

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ АВАРИЙНОГО ТОПЛИВА ПО ДАННЫМ О ВЫБРОСАХ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ РАЗРУШЕННОГО 4-ГО БЛОКА ЧАЭС

Представлены методика и результаты оценки динамики температуры топлива в ходе образования лавообразных топливосодержащих материалов (ЛТСМ) в помещении 305/2. Оценка температуры перегретого топлива проведена с использованием математических кодов типа CORSOR по данным о выбросе радионуклидов в период с 26 апреля по 11 мая 1986 г. Показано, что основные потоки ЛТСМ могли образоваться при более умеренных значениях температур, чем было оценено ранее. Полученные данные использованы для верификации доменной версии образования ЛТСМ и ТСМ с высокой концентрацией урана и температуры шихты из фрагментов активной зоны.

Ключевые слова: уран, топливосодержащие материалы, утечка ^{137}Cs из топлива, скорость выхода летучих продуктов деления, динамика температуры, шихта.

Введение

На завершающей фазе аварии реактора 4-го энергоблока ЧАЭС в результате взаимодействия фрагментов разрушенной активной зоны (ФАЗ), элементов строительных конструкций и теплозащиты образовался силикатный расплав, который распространился в подреакторных помещениях и застыл в форме лавообразных топливосодержащих масс (ЛТСМ) [1, 2]. Интерпретация имеющихся фактов, данных визуального обследования помещений аварийного блока, учет наличия температурных маркеров и материалов-«свидетелей» аварийных процессов в комплексе с результатами расчетно-аналитических исследований позволили сформировать непротиворечивые версии сценария образования ЛТСМ [1 - 3], в том числе и скоплений ТСМ с высокой концентрацией топлива – зон критического риска [4]. В ряде экспериментальных исследований были изучены условия, при которых взаимодействие топлива и конструкционных материалов могло привести к образованию различных модификаций ЛТСМ [3, 5].

В то же время результаты, полученные при исследовании поведения радионуклидов при отжиге топливных «горячих» частиц чернобыльского происхождения, изложенные в обзоре [6], наглядно продемонстрировали, что при тех температурно-временных характеристиках, которые были приведены в работах [1, 5], обеднение матрицы диоксида урана по цезию должно было бы быть несоизмеримо выше, чем было измерено в пробах ЛТСМ [1, 7]. Подобное противоречие явно свидетельствовало о том, что процессы лавообразования могли происходить при более умеренных температурах, существенно ниже $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$, что возможно, например, в результате не плавления, а высокотемпературного растворения в силикатном расплаве топлива из состава шихты [3].

Еще задолго до аварии, в 1972 г., была разработана методология оценки аварийного выброса из активной зоны реактора по модели выхода продуктов деления (ПД) при нагреве облученного диоксида урана [8]. Аналогичные исследования, проведенные в последующие годы, позволили разработать и верифицировать математические коды CORSOR и CORSOR-M, аппроксимирующие многочисленные экспериментальные данные [9 - 11]. В работе [12] методом решения обратной задачи была предпринята попытка оценить температуру топлива в шахте реактора по данным о содержании ^{103}Ru , ^{132}Te и ^{140}Ba в пробах воздуха, отобранных из шлейфа над реактором 11 и 25 мая 1986 г. Полученные результаты оказались вполне разумными и подтвердили возможность использования математических кодов типа CORSOR к чернобыльской ситуации.

Основной целью настоящей работы было на основе разработанных методических подходов по данным о параметрах выброса ПД из шахты реактора на активной стадии аварии провести оценку температуры аварийного топлива и в то же время получить дополнительные сведения для верификации предложенной ранее доменной версии образования ядерноопасных скоплений ТСМ.

Объекты и методика исследований

В основу методики наших исследований была положена известная зависимость скорости выхода летучих ПД из керамической матрицы диоксида урана от ее температуры [8 - 11].

© А. В. Михайлов, А. А. Дорошенко, 2015

В качестве базовых данных были приняты:
 результаты оценки параметров выброса ^{137}Cs из аварийного реактора в период с 26 апреля по 6 мая [13, 14] и на 11 мая 1986 г. [12];
 содержание радионуклидов в образцах ЛТСМ, отобранных по различным маршрутам распространения лавовых потоков в подреакторных помещениях и помещении 305/2 [15, 16];
 данные о распределении урана в помещениях объекта «Укрытие» [1, 7];
 параметры выхода летучих ПД из керамической матрицы диоксида урана при нагреве [9, 10].
 В соответствии с процедурой, принятой в математических кодах CORSOR и CORSOR-M [11], скорость выхода летучих ПД из облученного топлива может быть описана выражением

$$dM/dt = -KM, \quad (1)$$

где M – интегральное количество ПД, наработанное в облученном топливе; K – константа скорости выхода ПД, мин^{-1} .

