactive emissions of nuclear power plant on the environment is performed. It is shown how nuclear power plants pollute the environment and negatively affect the biosphere and man. The general characteristics and classification of conventional and radioactive aerosols are given.

Keywords: gaseous radioactive emissions, aerodisperse systems, aerosols, classification, properties.

Аерозолі, як і радіоактивні аерозолі, у залежності від природи їх походження можна поділити на природні і штучні [1].

Природні аерозолі – дисперсні системи, які виникають у природних умовах без участі людини. Природні радіоактивні аерозолі – аерозолі природних радіонуклідів (урану, торію, калію, заліза та ін.). Значна кількість природних радіоактивних аерозолів може утворюватися в гірничодобувній промисловості при видобутку руди в уранових рудниках і гірських виробках, на збагачувальних заводах. При переробці руд з метою отримання з них радіоактивних концентратів, на заводах з виробництва урану, торію, на радіохімічних розділових заводах, де виробляється збагачення природного урану ураном-235, на заводах з виготовлення тепловиділяючих елементів.

Штучні аерозолі – дисперсні системи, що утворюються в результаті діяльності людини. Промислові гази і повітря, що містять тверді і рідкі частинки, відносяться до аерозолів штучного походження. У цих системах дисперсним середовищем є газ або суміш газів, а дисперсною фазою – зважені частинки, що знаходяться в різних агрегатних станах і нерідко мають складний хімічний склад. Штучні радіоактивні аерозолі – аерозолі, які містять радіонукліди штучного походження (наприклад, аерозолі стронцію, цезію, йоду). У повітрі виробничих приміщень, у навколишньому повітрі частіше зустрічаються дисперсні фази, що являють собою суміш природних і штучних аерозолів з переважанням тих чи інших.

Радіоактивні гази зазвичай також присутні в цьому повітрі і вони, більш того, при своєму розпаді перетворюються в тверді частинки, які шляхом осідання на активних частинках або злипання з ними утворюють аерозолі [1, 2].

З розвитком атомної енергетики і в міру розширення використання

радіоактивних речовин в народному господарстві прогресивно збільшується частка штучних аерозолів. Штучні аерозолі і гази утворюються при роботі, атомних станцій, дослідницьких реакторів, при ядерних вибухах, на заводах з регенерації відпрацьованих тепловиділяючих елементів, на підприємствах, у лабораторіях, що виготовляють і використовують штучні радіоактивні нукліди, при опроміненні мішеней на прискорювачах заряджених частинок.

Природні і штучні радіоактивні аерозолі можуть потрапити в навколишнє середовище і в разі великих концентрацій зробити шкідливий біологічний вплив на людей і навколишнє середовище.

Важливо знати, що забруднення повітряного середовища радіоактивними аерозолями та газами неминуче призводить до забруднення об'єктів, що знаходяться в цій зоні, і, навпаки, при радіоактивному забрудненні останніх забруднюється і повітряне середовище. Ці фактори забруднень нерозривно взаємопов'язані між собою.

У результаті сильної залежності властивостей аерозолів від розмірів частинок дисперсної фази виникає необхідність у кількісній оцінці цієї характеристики. Кількісні характеристики аеродисперсних систем включають поняття концентрації. Під цим терміном розуміють кількість речовини, диспергованої в повітряному або в газовому середовищі. При цьому міра кількості може бути різною.

Так, під концентрацією можна розуміти число частинок в одиниці об'єму аерозолу. Це так звана рахункова концентрація. Від лічильної концентрації аерозолу в значній мірі залежить його стабільність. Це пов'язано з тим, що при дуже великих рахункових концентраціях на частку кожної частинки доводиться дуже незначний обсяг і відбуваються часті зіткнення частинок, що призводять до їх з'єднання. Таким чином, при високих концентраціях частинок в аерозолі відбувається укрупнення їх середнього розміру і зменшення лічильної концентрації. Цей процес називається коагуляцією. При великій масовій концентрації аерозолу збільшення розміру частинок у результаті коагуляції призводить до прискореної седиментації частинок і тим самим до зменшення не тільки лічильної, але і масової концентрації. Масовою концентрацією аерозолів називають відношення маси дисперсної фази в даному обсязі до цього обсягу. Крім того, для радіоактивних аерозолів вживають поняття об'ємної активності радіоактивного аерозолу. Під цим терміном розуміють відношення активності радіонукліда в радіоактивному аерозолі, що знаходиться в даному обсязі, до цього обсягу [1-3].

