

РАДІОАКТИВНІ АЕРОЗОЛІ ТА ГАЗИ (Частина 1)*

Левченко О. Г., д.т.н., проф., зав. каф. ОППЦБ 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

Сучасні вимоги до забезпечення радіаційної безпеки персоналу і населення викладені в рекомендаціях Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ). Вони використані при встановленні національних норм радіаційної безпеки (в Україні НРБУ-97), які визначають допустимі дози опромінення осіб з персоналу населення, що проживає в районі розташування АЕС.

Границі дози (ГД) для населення, обумовлені газоподібним викидом, враховують всю сукупність факторів, які формують дозу. Ці чинники враховують шляхи впливу (прямий і непрямий), групи населення, критичні органи, метеорологічні і географічні умови і т.п. На основі цього санітарними правилами проектування і експлуатації АЕС встановлено середньодобовий і середньомісячний допустимий викид (ДВ) радіоактивних газів і аерозолів в атмосферу, що враховує досвід експлуатації АЕС і розсіювання радіонуклідів через труби [1].

На радіонукліди, які мають великий період напіврозпаду і здатні концентруватися в окремих органах організму (кістках, шлунково-кишковому тракті і т.п.), санітарними правилами встановлені спеціальні норми викиду.

До складу газоподібних викидів входять радіоактивні газы (нукліди ксенону, криптону, аргону, леткі сполуки йоду, тритію) і аерозолі. Це пояснюється тим, що внаслідок дуже широкої гами фізико-хімічних властивостей і нуклідного складу аерозолів їх вплив на організм людини може бути дуже небезпечним.

Вплив радіоактивних аерозолів на організм людини здійснюється переважно за рахунок внутрішнього опромінення. Зовнішнє опромінення від

радіоактивних аерозолів мале в порівнянні з опроміненням від радіоактивних газів.

Можна відзначити два шляхи потрапляння аерозолів всередину організму. Перший – інгаляційний. Аерозольні частинки, що вдихаються з повітрям, осідають на внутрішній поверхні органів дихання, потім проникають у кров і розносяться по організму. Радіонукліди селективно концентруються у критичних органах. Другий шлях – так звані харчові ланцюжки. Потрапивши в повітря, що викидається через висотні вентиляційні труби АЕС, радіоактивні аерозолі осідають на землю, траву, листя, включаються в харчові ланцюжки і можуть виявитися в організмі людини. Небезпека внутрішнього опромінення полягає в тривалості впливу довгоіснуючих радіоактивних нуклідів, оскільки у багатьох із них період напіврозпаду і, відповідно напіввиведення з організму людини, досить великий.

До газоподібних радіоактивних викидів АЕС відносяться гази, аерозолі, дими і тумани, які містять у своєму складі радіонукліди (ІРГ, I_2 , 3H , ^{14}C , аерозольні викиди ізотопів стронцію – ^{89}Sr , ^{90}Sr і цезію – ^{134}Cs , ^{137}Cs та ін.), у кількостях, що перевищують допустимі норми [2].

Вперше термін «аерозолі» (аеро – повітря, золь – частка) з'явився в кінці першої світової війни для позначення хмар отруйних речовин, застосованих німецькою армією. Цю назву запропонував американський фізик Гіббс, щоб охопити всю різноманітність аеродисперсних систем, включаючи частинки пилу, туманів, отруйних димів і т. п. Радіоактивні аерозолі у великій мірі визначають радіаційну обстановку як і всередині приміщень АЕС, так і на навколишнє середовище [3].

Аерозолі являють собою дисперсну систему з газоподібним середовищем і твердою або рідкою дисперсною фазою. У даний час цим терміном позначають більш-менш стійку систему, що складається з газу – носія (або суміші газів, у тому числі повітря) і диспергованих у носії дрібних твердих або рідких частинок [4].

Через розмаїття аерозолів поки немає твердої їх класифікації. Аерозолі можна класифікувати за походженням, за величиною частинок, фізико-хімічними та іншими властивостями. Найбільш поширені в природі і в промисловості повітряні аерозолі. Тому формально будь-який газ або повітря є аерозольна система, що містить ту чи іншу кількість аерозольних часток. Для наочності зауважимо, що в 1 см^3 звичайного повітря, яким ми дихаємо, міститься від декількох сотень до декількох тисяч частинок розміром від тисячних часток мікрона до 10 мкм (в залежності від запилення приміщення, пори року, місцевості тощо). На промислових об'єктах, наприклад, на ТЕС, при згорянні органічних палив, крім твердих продуктів згоряння, в димах є і пари вологи, і сконденсовані рідкі частинки. Вони здатні створити в газоходах аерозольні системи з вмістом твердих і рідких продуктів згоряння до 50 г/м^3 (приблизно 10^5 – 10^6 част./ см^3) [5, 6].