В процедуре расчета по CORSOR используется выражение

$$K = A \cdot \exp(BT), \quad (2)$$

где A и B – набор эмпирических коэффициентов, соответствующих определенному диапазону температур (до 1000 °С, от 1000 до 2200 °С, выше 2200 °С).

В процедуре расчета по CORSOR-M используется уравнение Аррениуса

$$K = K_0 \exp(-Q/RT), \quad (3)$$

где Q – энергия активации диффузии; R – универсальная газовая постоянная, равная 0,001987 ккал/(мол К); T – температура топлива, К; K_0 – коэффициент, мин^{-1} .

На рис. 1 показан вид функциональной зависимости константы скорости выхода летучих ПД от температуры, которые приняты в коде типа CORSOR. В расчетах по формуле (3) числовые значения Q и K_0 принимались в соответствии с данными [10].

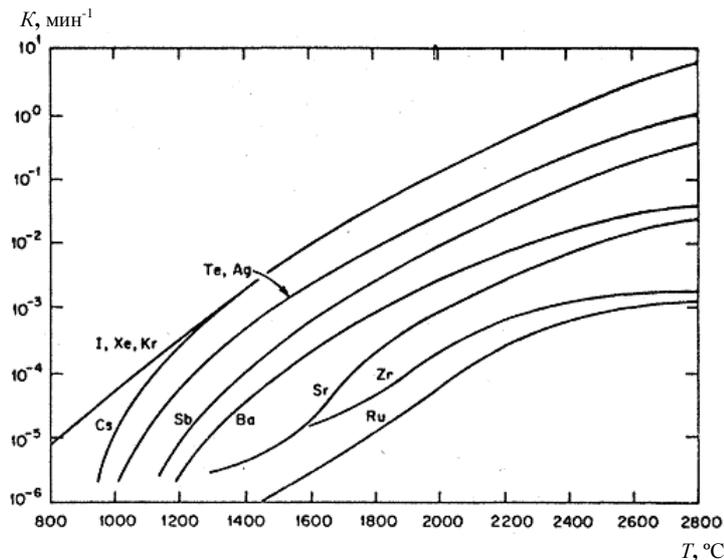


Рис. 1. Зависимость констант скорости выхода летучих ПД от температуры [9].

Если известно значение константы скорости выхода K , относительная утечка радионуклида из матрицы топлива (фракция выброса) за время нагрева t при температуре T определяется как

$$F = 1 - \exp(-Kt). \quad (4)$$

При известной мощности выброса ПД dM/dt знание его исходного количества M , наработанного в топливе, дает возможность оценить константу скорости выхода ПД

$$K = -\frac{dM}{Mdt}. \quad (5)$$

В качестве исходных данных о параметрах выброса ПД были использованы наиболее известные результаты моделирования аварийных событий для ^{137}Cs (табл. 1). Нароботка ^{137}Cs в активной зоне на единицу массы урана (1,37 ПБк/т) и отношение его активности к реперному радионуклиду ^{144}Ce на момент аварии (0,067) определялись по данным [8, 13].

Значение M рассчитывалось для двух версий реализации высокотемпературных процессов утечки радионуклида ^{137}Cs из матрицы топлива.

Версия А - статическая. В данной версии расчетов было принято, что часть топлива на момент начала взаимодействия с силикатами могла присутствовать в виде U-Zr-O эвтектики (кориума) и не содержать летучей фракции ^{137}Cs в заметных количествах. Источником длительного выброса ^{137}Cs является часть топлива, оставшаяся в виде оксидов в шихте, после расхода которой образовались коричневые и черные ЛТСМ в подреакторных помещениях и помещении 305/2.