За об'ємною активністю газоподібні радіоактивні відходи (ГРО) поділяються на три категорії:

- **низькоактивні** – менш $3,7 \text{ Бк/м}^3$ ($1 \cdot 10^{-10} \text{ Кі/м}^3$);
- **середньоактивні** – від $3,7 \text{ Бк/м}^3$ ($1 \cdot 10^{-10} \text{ Кі/м}^3$) до $3,7 \cdot 10^4 \text{ Бк/м}^3$ ($1 \cdot 10^{-6} \text{ Кі/м}^3$);
- **високоактивні** – понад $3,7 \cdot 10^4 \text{ Бк/м}^3$ ($1 \cdot 10^{-6} \text{ Кі/м}^3$).

Найбільш значну роль у формуванні радіаційної обстановки в районі розміщення АЕС відіграють інертні радіоактивні гази (ІРГ) та ізомери йоду. В

цілому до складу газоподібних радіонуклідів осколкового походження входять: 18 ізотопів криптону, 15 ізотопів ксенону і 20 ізотопів йоду. Щодо радіаційної небезпеки для населення найбільше значення мають радіонукліди криптону, ксенону та йоду. Крім цих нуклідів досить значну роль відіграють аерозольні викиди ізотопів стронцію – ^{89}Sr , ^{90}Sr і цезію – ^{134}Cs , ^{137}Cs , які є продуктами розпаду газоподібних нуклідів [3].

Механізм надходження летючих радіоактивних речовин в навколишнє середовище з технологічного циклу АЕС з реакторами ВВЕР і РБМК має низку відмінностей. Основним шляхом надходження газо-аерозольних викидів у навколишнє середовище від реакторів ВВЕР є дегазація і випаровування води теплоносія першого контуру. Вода насичується радіоактивними речовинами в результаті активації (^3H , ^{14}C , ^{41}Ar) і безпосереднього її контакту з негерметичними оболонками ТВЕЛів (ізотопи I, C, Kr, Xe, Sr, Ce, Ru). Безпосереднім джерелом надходження в атмосферне повітря легких радіоактивних речовин (особливо ^3H) від реактора ВВЕР є вентиляційна система герметичних приміщень першого контуру і самого реактора.

Нуклідний склад газоподібних викидів АЕС з РБМК переважно визначається газами, що надходять з ежекторів турбіни, – це радіонукліди продуктів поділу (радіонукліди криптону і ксенону). Крім цього до складу газоподібного викиду входить газ активаційного походження – Ar, що утворюється в газовому контурі і циркуляційних трубопроводах та баках контуру охолодження СУЗ. Активність і нуклідний склад криптону і ксенону залежить, взагалі кажучи, від радіаційного стану активної зони реактора, тобто від кількості ТВЕЛів із дефектними оболонками, які перебувають в активній зоні реактора, і розміру дефектів, а активність ^{41}Ar – від потужності реактора.

При тривалій потужній роботі реактора радіаційний стан його активної зони стабілізується і при реалізації оптимального управління радіаційним станом підтримується практично на одному рівні. Це означає, що нуклідний склад газоподібних продуктів поділу також стабілізується і мало змінюється в умовах нормальної експлуатації реактора [3-5].

Радіонукліди йоду присутні у викиді в трьох фізико-хімічних формах: в **аерозольній**, тобто це радіонукліди, сорбовані на аерозольних частинках; в **газоподібному**, де основну масу становить молекулярний йод (I_2); у вигляді **органічної сполуки** – йодистого метилу (CH_3I), що має високу проникаючу здатність через фільтри і важко сорбується [5].

Йод, як продукт поділу, утворюється в атомарному вигляді, але в теплоносії КМПЦ вже присутній в усіх формах. У викиді нормально функціонуючих АЕС співвідношення між формами йоду наступні [3, 4]:

- аерозольна – 1...2%; - молекулярна – 40...50%; - органічна – 50...60%.

Ізотопний склад йоду ^{131}I і ^{133}I наведено в таблиці, причому частка їх у викиді приблизно однакова.

Таблиця 1.

Нуклідний склад йодних викидів Чорнобильської АЕС

Точка контролю	^{131}I , %	^{133}I , %
ВТ-1	48	52
ВТ-2	58	42

Для прикладу в таблиці 1 наведено усереднений склад викидів йоду першої і другої черг Чорнобильської АЕС у період її роботи. Ізотопний склад аерозолів довгоживучих нуклідів (ДЖН) у викиді, в загальному, представлений 20...25-ти радіонуклідами. Серед них можна виділити 7...10 нуклідів, що мають підвищену в порівнянні з іншими об'ємну активність, внесок цих нуклідів у сумарну потужність викидів наведено в таблиці 2 [3, 4].

