

направленных на снижение последствий весеннего половодья и паводков. – М: ВНИИ ГОИ ЧС, 2000. – 119с.

Аветисян В.Г., Тригуб В.В., Кулиш Ю.А.

Определение количества подразделений для проведения разведки зоны ЧС при наводнениях

Показаны подходы к определению необходимых сил для проведения разведки зон ЧС при наводнениях и подтоплениях

Ключевые слова: разведка, наводнение, спасательный расчет

Avetisyan V.G., Trigub V.V., Kulish U.O.

Prediction of life-saving calculations for exploration areas during floods

Approaches to the definition of the necessary forces for the exploration areas in emergency flood and water logging are shown

Key words: exploration, flood, rescue crew

УДК 621.039.58

*Азаров С.І., д-р техн. наук, зав. сектор., ІЯД НАНУ,
Сидоренко В.Л., канд. техн. наук., ст. викл., ІДУЦЗ*

**ВІДНОВЛЕННЯ ДИНАМІКИ ВИКИДУ ГАЗОПОДІБНИХ ПРОДУКТІВ
ДІЛЕННЯ ПІД ЧАС АВАРІЇ НА ЧАЕС**

(представлено д-ром техн. наук Туркінім І.Б.)

Розглянуто проблему оцінки складу і кількості викидів основних газоаерозольних радіонуклідів в атмосферному повітрі із зруйнованого 4-го блоку ЧАЕС під час аварії. Обговорюються результати реконструкції динаміки виходу радіоактивних продуктів аварії в початковий період за допомогою зміни теплофізичних параметрів ядерного палива.

Ключові слова: аварія на ЧАЕС, стадії аварії, викид радіонуклідів.

Постановка проблеми. Забезпечення життєдіяльності населення держави, особливо, що мешкає в районах розміщення АЕС, і їх захищеності від радіаційних і ядерних аварій є одним з найважливіших і пріоритетних завдань нашої держави.

Особливо загострилась радіаційно-екологічна ситуація в країні після Чорнобильської катастрофи. Аварія на 4-му блоці ЧАЕС привела до необхідності всебічного аналізу та уточнення складу і кількості викидів радіоактивних продуктів у часі і просторі. Аналіз радіаційних наслідків такого масштабу зажадав не тільки використання існуючих на той час методів, але і розробки нових підходів. Знаючи динаміку змін температури ядерного палива в часі, можемо визначити питому активність газоподібних продуктів поділу, що були викинуті в атмосферне повітря у перші дні після аварії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі публікації [1, 2], у яких було приведено оцінку щодо сумарного викиду радіоактивних речовин в оточуюче навколишнє середовище в процесі аварії на 4-му блоці ЧАЕС. Не дивлячись на різноманітні методи вимірювань, результати оцінок, наприклад для ^{131}I , відрізняються на $(30\div 100)\%$, а для ^{137}Cs – на $(20\div 40)\%$ [3]. На порядок ще більші розбіжності спостерігаються при оцінці добових викидів газоаерозольних радіонуклідів в початковий період аварії.

Знання складу радіоактивного викиду і динаміки зміни концентрації радіоактивних газів за час проходження аварійного процесу дозволяє в подальшому розрахувати дозу навантаження внутрішнього опромінення населення, що проживає поблизу ЧАЕС, та здійснити прогнозування величин індивідуальних і колективних доз опромінення.

Постановка завдання та його вирішення. У зв'язку з цим актуальним є завдання дослідження складу і динаміки викиду радіоактивних газоаерозольних часток у повітрі під час активної стадії розвитку Чорнобильської аварії.

26 квітня 1986 року на 4-му блоці ЧАЕС відбулася найбільша в історії атомної енергетики важка радіаційна аварія, в результаті якої була повністю зруйнована активна зона реактора РВПК-1000 і вся верхня частина будівлі реакторного відділення. Були зруйновані бар'єри і системи ядерної та радіаційної безпеки, що захищали довкілля від шкідливої дії радіонуклідів, які знаходились в опроміненому паливі. Радіоактивний викид із зруйнованого реактора на рівні мільйонів Кюрі на добу продовжувався протягом 10 діб, після чого зменшився в тисячі разів [4].

Після вибуху активна зона реактора була повністю зруйнована. Її фрагменти було викинуто вибухом в розвал реакторної будівлі, на дахи сусідніх будинків, споруди вентиляційної труби,

розкидані по прилеглий території. Верхню плиту біологічного захисту (схема «Е») було зірвано з місця та похило розташовано поперек шахти реактора. Стіни і перекриття центрального залу реакторної будівлі зруйновано. Аварійний викид газоаерозольних радіонуклідів за межі 4-му енергоблоку ЧАЕС являв собою немонотонний процес, що складався із декількох стадій.