Версия Б – динамическая. В данной версии расчетов было принято, что источником суточного выброса ^{137}Cs является только та часть топлива, которая разогрета до высоких температур (в составе шихты и/или в расплаве) и не превратилась в твердую массу после слива из помещения 305/2. Данное положение основывалось на том, что при скоростях охлаждения, характерных для образования ЛТСМ с матовой (4,5 °С/мин) или блестящей (50 °С/мин) поверхностью из жидкой массы с начальной температурой ~ 1500 °С [5] достаточно быстро образуется твердое тело со структурой, препятствующей дальнейшему интенсивному выходу газообразных радионуклидов. Это известное свойство силикатных стекол к удержанию ПД нашло свое промышленное применение при отверждении жидких высокоактивных отходов АЭС [17].

Таблица 1. Данные о параметрах выброса ^{137}Cs из разрушенного реактора ЧАЭС

Дата	Мощность выброса, ПБк/сут	
	НКДАР ООН, 2000 г. [13]	Талерко Н. Н., 2005 г. [14]
26.04.86	24,0	24,8
27.04.86	7,7	16,6
28.04.86	6,1	9,5
29.04.86	4,5	8,2
30.04.86	3,3	1,3
01.05.86	3,3	2,9
02.05.86	6,1	2,1
03.05.86	7,0	3,5
04.05.86	9,0	1,3
05.05.86	9,8	0,8

Примечание. ПБк = 10^{15} Бк (1 МКи = 37 ПБк).

По значениям K , рассчитанным по формуле (5), температура топлива (°С) оценивалась по аппроксимационным кривым CORSOR (см. рис. 1) и формуле, производной от уравнения Аррениуса

$$T = -\frac{Q}{R} \cdot \frac{1}{\ln(K/K_0)}, \quad (6)$$

где Q , R , K и K_0 соответствуют обозначениям, принятым в формуле (3).

Результаты, полученные обоими способами, сравнивались для определения диапазона наиболее вероятных значений температуры. Для оценки степени корректности полученных данных определялись временные интервалы, на протяжении которых из топлива, вошедшего в состав коричневых и черных ЛТСМ, могли диффундировать радионуклиды цезия

$$t = -\frac{\ln(1 - F_{\text{срезв}})}{K}, \quad (7)$$

где K – значения, рассчитанные по формуле (5); $F_{\text{срезв}}$ – утечка ^{137}Cs из топлива в составе ЛТСМ (табл. 2), которая определялась как

$$F_{\text{срезв}} = 1 - \frac{(A_{\text{CS}}/A_{\text{CE}})_{\text{срезв}}^{\text{эксн}}}{(A_{\text{CS}}/A_{\text{CE}})_{\text{расч}}}, \quad (8)$$

где $(A_{\text{CS}}/A_{\text{CE}})_{\text{срезв}}^{\text{эксн}}$ – средневзвешенное отношение удельной активности ^{137}Cs к ^{144}Ce в ЛТСМ; $(A_{\text{CS}}/A_{\text{CE}})_{\text{расч}}$ – расчетное отношение удельной активности ^{137}Cs к ^{144}Ce , равное 0,067.

Результаты и обсуждение

Для оценки температуры топлива по значению константы скорости выхода ^{137}Cs нам необходимо было определить объем топлива, который мог сформировать источник длительного выброса радионуклида. Для решения этой задачи каждое из скоплений, выделяемых в структуре распределения урана в подреакторных помещениях, было изучено на предмет определения средних значений

утечки ^{137}Cs (обеднения по цезию относительно церия) и расчета средневзвешенных значений, характерных для каждого типа лав и ЛТСМ в целом (табл. 2, $F_{\text{срвзв}}$).

Как видно из данных табл. 2, топливо в составе ЛТСМ существенно обеднено ^{137}Cs . В то же время цериевое отношение, известное для ФАЗ, оставшихся не переплавленными, весьма незначительно отличается от величины, характерной для топлива на момент аварии [1, 2, 7, 8]. Таким образом, доминантным источником выброса цезия из шахты реактора, который обусловил ее длительную динамику, могло быть только топливо, постепенно вовлекаемое в высокотемпературные процессы образования лав из шихты ФАЗ.

