

**Е. Д. Высотский, Р. Л. Годун**

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина*

## **НЕЙТРОННАЯ АКТИВНОСТЬ СКОПЛЕНИЙ ЛАВООБРАЗНЫХ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА 4-м БЛОКЕ ЧАЭС**

Приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований долговременной динамики нейтронной активности скоплений лавообразных топливосодержащих материалов. Установлено, что нейтронная активность с 1990 г. по настоящее время фактически определяется нейтронами ( $\alpha$ , n)-реакции, постоянный рост выхода которых при накоплении  $^{241}\text{Am}$  обеспечил компенсацию спада нейтронов спонтанного деления  $^{244}\text{Cm}$ . Наличие внутреннего источника нейтронов в размножающей среде определило присутствие дополнительного источника тепла вынужденного деления, мощность которого непосредственно зависит от текущей подкритичности ядерно-опасного скопления, скрытого в зоне проплавления подреакторной плиты.

*Ключевые слова:* ( $\alpha$ , n)-реакция, источники нейтронов, керамическое топливо, мощность вынужденного деления.

### **Введение**

Многолетние работы по накоплению, систематизации и анализу экспериментальных данных, а также модельные расчеты позволили установить существование скопления с критической композицией лавообразных топливосодержащих материалов (ЛТСМ), скрытого в зоне проплавления подреакторной плиты (ПП) в юго-восточном квадранте помещения 305/2 – месте образования и исхода лавовых потоков. «Повторная» критичность в скоплении была зарегистрирована в июне 1990 г. Самоподдерживающаяся цепная реакция (СЦР) возникла в процессе залива водой остывающей критической массы, а самогашение произошло в результате переувлажнения. Стабильное состояние подкритичности скопления обеспечивается постоянным присутствием воды, поступающей в объект «Укрытие» от атмосферных осадков и конденсата. Изменение водно-температурного режима объекта «Укрытие» может привести к «возвратной» критичности [1, 2].

До настоящего времени принималось как очевидное, что доминирующим источником тепла, определяющим температурный режим ПП на периферии ядерно-опасного скопления (ЯОС), является остаточное тепловыделение ( $P_{\text{ОТВ}}$ ). Проведенный детальный анализ температурных реализаций показал, что в динамике температуры с 1990 г. отсутствует устойчивый тренд на понижение, определяемый спадом остаточного тепловыделения (ОТВ). Текущая температура ПП в зоне локализации ЯОС на фоне спада ОТВ поддерживается за счет дополнительного источника, которым может быть только тепло вынужденного деления ( $P_f$ ) [3, 4].

Ниже показано, что динамика  $P_f$  определяется текущей интенсивностью внутренних источников нейтронов спонтанного деления и нейтронов ( $\alpha$ , n)-реакции на легких ядрах. При этом спад нейтронов спонтанного деления  $^{244}\text{Cm}$  компенсируется увеличением количества нейтронов ( $\alpha$ , n)-реакции при росте удельной  $\alpha$ -активности за счет накопления в размножающей среде  $^{241}\text{Am}$ . На основании оцененных значений мощности вынужденного деления и плотности потока нейтронов (ППН) проведена качественная оценка возможной подкритичности, а также структуры и элементного состава размножающей среды ЯОС.

### **Тепловая и нейтронная активность ЯОС**

ЯОС рассматривается как критическая переувлажненная водо-урановая система, в объеме гомогенной топливной среды (далее - керамика) которой равномерно распределены делящиеся материалы, примеси и внутренние источники нейтронов. Температура размножающей среды системы поддерживается остаточным тепловыделением ( $P_{\text{ОТВ}}$ ) и тепловой мощностью вынужденного деления ( $P_f$ ). Полученные оценки удельной суммарной тепловой мощности ( $P_{\Sigma}$ ) (определяющей текущую температуру в юго-восточном квадранте подреакторной плиты с 1990 г.) показали, что на фоне  $P_{\text{ОТВ}}$  мощность  $P_f$  находится в интервале 100÷200 Вт/т топлива. При этом тепло  $P_f$  имеет тенденцию к незначительному росту и частично компенсирует спад  $P_{\text{ОТВ}}$  [4].