У чистому вигляді той чи інший тип аеродисперсної системи зустрічається рідко. У промисловості в аеродисперсних системах присутні як тверді, так і рідкі частинки. На АЕС у деякі вентиляційні системи часто потрапляють пари теплоносія внаслідок його протікання, а в період пускових робіт і будівельний пил. Тому на АЕС утворюються практично всі типи аерозолів, але концентрація частинок в них не особливо велика.

У своїх працях, один з основоположників науки про аерозолі Н.А. Фукс, визначає мінімальний розмір часток, що піддаються виміру, який приблизно дорівнює 10^{-7} см. Більш дрібні частинки (близько 10^{-8} см), що утворюються в результаті розпаду окремих молекул радіоактивних інертних газів з утворенням речовин, що знаходяться в звичайних умовах у твердому стані, мають дуже високу швидкість дифузії. Тому вони не можуть існувати у вільному вигляді в аеродисперсній системі. Ці частинки дуже швидко або з'єднуються з більшими, або осідають на стінках приміщень і повітропроводів.

Усі аеродисперсні системи можна класифікувати за такими основними принципами [7]:

- за способом утворення і агрегатним станом дисперсної фази;
- за розміром часток, що входять складовою частиною в аеродисперсну систему;
- за ознаками радіаційної небезпеки;
- за наявністю або відсутністю електричних зарядів;
- від природи їх походження.

Класифікація аерозолів

За способом утворення і агрегатним станом дисперсної фази в даний час всі аерозолі поділяють на дисперсні, конденсаційні, пил, дим, туман [6].

Дисперсні аерозолі утворюються при диспергуванні твердої і рідкої фаз речовини, наприклад при подрібненні або розпиленні рідин і порошків, механічній обробці і шліфовці матеріалів, упарюванні розчинів, сушінні опадів.

Конденсаційні аерозолі утворюються при конденсації пересичених парів і в результаті газоподібних хімічних реакцій.

Пил – аерозолі з твердою дисперсною фазою, розміри частинок в переважній більшості більше 1 мкм. Пил складається з твердих частинок, диспергованих у газовому середовищі шляхом механічного подрібнення речовини. Пил утворюється при руйнуванні гірських порід, при бурінні, дробленні, вибухових роботах, механічному струшуванні сипучих дрібнодисперсних сухих опадів та інших процесах. Як правило, пил містить досить великі частки неправильної форми, які порівняно легко переходять в осад (запилення горизонтальних поверхонь у побуті). Рахункова концентрація частинок у пилу порівняно невелика (менша, ніж в димах і туманах). На АЕС пил утворюється в результаті механічної обробки різних поверхонь при ремонтних роботах, при попаданні в приміщення частинок із зовнішнього повітря, незатриманих фільтрами припливної вентиляції, при висиханні й

подальшому здуванні повітряним потоком частинок осаду з різних рідин, в результаті механічного зносу працюючих механізмів.

Дим – це конденсаційний аерозоль з твердою дисперсною фазою, утворений в результаті горіння і конденсації; розміри частинок, як правило, менше 1 мкм. Найчастіше дим утворюється в результаті окислення (горіння) різних речовин. Клас диму дуже різноманітний і до нього відносять всі ті аеродисперсні системи, які не є пилом або туманом. На АЕС дим утворюється в результаті підгоряння ізоляцій, масел, антикорозійного покриття, висихання розчинів у цехах дезактивації, під час зварювальних робіт. Розмір частинок диму становить від декількох сотих часток мікрометра до приблизно 1 мкм, а середній їх діаметр менший, ніж середній діаметр частинок пилу і туману. Концентрація частинок дуже висока, часто утворюються агрегати і частинки більшого розміру з великої кількості коагульованих дрібних частинок. Для диму характерна наявність оптичної щільності.

Туман – аерозольна дисперсна або конденсаційна система з рідкою дисперсною фазою. Туман може утворюватися в більшості випадків у результаті конденсації пари або розпилювання рідин у газоподібному середовищі. При цьому в речовині рідких аерозольних часток можуть бути як розчинені домішки, так і тверді частинки, які можуть бути центрами конденсації або захоплюватися рідкими частинками при коагуляції. Найбільш часто зустрічаються джерела утворення туману в промисловості – вихід пари з подальшим охолодженням. На АЕС туман утворюється при випаровуванні і подальшій конденсації протікання теплоносія, конденсації пари масла, розбризкуванні різних рідин і мастильних матеріалів під час ремонтних робіт, а також при роботі різних механізмів.

Розмір частинок аерозолів є важливою характеристикою класифікації аерозолів щодо їх уловлювання. За розміром складових частинок аерозольної системи всі аерозолі поділяють на високодисперсні (розмір часток менше 1 мкм), середньо- або тонкодисперсні (розмір часток від 1 до 10 мкм) і грубодисперсні (розмір часток більше 10 мкм).