Таблица 2. Средневзвешенная утечка ^{137}Cs из топливной матрицы и временные диапазоны (ч) реализации процессов для двух вариантов динамики выброса радионуклида

Тип ЛТСМ	$F_{\text{срвзв}}$	НКДАР ООН, 2000 г. [13]		Талерко Н. Н., 2005 г. [14]	
		А	Б	А	Б
Коричневая керамика	0,69	12	4 - 5	10 - 12	4 - 5
Черная керамика: за пределами пом. 305/2 в пом. 305/2	0,65	12 - 13	4 - 4,5	8 - 9	3 - 4
	0,54	11 - 17* (7,5 - 10)**	4,5 - 9,5 (7 - 8,5)	11 - 16 (15 - 17)	9 - 13 (13 - 15)
	0,59	-	-	-	-
По всем скоплениям	0,63	-	-	-	-

* Для периода времени с 30 апреля по 2 (3) мая 1986 г.

** Для периода времени с 3 (4) по 5 мая 1986 г.

Какое же суммарное количество ^{137}Cs было выброшено при лавообразовании? На сегодняшний день принято считать, что полный выброс ^{137}Cs составил 85 ПБк [7, 13, 14]. При этом необходимо принять во внимание, что ^{137}Cs , который входил в состав топлива, сформировавшего U-Zr-O эвтектику (7,7 т по оценкам [2]), был выброшен в атмосферу сразу после разгерметизации каналов (7,7 т·1,37 ПБк/т U = 10,5 ПБк). В итоге получаем, что из 260 ПБк ^{137}Cs , наработанных на момент аварии [7, 13], только $(85 - 10,5) / 0,63 = 118,2$ ПБк могло являться источником длительного выброса (где 0,63 – средневзвешенная утечка ^{137}Cs из ЛТСМ в целом, см. табл. 2), что соответствует 86,3 т урана. Для сведения баланса по цезию в ЛТСМ из полученной величины была вычтена та часть топлива, которая могла быть выброшена из шахты реактора в виде мелкодисперсных частиц (3 т урана, ~ 1,5 % от загрузки). В итоге мы пришли к выводу, что в образовании лав и ТСМ с высокой концентрацией урана принимало участие топливо (с массой урана $83,3 + 7,7 = 91$ т), в котором было накоплено 124,4 ПБк ^{137}Cs . Полученные данные были использованы для расчета константы скорости выхода радионуклида и оценки соответствующей температуры топливной матрицы.

Результаты многовариантной оценки динамики среднесуточной температуры топлива показаны на рис. 2 и 3. Результаты оценки температуры в шахте реактора на 11.05.86 г. и альтернативные данные, полученные в работе [12] по содержанию ^{103}Ru , ^{132}Te и ^{140}Ba в пробах воздуха над реактором, показаны на обоих рисунках отдельно.

Исходные данные об интенсивности выбросов существенно отличались как по амплитуде, так и по динамическим характеристикам (см. табл. 1). В итоге отмеченные различия оказали заметное влияние на расчетные значения температуры ТСМ, особенно для периода, который в литературе принято называть «периодом разогрева» [6, 13].

Анализ полученных результатов позволил сформулировать следующие выводы:

1. Значения температуры ТСМ, рассчитанные по CORSOR и CORSOR-M, отличаются систематическим расхождением на ~ 100 °C (96 ÷ 110 °C) для всех вариантов расчета и полностью идентичны в динамических характеристиках. Данные по CORSOR-M для варианта Б могут быть взяты в качестве верхней границы оценочных значений.

2. Различия в прогнозах динамики температур, полученных для версий реализации процессов А и Б, по данным 2000 г. (9 ÷ 197 °C), в среднем на 70 % выше, чем по данным 2005 г. (20 ÷ 128 °C). Наибольшее по амплитуде отличие между версиями в период с 26.04 по 30.04.86 г. (01.05.86 г.).

3. Динамика температуры, оцененная по данным 2005 г., более реалистично отображает возможные колебания температуры в ванне расплава после слива черных ЛТСМ из помещения 305/2 и начало ее необратимого охлаждения. Образование прочной гарнисажной корки на поверхности рас-

плава привело к резкому, на два порядка величины, спаду мощности выброса ПД (в том числе и ^{137}Cs после 05.05.86 г.), но не такому резкому (в $1,25 \div 1,5$ раза) падению температуры ЛТСМ.