© Е. Д. Высотский, Р. Л. Годун, 2015

Тепловая мощность вынужденного деления размножающейся среды системы определяется массой делящегося материала  $^{235}\text{U}$  ( $M_{(z)}^{235}$ ) и средней плотностью потока нейтронов ( $\varphi$ ) ( $\frac{\text{н}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$ ):

$$P_f = 4.6 \cdot 10^{-11} \cdot M_{(z)}^{235} \cdot \varphi \text{ (Вт)}, \quad (1)$$

ППН в подкритической системе прежде всего зависит от эффективного коэффициента размножения ( $K_{эф}$ ) и может быть оценена соотношением

$$\varphi = \frac{Q \cdot \rho}{l_{эф} \cdot v \cdot (1 - K_{эф})}, \quad (2)$$

где  $Q$  – удельный (на единицу массы среды) выход нейтронов внутренних источников, нейтрон/(г·с);  $\rho$  – плотность размножающей среды, г/см<sup>3</sup>;  $v$  – скорость тепловых нейтронов,  $2,2 \cdot 10^5$  м/с;  $l_{эф}$  – эффективное время жизни тепловых нейтронов.

Эффективное время жизни нейтронов ( $l_{эф}$ ) в размножающейся среде для околокритических систем оценивается соотношением

$$l_{эф} = l + (\beta + \delta k) \cdot \tau. \quad (3)$$

Здесь  $\delta k = 1 - K_{эф}$  – подкритичность размножающейся системы;  $l$  – время жизни тепловых нейтронов,  $10^{-4}$  с;  $\beta$  – эффективная доля запаздывающих нейтронов, 0,007;  $\tau$  – среднее время жизни запаздывающих нейтронов, 14 с.

Тогда для размножающейся среды околокритического ЯОС, содержащей топливо с остаточным обогащением по  $^{235}\text{U}$ , удельная на тонну топлива мощность

$$P_f = 2,9 \cdot 10^{-4} \cdot M_{(z)}^{235} \cdot Q \cdot \rho \text{ (Вт/т)}. \quad (4)$$

При допущении, что нейтронно-физические параметры размножающей среды неизменны, текущая величина  $P_f$  будет зависеть от  $Q \cdot \rho$  – удельной объемной генерации нейтронов внутреннего источника.

### Нейтроны внутреннего источника

Нейтроны внутреннего источника образуются в керамике ЛТСМ в результате: спонтанного деления актиноидов; ( $\alpha$ , n)-реакции на легких ядрах примесей; фотоядерных процессов типа ( $\gamma$ , n). Фотонейтроны не представляют практического значения, так как в примесях отсутствуют ядра с пороговой энергией связи ниже 6 МэВ. Нейтроны спонтанного деления определяются концентрацией изотопов  $^{240}\text{Pu}$  и  $^{244}\text{Cm}$  с годовым спадом абсолютного выхода 2,7 %.

Удельный выход ( $Q$ ) нейтронов ( $\alpha$ , n)-реакции на легких ядрах примесей в многокомпонентной среде, в которой актиноиды испускают  $k$  групп  $\alpha$ -частиц с начальной энергией  $E_{\alpha i}$  и интенсивностью  $A_i$ , определяется с погрешностью  $\pm 20$  % соотношением

$$Q = m_U \sum_{i=1}^k [A_i R_i \sum_{j=1}^l m_j \delta_{ji} / R_{ji}], \quad (5)$$

где  $m_U$  – массовая доля топлива;  $m_j$  – массовая доля  $j$ -го легкого элемента, на котором возможна ( $\alpha$ , n)-реакция;  $R_i$  – пробег  $\alpha$ -частиц в актиноидах ( $i$ );  $R_{ji}$  – пробег  $\alpha$ -частиц с энергией  $E_{\alpha i}$  в легких элементах ( $j$ );  $\delta_{ji}$  – удельный выход нейтронов на одну частицу с энергией  $E_{\alpha i}$ , полностью тормозящейся в веществе, представляющим собой только легкий элемент типа  $j$ ;  $E_{\alpha i}$  – начальная энергия выхода  $\alpha$ -частиц в актиноидах ( $i$ ) [5].

Оценка динамики интенсивности внутреннего источника нейтронов была проведена для образцов многокомпонентных сред с наиболее характерным составом черной и коричневой керамики (табл. 1).