Спочатку відбулося неконтрольоване збільшення нейтронної потужності всередині активної зони реактора та тепловий вибух з наступним динамічним викидом часток диспергованого палива і частини графітової кладки в навколишнє середовище.

Основні процеси, що обумовили диспергування ядерного палива і графітової кладки під час аварії могли бути наступними:

- різке підвищення енерговиділення (тепловиділення) за рахунок росту нейтронного потоку;
- механічне руйнування під час теплового вибуху і за рахунок ударної хвилі та великих температурних градієнтів;
- процес окислення (горіння) цирконієвої оболонки і графіту.

Склад радіоактивних речовин на першій стадії викиду відповідав приблизно їх складу в опроміненому до аварії ядерному пальному по збагаченню летючими сполуками нуклідів: органічні сполуки йоду (CH_2I); молярні сполуки йоду ($^{131,132,133,134,135}\text{I}$), цезію ($^{134,137}\text{Cs}$), телуру (^{132}Te), а також інертних газів криптону ($^{85\text{m},87,88}\text{Kr}$) і ксенону ($^{133,135}\text{Xe}$).

У другій стадії розвитку аварії потужність радіоактивних викидів з часом поступово зменшувалась у часі через припинення процесу горіння й інтенсивного тепловиділення в зруйнованій активній зоні. Тепловим повітряним потоком із зруйнованого реактора було винесено дрібнодисперсні частки ядерного палива та продукти згоряння графітової кладки.

Третя стадія характеризувалася швидким нарощуванням виходу продуктів ділення в газоподібній формі (цезій і рутеній) за межі зруйнованої реакторної будівлі. Утворення часток ^{103}Ru і ^{106}Ru могло відбуватися за рахунок окислення рутенію, що знаходився на поверхні диспергованого ядерного палива з наступним його відновленням з летючого оксиду RuO_4 на частки конструктивних матеріалів. Паливні летючі частки випадали переважно в ближній зоні ЧАЕС (до 30 км). Із збільшенням відстані від джерела викиду збільшувалася доля часток рутенію.

На четвертій стадії розвитку аварії на протязі трьох діб спостерігався процес стабілізації викидів радіонуклідів в навколишнє природне середовище. Під час аварії відбувалось також утворення конденсаційних часток за рахунок конденсації швидких летючих продуктів ділення (радіоізотопи ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{132}Te та ін., що вийшли з матриці ядерного палива при високих температурних показниках) на частках графітового пилу і конструкційних матеріалів. Питома активність цих радіонуклідів в летючих частках в багатьох випадках визначалась проміжком часу (тривалістю) більше 3-х діб і температурою конденсацією ($T \geq 3000 \text{ K}$), характеристиками поверхні часток, тощо.

На п'ятій стадії аварії (на 10 добу) спостерігалось різке зменшення викиду радіонуклідів в атмосферне повітря. Радіонуклідний склад викидів основних газоаерозольних часток представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Оцінка газоподібних продуктів ділення, що потрапили до атмосферного повітря в результаті Чорнобильської аварії [1-4]

Радіоактивні гази, що накопичилися в активній зоні реактора РБМК-1000 на 26 квітня 1986 року			Загальний об'єм викидів радіоактивних газів під час аварії	
Радіонуклід	Період напів-розпаду, $T_{1/2}$	Активність, ПБк	Активність, ПБк	Вміст радіоактивних газів, %
^{133}Xe	5,3 доби	6500	6500	100
^{131}I	8,04 доби	3200	~1760	(50÷60)
^{134}Cs	2,06 року	180	~54	(20÷40)
^{137}Cs	30,2 років	280	~85	(20÷40)
^{132}Te	78 годин	2700	~1150	(25÷60)
^{103}Ru	39,28 доби	4800	~168	3,5
^{106}Ru	368,2 доби	2100	~73	3,5
^{141}Ce	32,5 доби	5600	~196	3,5
^{144}Ce	284,3 доби	3300	~116	3,5

З даних, приведених в табл. 1, видно, що різниця в загальному об'ємі радіонуклідного викиду в повітрі під час Чорнобильської аварії для деяких радіоактивних газів досягали від 20 до 60 %.