Верхньою межею розмірів аерозольних часток вважається така межа, за якої система може існувати як аерозольна протягом деякого часу (декількох хвилин і довше). Оскільки потокам в промислових вентиляційних системах переважно притаманний турбулентний характер, то більш-менш стійкі аерозолі, що включають частки розміром до 100 мкм. Більші частинки навіть в турбулентних потоках дуже швидко випадають в осад. Таким чином, аерозолями прийнято вважати системи, що включають частки розміром 10^{-7} – 10^{-1} см. Системи з більш великими частками зазвичай називають аерозависими. Багато важливих властивостей аерозолів дуже сильно залежать від розмірів їх складових частинок. При цьому характер залежностей змінюється при переході від тонкодисперсних до грубодисперсних аерозольних систем. У механічному русі частинок з діаметром $d < 10^{-5}$ см переважає дифузний характер, а частинок з $d > 5 \cdot 10^{-4}$ см осідання пригнічує інші види рухів у нерухомому газовому

середовищі. Характер залежностей від розміру часток таких властивостей аерозолів, як швидкість випаровування, охолодження, коагуляція, також різко змінюється в діапазоні $d \approx 10^{-5}$ см. Таким чином, запропонована система класифікації в якійсь мірі природна; вона спирається на фізичні властивості аерозолів. Віднесення аерозолу до того чи іншого класу зазвичай здійснюють за середнім значенням розміру, але в самій аерозольній системі, звичайно, можуть бути і частки, що виходять за межі того класу, до якого належить вся система в цілому [7].

У практичній діяльності людини зустрічаються полідисперсні і монодисперсні аерозолі. Але, як правило, частіше доводиться мати справу з полідисперсними аерозолями.

Радіаційно небезпечні аерозолі – це радіоактивні аерозолі, до складу дисперсної фази яких входять частинки, що повністю або частково складаються з радіонуклідів. Радіонукліди можуть або входити до складу матеріалу частинок, або приєднуватися до неактивних часток. Відмінність радіоактивних газів від радіоактивних аерозолів полягає в тому, що атоми газів протягом порівняно тривалого часу не приєднуються до аерозольних часток і знаходяться у вільному стані, наприклад радіоактивні благородні гази (радон, торон, актинон) [3].

Радіоактивні аерозолі можна поділити на довгоживучі і короткоживучі (в залежності від періоду напіврозпаду нукліда, який містять частинки), α -, β -активні, розрізняються за нуклідним складом і т.п. Частинки можуть істотно відрізнятися активністю навіть в одній і тій же системі. Як показують дослідження, в аерозольних системах в низці випадків присутні так звані гарячі частинки. Це такі частинки, активність яких, що припадає на одиницю маси (питома активність), в кілька сотень і тисяч разів перевищує середню питому активність частинок основного складу аерозолів. Кількість таких частинок мала в порівнянні із загальним числом частинок в аерозольній системі.

Крім розмірів, агрегатних станів, способів утворення аерозолів їх можна класифікувати в залежності від наявності або відсутності електричних зарядів: заряджені і незаряджені.

Заряджені частинки практично є в будь-якій аеродисперсній системі. Заряди найчастіше утворюються в результаті іонізації повітря (або газу) іонізуючим випромінюванням природних радіоактивних ізотопів і космічних променів. Такі частинки можуть нести від одного до декількох елементарних зарядів. Зазвичай число зарядів на різних частках в одній аерозольній системі не однакове.

На АЕС аерозольні частинки крім звичайних набувають деяку кількість додаткових зарядів внаслідок іонізуючого випромінювання різних видів, джерелом яких є ядерний реактор. Тому аерозолі, присутні у вентиляційних системах і приміщеннях АЕС, найчастіше заряджені. Крім того, аерозолі на АЕС, як правило, радіоактивні. Під цим терміном розуміють аерозольні системи, частки яких містять радіоактивні елементи. При цьому частинки

можуть або повністю складатися з радіоактивної речовини (наприклад розпорошені частки ядерного палива, активовані частки якої-небудь однієї речовини), або містити незначні кількості активних елементів у вигляді домішок, коагуляторів або ядер конденсації [7].

У електрично заряджених аерозолях на поведінку частинок значний вплив мають електричні сили. Протилежно заряджені частинки притягуються і коагулюють, зменшуючи лічильну концентрацію аерозолі і збільшуючи середній розмір часток, що складають аерозольну систему. Заряджений аерозоль, як правило, менш стійкий, заряджені частинки легше уловлюються, швидше осідають, а властивості осаду залежать від питомого опору речовин частинок і осаджувача.

Література

1. 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.
2. 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).
3. Огородников Б.И., Пазухин Э.М., Ключников А.А. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг. – Чернобыль, 2008. – 456 с.
4. Огородников Б.И. Дисперсность радиоактивных аэрозолей на рабочих местах // Атомная энергетика за рубежом. – 2000, № 11. – С. 12-20.
5. Петрянов-Соколов И.В., Сугутин А.Г. Аэрозоли. – М.: Наука, 1989. – 144 с.
6. Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 159 с.
7. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 352 с.

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