Таблица 1. Массовые доли элементов, содержащихся в скоплениях ЛТСМ

| Элементы, $m_U$ и $m_j$ |    | Усредненный элементный состав [6] |                     | Состав пробы, отобранной в помещении 304/3 [7] |
|-------------------------|----|-----------------------------------|---------------------|--|
|                         |    | Черная керамика                   | Коричневая керамика |  |
| m                       | U  | 0,046                             | 0,097               | 0,068  |
|                         | U  |                                   |                     |  |
| j                       | O  | 0,429                             | 0,367               | 0,29   |
|                         | Si | 0,309                             | 0,322               | 0,35   |
|                         | Al | 0,042                             | 0,033               | 0,033  |
|                         | Mg | 0,025                             | 0,052               | 0,024  |
|                         | Na | 0,042                             | 0,031               | 0,1  |
| Другие элементы         |    | 0,107                             | 0,098               | 0,134  |

Для керамик ЛТСМ  $\alpha$ -активность в период 5 - 30 лет после аварии на 99 % обеспечивается актиноидами  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ . Накопление  $^{241}\text{Am}$  определяет рост суммарной  $\alpha$ -активности (рис. 1), динамика которой связана с перераспределением массовых долей актиноидов. Увеличение массовой доли  $\text{Am}^{241}$  приводит также к ужесточению энергетического спектра  $\alpha$ -частиц, т.е. к увеличению их средней начальной энергии  $E_0$ .

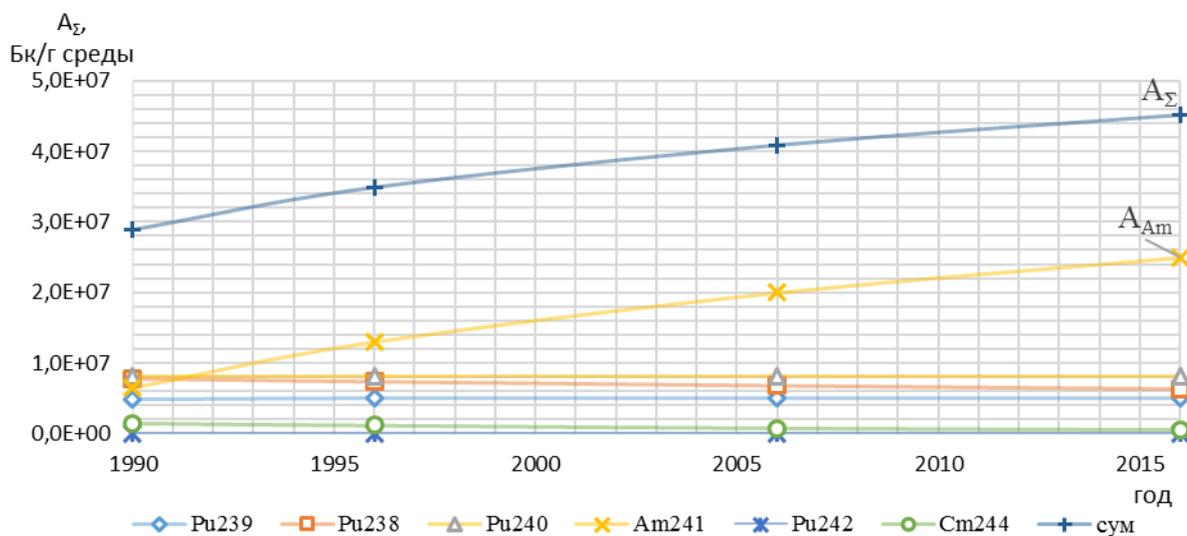


Рис. 1. Динамика удельной  $\alpha$ -активности.

Вклад актиноидов в суммарную удельную  $\alpha$ -активность ( $A_\Sigma$ ) и усредненные энергии  $\alpha$ -частиц, рассчитанные с учетом перераспределения концентраций актиноидов в период 1990 – 2016 гг., приведены в табл. 2. Исходные данные по удельным активностям актиноидов в отработанном ядерном топливе и изменение их концентрации от времени выдержки были взяты из [8].