При роботі реактора РБМК-1000 в штатному режимі (до аварії) в матриці оксидного ядерного палива (UO_2) відбувалися процеси вигорання, радіаційного розбухання, накопичення та виділення газоподібних продуктів ділення, таких як йод, криптон, ксенон, цезій, телур та ін. Використовуючи консервативний підхід щодо оцінки можливого сценарію розвитку аварії на 4-му блоці ЧАЕС представимо, що частину ядерного палива було викинуто з активної зони в реакторний зал, а частина залишилась всередині шахти. Твели, технологічні канали і графітова кладка в верхній частині зруйновані, а ядерне паливо частково дисперговано.

Для розрахунку газовиділення з матриці ядерного палива було застосовано залежність виду [5]

$$F(x) = 1 - \frac{a_1}{V_g B_{\text{UO}_2}} \frac{1 - \exp(-a_2 B_{\text{UO}_2})}{\exp[(a_3 + a_4 q_{\text{UO}_2}) T_{\text{UO}_2}]}, \quad (1)$$

де $F(x)$ – частина газоподібних продуктів ділення, що утворились з ядерного палива; V_g – загальна кількість газових продуктів ділення, м^3 ; B_{UO_2} – вигорання ядерного палива, $\text{МВт} \cdot \text{добу/кг UO}_2$; a_1 , a_2 , a_3 , a_4 – коефіцієнти; q_{UO_2} – питома енерговиділення в ядерному паливі, кВт/т UO_2 ; T_{UO_2} – температура ядерного палива, К .

Спрощуючи рівняння (1) та логарифмуючи його, можна записати

$$\log F(x)_i = -\frac{N_i}{T_{\text{UO}_2}} + M_i, \quad (2)$$

де $F(x)_i$ – частина i -х газоподібних продуктів ділення, що виходять з матриці протягом кожної секунди; N_i – константа для i -го газоподібного продукту ділення, що залежить від температури оксиду в паливі, К ; M_i – константа для i -го газоподібного продукту ділення, що залежить від часу процесу виходу, с^{-1} ; T_{UO_2} – температура опроміненого ядерного палива, К .

З рівняння (2) виходить, що знаючи температуру ядерного палива і отримавши коефіцієнти N_i та M_i , можна визначити вихід газоподібних продуктів ділення.

На рис. 1 показано динаміку зміни середньооб'ємної температури та питомого енерговиділення в паливній матриці в процесі аварії на ЧАЕС, що розраховані у роботі [6].

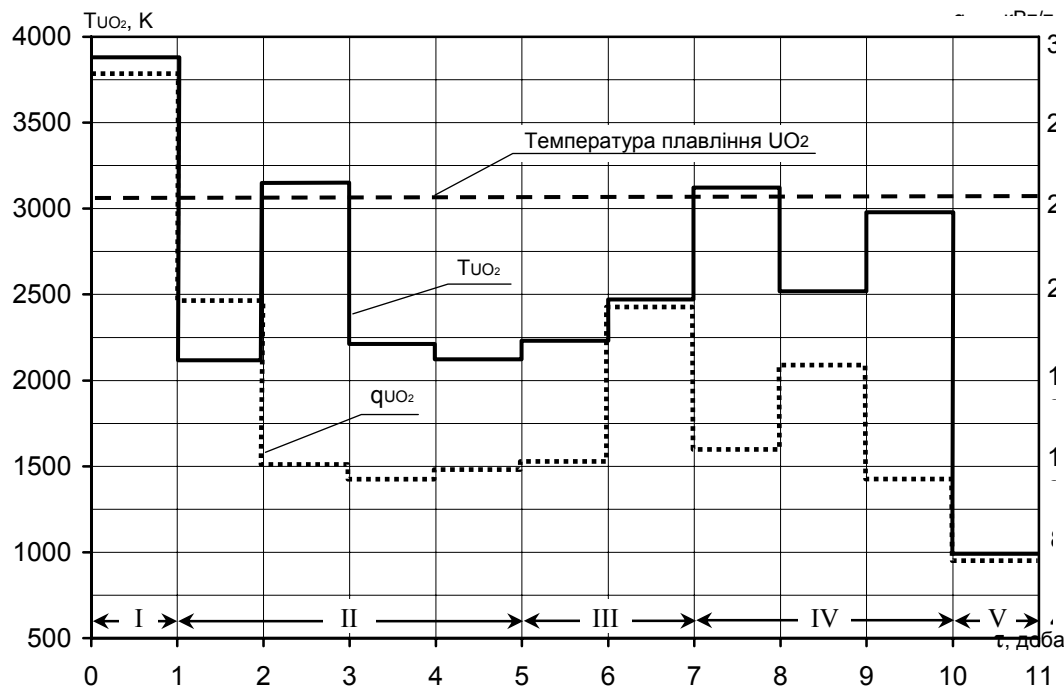


Рис. 1 – Динаміка зміни середньооб'ємної температури і питомого енерговиділення в паливній матриці (UO_2) при різних стадіях (I–V) протікання аварії на 4-му блоці ЧАЕС