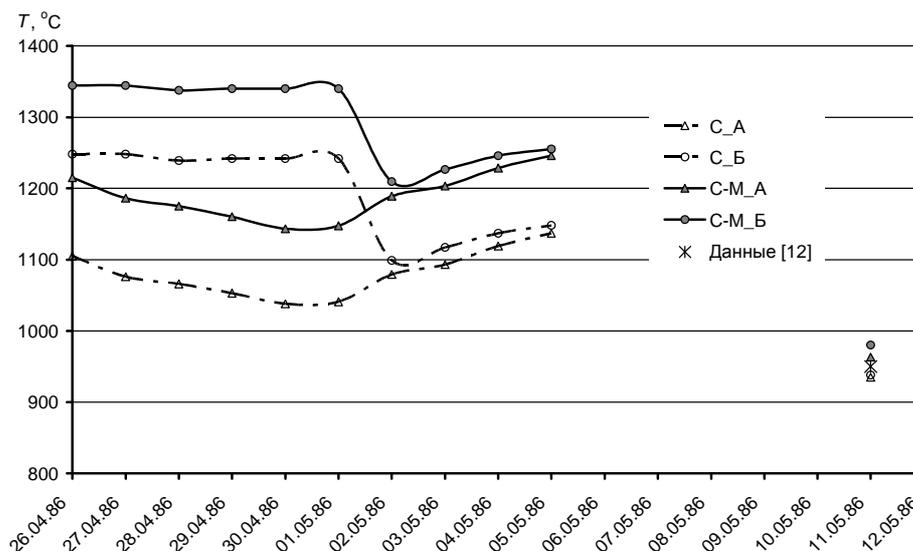


Рис. 2. Температура топлива в шахте реактора по данным о выбросах ^{137}Cs [12, 13]: индексы А и Б указывают на версии реализации процессов; индексы С и С-М - на коды CORSOR и CORSOR-М соответственно.

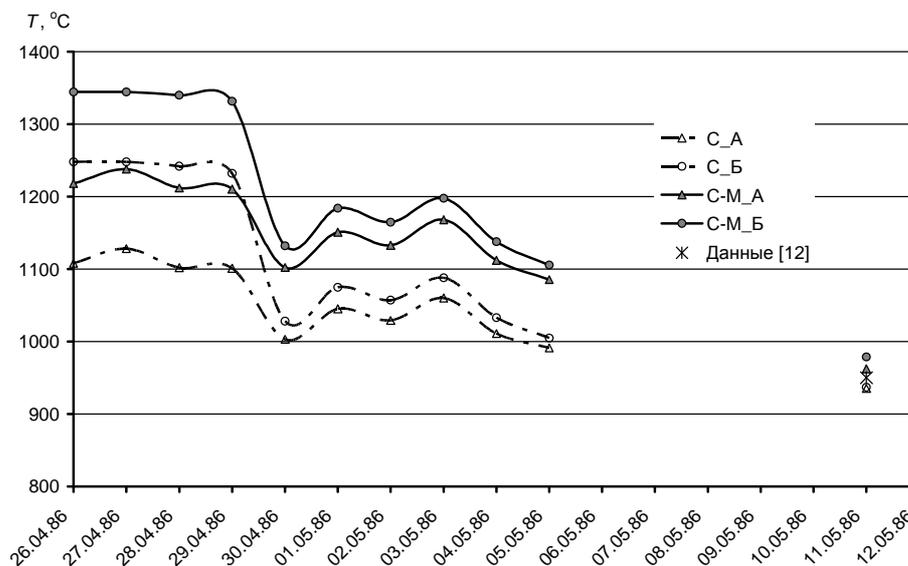


Рис. 3. Температура топлива в шахте реактора по данным о выбросах ^{137}Cs [12, 14]. Обозначения, как на рис. 2.

4. Ориентируясь на результаты расчетов, полученных по данным 2005 г. с использованием CORSOR-М, в динамике температуры ТСМ можно выделить три основных периода. Первый – с 26.04 по 29.04.86 г., второй – с 30.04 по 05.05.86 г. и третий – с 06.05.86 г. Первый характеризуется диапазоном температур (для версий А/Б) – $1210 \div 1240/1330 \div 1345$ °С, второй - $1085 \div 1170/1105 \div 1200$ °С, третий – $< 1080/1100$ °С. На 11.05.86 г. температура остывающих ЛТСМ находится в диапазоне значений $940 \div 980$ °С, что хорошо согласуется с результатами расчета по данным о содержании ^{103}Ru , ^{132}Te и ^{140}Ba в пробах воздуха над реактором - 950 ± 100 °С [12].