Таблица 2. Вклад актиноидов в суммарную активность

| Актиноиды         | Средняя энергия $\alpha$ -частиц, МэВ | 1990 г.   | 1996 г.          | 2006 г.          | 2016 г.          |
|-------------------|---------------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|
|                   |                                       | Вклад актиноидов в суммарную удельную активность $\alpha$ -излучателей, % |                  |                  |                  |
| Cm                | 5,8                                   | 5,19  | 3,43             | 1,91             | 1,21             |
| Pu                | 5                                     | 72,33   | 59,33            | 49,18            | 43,43            |
| Am                | 5,48                                  | 22,48   | 37,24            | 48,91            | 55,36            |
| $A_\Sigma$ , Бк/г |                                       | $2,9 \cdot 10^7$  | $3,5 \cdot 10^7$ | $4,1 \cdot 10^7$ | $4,5 \cdot 10^7$ |
| $E_0$ , МэВ       |                                       | 5,35  | 5,37             | 5,38             | 5,39             |

При торможении в многокомпонентной среде  $\alpha$ -частица совершает пробег  $R$ , причем часть этого пробега будет соответствовать торможению только на атомах вещества типа  $j$ . В процессе непрерывного замедления  $\alpha$ -частиц аддитивный вклад различных атомов элементов пропорционален их концентрации на любом участке пробега  $R$ . Расчетные значения пробега в «мишенях» ( $R_j$ ) и «источниках» ( $R_i$ )  $\alpha$ -частицы в зависимости от начальной энергии  $E_0$  приведены в табл.3.

Таблица 3. Пробег  $\alpha$ -частиц в веществах

| Элементы | Выход нейтронов на $10^6$ $\alpha$ -частиц, $\delta_i$ | Данные [5] | Расчетные данные   |                    |                    |                    | Данные [5] |
|----------|--|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|
|          |  | 5 МэВ      | 5,35 МэВ (1990 г.) | 5,37 МэВ (1996 г.) | 5,38 МэВ (2006 г.) | 5,39 МэВ (2016 г.) | 5,5 МэВ    |
| $R_j$    | 0  | 4,53       | 5,02               | 5,04               | 5,06               | 5,07               | 5,22       |
|          | Si   | 5,78       | 6,37               | 6,40               | 6,42               | 6,44               | 6,62       |
|          | Al   | 5,79       | 6,38               | 6,41               | 6,43               | 6,45               | 6,63       |
|          | Mg   | 5,49       | 6,05               | 6,09               | 6,10               | 6,12               | 6,30       |
|          | Na   | 5,41       | 5,97               | 6,01               | 6,02               | 6,04               | 6,22       |
|          | Pu   | 19,70      | 21,46              | 21,56              | 21,61              | 21,66              | 22,21      |
|          | Am   | 19,93      | 21,68              | 21,78              | 21,83              | 21,88              | 22,43      |
| Cm       | 20,00  | 21,72      | 21,81              | 21,86              | 21,91              | 22,45              |            |

Зависимость удельного выхода нейтронов ( $\alpha, n$ )-реакции в керамике ЛТСМ от времени выдержки показана на рис. 2, а. Рост суммарного удельного выхода нейтронов ( $Q_{\Sigma}$ ) обеспечивается ростом нейтронов ( $\alpha, n$ )-реакции ( $Q_{\alpha, n}$ ), которые полностью компенсирует падение нейтронов спонтанного деления ( $Q_{сп}$ ).