З рис. 1 видно, що максимальна середньооб'ємна температура паливної матриці (UO_2) перевищує температуру плавлення палива ($T=3138$ K) три рази (на 1, 2 і 7 добу) аварії на ЧАЕС.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів N_i та M_i [7]

Радіонуклід	Коефіцієнти	
	N_i , K	M_i , c^{-1}
^{131}I	15300	3,31
^{137}Cs	16200	3,35
^{134}Cs	16800	2,71
^{132}Te	19200	2,01
^{103}Ru	16600	0,12
^{106}Ru	18000	0,35
^{140}Ce	16700	0,13
^{144}Ce	16200	0,11

В процесі розвитку важкої аварії розплавлений цирконій (ZrO_2) розчиняючи частину таблетки ядерного палива UO_2 і оксидний шар твелу, утворив рідку суміш $U-Zr-O$. Перетворення яде-

Відновлення динаміки викиду газоподібних продуктів ділення під час аварії на ЧАЕС

рного палива в рідкий стан призвело до швидких процесів дифузії та виходу газоподібних продуктів ділення (летючих радіоактивних газів і аерозолів) в повітрі.

В табл. 2 приведено значення коефіцієнтів N_i і M_i з рівняння (2).

На рис. 2 приведено результати відновлення динаміки зміни концентрації деяких дозоутворюючих продуктів ділення з матриці ядерного палива, в процесі розвитку аварії на ЧАЕС та порівняння їх з експериментально отриманими даними.

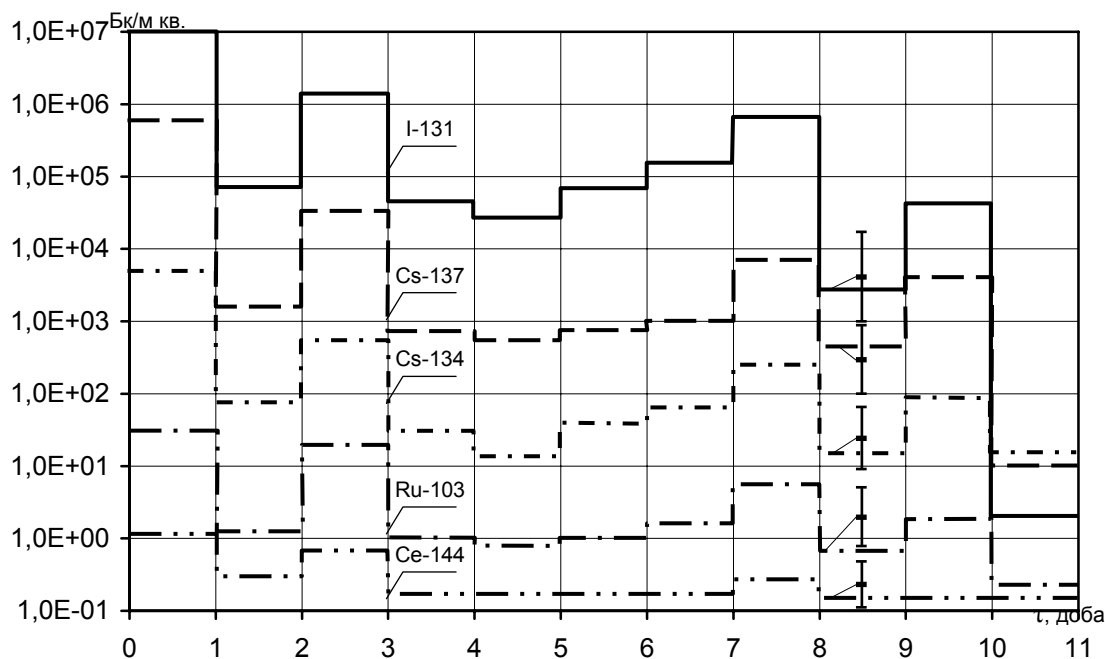


Рис. 2 – Динаміка зміни концентрації основних дозоутворюючих (радіаційно небезпечних) радіоактивних газоподібних аерозолів в атмосферному повітрі в початковий період Чорнобильської аварії з експериментально виміряними даними на 8-му добу після аварії [8]

Співставлення реконструювання складу і концентрацій газоподібних продуктів аварії з експериментальними показниками показує практично повний збіг результатів, що дозволяє об'єктивно відобразити викид газоподібних часток із зруйнованого реактора.