Для определения степени корректности полученных результатов была оценена продолжительность времени, на протяжении которого из матрицы перегретого топлива, вошедшего в состав коричневых и черных ЛТСМ, могли свободно диффундировать радионуклиды цезия в количестве, равном измеренному обеднению, т.е. средневзвешенному значению утечки (табл. 2, $F_{срвзв}$). Как видно из табл. 2, временные интервалы вполне адекватно охватывают длительность процессов образования стекломасс и не выходят за пределы разумности. Более того, числовые значения для обоих типов ЛТСМ находятся в согласии с временными рамками сценария лавообразования, построенного на сведении материально-энергетического баланса [1].

Температура кориума, остывшего после контакта с металлом основания реактора (верхней крышкой схемы ОР) и потерявшего на начало взаимодействия с силикатами до 97 – 99 % ^{137}Cs , нами оценена в 1670 – 1700 °С. Полученный результат хорошо совпадает с данными экспериментального определения температуры перегретого топлива на начальной стадии аварии (1800 – 2000 К) [8], что в дополнении к вышесказанному подтверждает правильность выбранной в работе методики расчета.

Таким образом, полученные результаты убедительно свидетельствуют о том, что процессы образования коричневых и черных ЛТСМ, сформировавших согласно сценариям [1, 4] основные потоки лав из помещения 305/2 в период с 26 по 29 апреля 1986 г., могли происходить при температуре топлива не выше 1280 ± 65 °С. Средняя температура ЛТСМ в ванне расплава в период с 30 апреля по 5 мая 1986 г. оценивается значением 1140 ± 35 °С. Полученный диапазон температур хорошо согласуется с результатами изучения фракционирования ПД в матрице топливных «горячих» частиц при высокотемпературном отжиге [6] и данными о том, что температура в диапазоне $1100 \div 1200$ °С вполне достаточна для образования ЛТСМ путем растворения ФАЗ в силикатах [3].

Заключение

1. Для каждого отдельного скопления ЛТСМ, выделяемого в структуре распределения топлива в подреакторных помещениях, определены параметры утечки ^{137}Cs .

2. На основе сведения баланса по ^{137}Cs определено количество перегретого топлива, которое могло быть источником длительного выброса ПД из аварийного реактора и лавообразования.

3. По данным о выбросах ^{137}Cs из шахты реактора в период с 26 апреля по 11 мая 1986 г. оценена динамика температуры топлива при образовании ЛТСМ и формировании лавовых потоков из помещения 305/2.

4. Полученные данные свидетельствуют о том, что основной объем ЛТСМ сформировался при более умеренных значениях температур, чем оценивали ранее, что возможно только при растворении топлива силикатами, а не плавлении с образованием жидких эвтектик.

5. Результаты работы использованы для верификации доменной версии образования ЛТСМ и ТСМ с высокой концентрацией урана и температуры шихты из фрагментов активной зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пазухин Э.М. Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Радохимия. – 1994. – Т.36, № 2. – С. 97 – 142.
2. Богатов С.А. Взаимодействие аварийного топлива 4-го энергоблока ЧАЭС с конструкционными материалами – количественные оценки // Объект «Укрытие» - 10 лет. Основные результаты научных исследований. – Чернобыль, 1996. – С. 112 - 127.
3. Жидков О.В. 25 років еволюції уявленнь про паливовмісні матеріали об'єкта «Укриття»: сценарії їхнього утворення та фізичні міркування // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2011. – Вип. 16. – С. 86 - 100.
4. Высокский Е.Д., Михайлов А.В. Концептуальная модель «доменной» версии образования ядерно-опасных скоплений на 4-м блоке ЧАЭС // Там же. – 2013. – Вип. 21. – С. 99 - 106.
5. Красноруцкий В.С., Яковлев В.К., Данилов А.П. и др. Микроструктурный анализ лавоподобных топливосодержащих масс // ВАНТ. Сер. ФРП и РМ. – 2010. – № 1. – С. 60 – 67.
6. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг. // Б. И. Огородников, Э. М. Пазухин, А. А. Ключников. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2008. – 456 с.
7. Боровой А.А., Велихов Е.П. Опыт Чернобыля (работы на объекте «Укрытие»). Ч. 1. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2012. – 168 с.
8. Сивинцев Ю.В., Хрулев А.А. Оценка радиоактивного выброса при аварии 1986 г. на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. – 1995. – Т. 78, вып. 6. – С. 403 - 417.
9. Technical Bases for Estimating Fission Product Behavior During LWR Accidents, NUREG-0772. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, June 1981.
10. Reassessment of Technical Bases for Estimating Source Terms. Final Report. NUREG-0956. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, July 1986.
11. Report to the American Physical Society of the study group on radionuclide release from severe accidents at nuclear power plants // Reviews of Modern Physics, Vol. 57, No.3, Part II, July 1985. P. S62 – S65.
12. Исследование выброса аварийного реактора 4-го блока Чернобыльской АЭС / А. А. Римский-Корсаков, П. И. Федотов, Ю. В. Дубасов и др. // Тр. Радиового ин-та им. В. Г. Хлопина. – 2009. – Т. XIX. – С. 10 – 22.
13. United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2000. Report to General Assembly. Annex J.: Exposure and effects of the Chernobyl accident - New York: UN. – 2000. – P. 456 – 566.