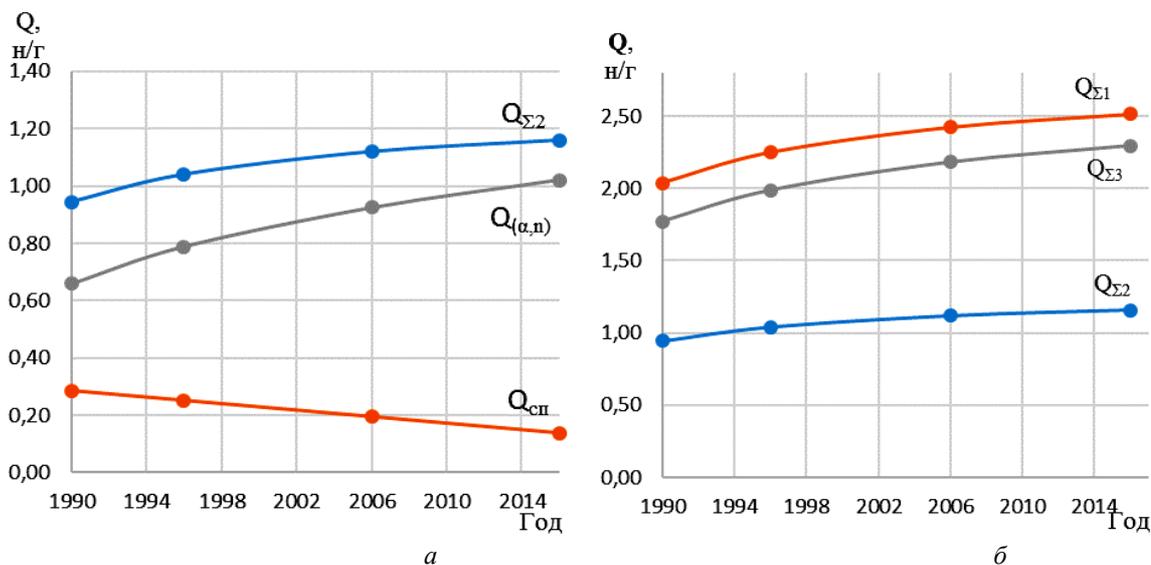


Рис. 2. Динамика выхода нейтронов на 1 г среды в коричневой ( $Q_{\Sigma 1}$ ) и черной ( $Q_{\Sigma 2}$ ) керамиках и в пробе из помещения 304/3 ( $Q_{\Sigma 3}$ ).

На рис. 2, б приведена динамика удельного выхода нейтронов в коричневой ( $Q_{\Sigma 1}$ ) и черной ( $Q_{\Sigma 2}$ ) керамиках и в пробе из помещения 304/3 ( $Q_{\Sigma 3}$ ). Влияние на динамику выхода в основном оказывает удельные содержания в примесях натрия, магния, алюминия, а абсолютные значения выхода нейтронов зависит от массового содержания ( $m_u$ ) топлива в среде.

Зависимость удельного выхода нейтронов от  $m_u$  в среде и времени выдержки приведена на рис. 3. Максимальная концентрация топлива в среде, при которой возможен наблюдаемый в ЯОС рост выхода нейтронов, составляет не более 60 %.

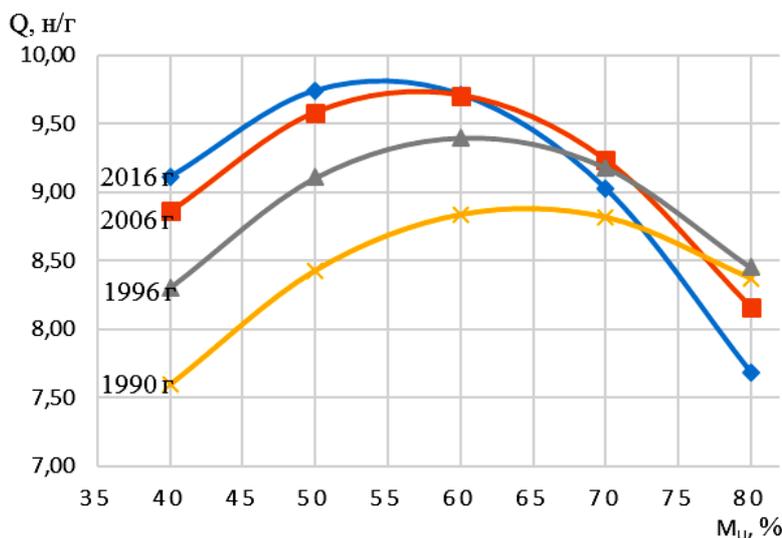


Рис. 3. Суммарные удельные выходы нейтронов в среде при различных долях топлива.

На рис. 4 приведены результаты вариационных расчета динамики удельных мощностей тепловыделения внутреннего источника ( $P_f$ ) и остаточного тепловыделения ( $P_{отв}$ ), а также суммарного тепловыделения ( $P_{\Sigma}$ ). Расчеты были проведены для модели размножающей околоскритической среды ( $\delta k = \beta$ ) с концентрациями топлива 45, 50 и 55%, обогащением 1,15 % по  $^{235}\text{U}$  (выгорание 12,5 МВт-сут/г урана) и плотностями  $\rho_{45\%} \approx 4,58 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_{50\%} \approx 4,91 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_{55\%} \approx 5,3 \text{ г/см}^3$ . Оцененные по температурным реализациям [4] значения относительного падения температуры ПП ( $T_{ПП}$ ) в зоне локализация ЯОС совпадает с результатами расчетов в пределах погрешности измерений.