Висновки. Таким чином, представлений алгоритм дозволяє розрахувати динаміку викиду газоподібних часток при аварії на 4-му блоці Чорнобильської АЕС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ / Ф.Ф. Абагян, В.Г. Асмолов, А.К. Гуськова и др. // Атомная энергия. – 1986. – Т. 61. – С. 301–320.
2. Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред / Под. ред. Ю.А. Израэля. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 400 с.
3. Израэль Ю.А. Моделирование радиоактивных выпадений в ближней зоне от аварии на ЧАЭС / Ю.А. Израэль, В.Н. Петров, Д.А. Северов // Метрология и гидрология. – 1987. – № 7. – С. 5–12.
4. Чернобыльская катастрофа / Под ред. В.Г. Барьяхтара – К.: Наукова думка, 1995. – 560 с.
5. Маланченко Л.Л. Поведение газообразных продуктов деления в UO_2 и методы его прогнозирования / Л.Л. Маланченко, В.С. Ямников // Атомная техника за рубежом. – 1980. – № 10. – С. 3–11.
6. Азаров С.И. Оценка изменения температуры расплава топливосодержащих масс по выходу радиоактивных изотопов / С.И. Азаров, В.А. Пшеничный // Тези доп. наук. конф. "Чернобыльська аварія, її наслідки та проблеми їх подолання. – К., 20–21 квітня 1994 р. – С. 89–91.
7. Report to the American Physical Society NUREG, № 6-04-83-011. – USA, Feb., 1985.
8. Борисов Н.Б. Состав и концентрация газоаэрозольных радиоактивных веществ над развалом IV блока ЧАЭС и в дальней зоне в мае 1986 г. / Н.Б. Борисов, В.В. Вербов, Г.А. Кауров и др. // Охрана окружающей среды, вопросы экологии и контроль качества продукции. – 1992. – Вып. 1. – С. 11–17.

Азаров С.И., Сидоренко В.Л.

Восстановление динамики выброса газообразных продуктов деления во время аварии на ЧАЭС

Рассмотрена проблема оценки состава и количества выбросов основных газоаэрозольных радионуклидов в атмосферном воздухе из разрушенного 4-го блока ЧАЭС во время аварии. Обсуждаются результаты реконструкции динамики выхода радиоактивных продуктов аварии в начальный период с помощью изменения теплофизических параметров ядерного топлива.

Ключевые слова: авария на ЧАЭС, стадии аварии, выброс радионуклидов.

Azarov S.I., Sidorenko V.L.

Reconstruction of dynamics of basic radionuclide's release at the Chernobyl reactor explosion

Approaches to the problem of estimation of basic radionuclide's release from the accidental unit of Chernobyl reactor explosion. The results of reconstruction of dynamics and total activity at radionuclide's in an initial period of the accident of use temperature model of fuel.

Key words: Chernobyl accident, stages of the accident, release of radionuclides

УДК 614.8

Акулов В.М., викл., НУЦЗУ,

Кулаков О.В., канд. техн. наук, заст. нач. каф., НУЦЗУ,

Райз Ю.М., викл., НУЦЗУ

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАКІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ХІМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ В ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

Запропоновано застосування безпілотних літаків (БЛ) для моніторингу зараженої зони аварії з викидом небезпечних хімічних речовин (НХР). Визначена оптимальна траєкторія польоту та довжина шляху польоту БЛ в зараженій зоні.

Ключові слова: безпілотний літак, спостереження, газоаналізатор

Постановка проблеми. Завданнями цивільного захисту є, зокрема, збирання та аналітичне опрацювання інформації про надзвичайні ситуації (НС), прогнозування та оцінка їх соціально-економічних наслідків [1]. Збирання, опрацювання та передачі інформації про стан довкілля здійснюється шляхом спостереження.

Відрізняють НС техногенного, природного та соціально-політичного характеру. Одним з видів НС техногенного характеру є аварія з викидом НХР.

Резонансна аварія з викидом НХР виникла у Російській Федерації 01 вересня 2011 року при пожежі й розгерметизації ємностей з бромом (речовина високо небезпечна за [2]) у вантажному

Акулов В.М., Кулаков О.В., Райз Ю.М.