14. *Сценарий* для верификации математических моделей атмосферного переноса по данным измерений радиоактивных загрязнений в Коростене и Коростенской районе в результате аварии на ЧАЭС / Е. К. Гаргер, Т. Д. Лев, Н. Н. Талерко и др. // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2011. – Вып. 17. – С. 112 - 123.
15. *Богатов С.А., Боровой А.А., Гаврилов С.Л. и др.* База данных по местонахождению и состоянию ядерного топлива 4-го блока ЧАЭС до и после аварии. – Москва, 2007. – 146 с. - (Препр. / РНЦ «Курчатовский институт»; 130-11/2).
16. *Изучение* образцов лавообразных топливосодержащих материалов, отобранных с различной глубины залегания лавы / Э. М. Пазухин, А. А. Боровой, А. С. Лагуненко, Ф. Н. Коломиец // Проблемы Чернобиля. – 2002. – Вып. 9. – С. 66 - 75.
17. *Радиоактивные* отходы АЭС и методы обращения с ними / А. А., Ключников, Э. М. Пазухин, Ю. М. Шигера, В. Ю. Шигера - К.: Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2005. – 487 с.

О. В. Михайлов, А. О. Дорошенко

Институт проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

ОЦІНКА ТЕМПЕРАТУРИ АВАРІЙНОГО ПАЛИВА ЗА ДАНИМИ ПРО ВИКИДИ РАДІОНУКЛІДІВ ІЗ ЗРУЙНОВАНОГО 4-ГО БЛОКА ЧАЕС

Наведено методику та результати оцінки динаміки температури палива у ході формування лавоподібних паливовмісних матеріалів (ЛПВМ) у приміщенні 305/2. Оцінку температури перегрітого палива проведено з використанням математичних кодів типу CORSOR за даними щодо викидів радіонуклідів у період з 26 квітня по 11 травня 1986 р. Показано, що основні потоки ЛПВМ могли сформуватися за більш помірних значень температур, ніж за попередніми оцінками. Отримані дані використано для верифікації доменної версії створення ЛПВМ і ПВМ з високою концентрацією урану та температури шихти з фрагментів активної зони.

Ключові слова: уран, паливовмісні матеріали, витік ^{137}Cs з палива, швидкість виходу летких продуктів поділу, динаміка температури, шихта.

O. V. Mikhailov, A. O. Doroshenko

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine

ASSESSMENT OF AN ACCIDENTAL FUEL RADIONUCLIDE'S RELEASE DATA FROM THE DAMAGED CHERNOBYL NPP UNIT 4

A procedure and results of assessment of fuel temperature dynamics during the formation of lava-like fuel containing materials (LFCM) in room 305/2 are presented. The assessment of the overheated fuel temperature carried out using mathematical type codes CORSOR's type from the known radionuclide's release data in the period from 26.04 to 11.05.86. It is shown that the main LFCM's accumulations could be formed at a moderate value of temperatures than previously estimated. The obtained data were used to verify the "blast furnace" version of LFCM formation and formation of FCM with high uranium concentration and temperature of the core fragment's charge.

Keywords: uranium, fuel-containing materials, ^{137}Cs leaks from fuel, the release rate of volatile fission products, temperature dynamics, charge.