Таблиця 2.

Внесок основних нуклідів у сумарну потужність викидів

Радіонуклід	Внесок, %
^{131}I	10...30
^{51}Cr	35...55
^{58}Co	1,3...2,3
^{60}Co	2,5...4,5
^{54}Mn	1,5...2,5
^{59}Fe	0,8...1,6
^{134}Cs	3...5
^{137}Cs	5...7

В аерозольній формі на АЕС присутні також радіонукліди продуктів корозії ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{56}Mn , ^{50}Cr і продукти ділення, головним чином ^{137}Cs , ^{89}Sr , ^{90}Sr , а також радіоактивні продукти активації, переважно ^{134}Cs . Активність радіонуклідів у аерозольній формі та ізотопів йоду в аерозольній, молекулярній формах та в інших хімічних формах, що надходять на викид, може бути досить великою [2-6].

Крім розглянутих вище радіонуклідів у викидах АЕС присутні також ізотопи тритію – надважкого водню ^3H і вуглецю ^{14}C . У питаннях забезпечення радіаційної безпеки АЕС тритій посідає особливе місце. Існує тритій у вигляді тритієвої води (НТО, T_2O), газу та у складі практично будь-яких органічних та неорганічних сполук із заміщеним воднем, у складі сполук, що утворюють біологічні тканини [2].

Тритій, що міститься в повітряних викидах та водяних скиданнях АЕС, входить до складу пари води і практично безперешкодно проходить системи очищення. Радіобіологічна роль тритію визначається його хімічними властивостями, які повністю відповідають звичайному водню, внаслідок чого тритій може входити до складу будь-яких органічних та неорганічних сполук.

Особливе місце тритію обумовлено його великим періодом напіврозпаду і поведінкою в природі, що не відрізняється від поведінки водню, внаслідок цього він є глобальним забруднювачем природних комплексів Землі. Оскільки період напіврозпаду тритію досить великий ($T_{1/2} = 12,26$ року), він міг би становити серйозну радіаційну небезпеку якби не був дуже м'яким бета-випромінювачем (середня енергія бета-випромінювання тритію становить 5,8 кэВ).

Розрізняють тритій природного та штучного походження. Природний тритій утворюється у верхніх шарах атмосфери при взаємодії космічного випромінювання з ^{14}N та ^{16}O . Природний тритій міститься в атмосфері в кількості 1 атом Т (^3H) на 10^{14} атомів водню, а у воді – 1 атом Т (^3H) на 10^{18} атомів водню, що відповідає питомій активності $3,2 \cdot 10^{-12}$ Кі/л. Загальний запас природного тритію на земній кулі 20-80 МКі (8-25) $\cdot 10^{17}$ Бк [2-5].

Аналіз опрацьованих літературних даних свідчить про те, що робота атомних електричних станцій і процеси підготовки для них палива (виготовленню тепловиділяючих елементів) можуть супроводжуватись викидами в атмосферу небезпечних радіоактивних аерозолів та газів, які негативно впливають на біосферу і людину. Тому всі роботи і технологічні процеси, пов'язані з атомною енергетикою, потребують застосування спеціальних високоефективних методів та засобів очищення повітря від цих викидів.

Література

1. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 352 с.
2. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / Ключников А.А., Пазухин Э.М., Шигера Ю.М., Шигера В.Ю. – К.: Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2005. – 487 с.
3. Огородников Б.И., Пазухин Э.М., Ключников А.А. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг. – Чернобыль, 2008. – 456 с.
4. Аэрозоли объекта «Укрытие» (обзор). Часть 2.2. Концентрации радиоактивных аэрозолей на промплощадке объекта «Укрытие». – Чернобыль, 2004. – 44 с. – (Препр. / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины; 04-1).
5. Огородников Б.И. Дисперсность радиоактивных аэрозолей на рабочих местах // Атомная энергетика за рубежом. – 2000, № 11. – С. 12-20.
6. Петрянов-Соколов И.В., Сугутин А.Г. Аэрозоли. – М.: Наука, 1989. – 144 с.

* Стаття продовжує серію публікацій про проблеми радіаційної безпеки, розпочату в попередніх збірниках конференцій.