REFERENCES

1. *Pazukhin E.M.* Lava-like fuel containing mass of the 4 Unit of the Chernobyl NPP: topography, physical and chemical properties, scenario of formation // Radiokhimiya. – 1994. – Vol. 36, № 2. – P. 97 – 142. (Rus)
2. *Bogatov S. A.* Interaction of Chernobyl NPP power Unit 4's emergency fuel with structural materials - quantitative estimates // Ob'ekt «Ukrytie» - 10 let. Osnovnye rezul'taty nauchnykh issledovaniy. - Chernobyl', 1996. - P. 112 - 127. (Rus)
3. *Zhydkov O.V.* 25 years-evolution of "Shelter" object fuel-containing materials comprehension: formation scenarios and physical considerations // Problemy bezpeky atomnykh elektrostantsiy i Chornobylya. – 2011. - Iss. 16. – P. 86 - 100. (Ukr)
4. *Vysotskij E.D., Mihajlov A.V.* Conceptual model of the "blast furnace" version of formation of nuclear-dangerous accumulation of the Chernobyl NPP unit 4 // Ibid. – 2013. - Iss. 21. – P. 99 - 106. (Rus)
5. *Krasnorutskij V.S., Jakovlev V.K., Danilov A.P. et al.* Microstructural analysis of lava-like fuel-containing masses // VAHT. Ser. FRP i RM. - 2010. - № 1. - P. 60 - 67. (Rus)
6. *Radioactive aerosols of the object "Shelter": 1986 – 2006* // В. І. Огородников, Е. М. Пазухин, А. А. Ключников. - Chernobyl': Institut problem bezopasnosti AES Natsionalnoy akademii nauk Ukrainy, 2008. - 456 p. (Rus)
7. *Borovoj A.A., Velikhov E.P.* Chernobyl experience (work on the project "Shelter"). Part 1. Moskva: HITs «Kurchatovskij institut», 2012. - 168 p. (Rus)

8. *Sivintsev Ju.V., Khrulev A.A.* Evaluation of radioactive release under Chernobyl NPP Unit 4 accident in 1986 year // *Atomnaja energija*. - 1995. - T. 78, Iss. 6. - P. 403 - 417. (Rus)
9. *Technical Bases for Estimating Fission Product Behavior During LWR Accidents*, NUREG-0772. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, June 1981.
10. *Reassessment of Technical Bases for Estimating Source Terms*. Final Report. NUREG-0956. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, July 1986.
11. *Report to the American Physical Society of the study group on radionuclide release from severe accidents at nuclear power plants* // *Reviews of Modern Physics*, Vol. 57, No.3, Part II, July 1985. P. S62 – S65.
12. *Study of radionuclide release from Chernobyl NPP Unit 4's reactor accident* / A. A. Rimskij-Korsakov, P. I. Fedotov, Ju. V. Dubasov et al. // *Trudy Radievogo instituta imeni V. G. Khlopina*. – 2009. - T. XIX. - P. 10 - 22. (Rus)
13. *United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation*. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2000. Report to General Assembly. Annex J.: Exposure and effects of the Chernobyl accident - New York: UN. - 2000. – P. 456 – 566.
14. *Scenario for verification of mathematical models using data of measurements of radioactive contamination in Korosten and Korosten district after accident at the Chernobyl NPP* / E. K. Garger, T. D. Lev, N. N. Talerko et al. // *Problemy bezpeky atomnykh elektrostansiy i Chornobylya*. - 2011. - Iss. 17. - P. 112 - 123. (Rus)
15. *Bogatov S.A., Borovoj A.A., Gavrilov S.L. et al.* Database on location of Chernobyl NPP Unit 4's nuclear fuel before and after the accident. – Moskva, 2007. – 146 p. – (Prepr. / RHTs «Kurchatovskij institut»; 130-11/2 ot 01.02.2007 g.). (Rus)
16. *The study of lava-like fuel containing materials' samples taken from different lava depth* / E. M. Pazukhin, A. A. Borovoj, A. S. Lagunenکو, F. H. Kolomiets // *Problemy Chornobylja*. - 2002. - Iss. 9. - P. 66 - 75. (Rus)
17. *Radioactive wastes of the nuclear power plants and their treatment methods* / A. A., Kliuchnykov, E. M. Pazukhin, Ju. M. Shigera, V. Ju. Shigera - Kyiv: Institut problem bezopasnosti AES Natsionalnoy akademii nauk Ukrainy, 2005. - 487 p. (Rus)

Надійшла 17.02.2015
Received 17.02.2015