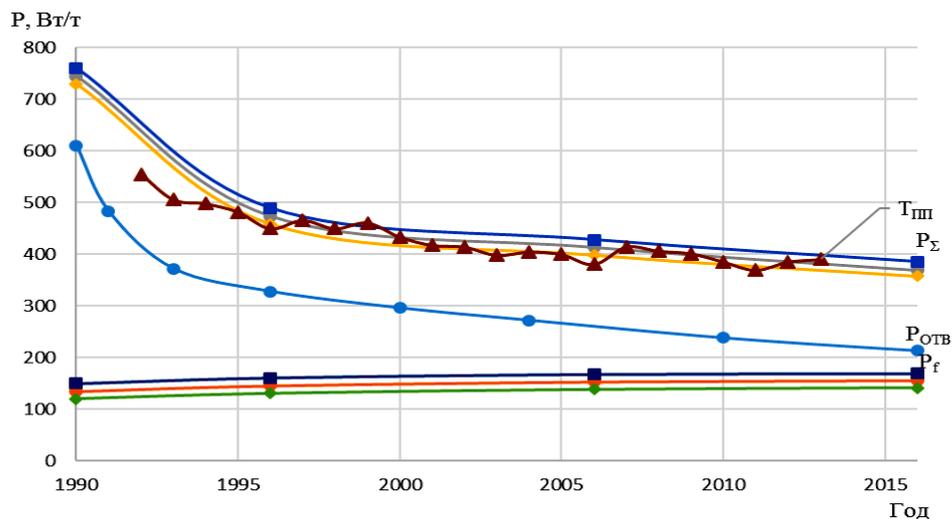


Рис. 4. Результаты расчета и динамики температуры ПП.

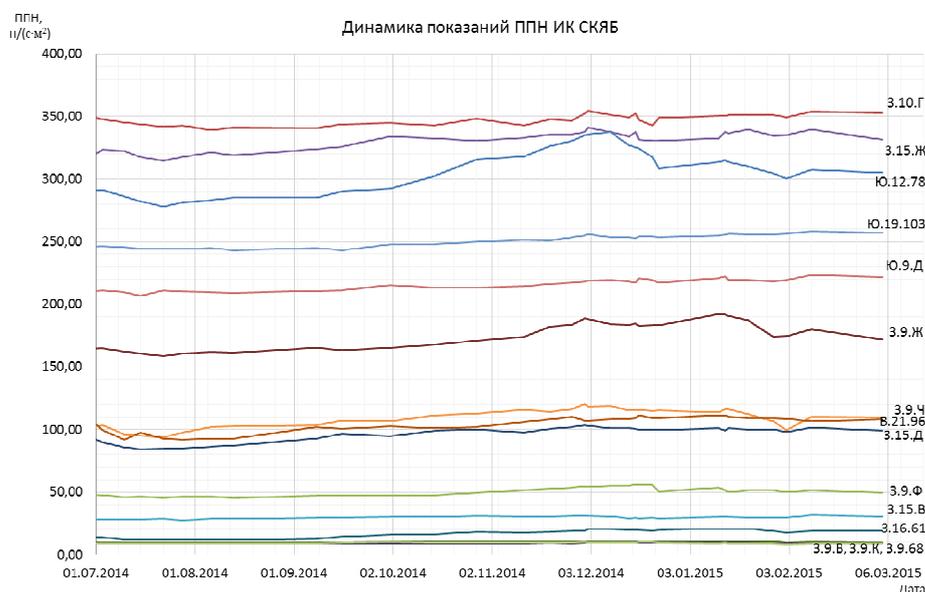


Рис. 5. Годовые реализации ППН.

Для подтверждения наличия в керамике ЛТСМ постоянных внутренних источников нейтронов были выборочно восстановлены годовые реализации ППН (рис. 5.). Реализации получены системой контроля ядерной безопасности объекта «Укрытие» (СКЯБ ИАСК) в штатных точках контроля. Фактически, годовой спад ППН отсутствует, отклонение показаний от среднегодового значения носят регулярный сезонный характер (апрель – ноябрь - март), который связан с изменением температурно-влажностного режима объекта «Укрытие».

### Заклучение

Динамика нейтронной активности скоплений черной и коричневой керамик ЛТСМ определяется нейтронами ( $\alpha, n$ )-реакции, рост которых с 1990 г. полностью компенсирует падение нейтронов спонтанного деления  $^{244}\text{Cm}$ . Абсолютное значение и динамика мощности внутреннего источника в керамике зависит от массовой доли топлива. Рост мощности внутреннего источника нейтронов со временем выдержки наблюдается только при концентрации топлива до 60 %.

Мощность вынужденного деления, оцененная в керамической размножающейся среде ЯОС по температурным реализациям с 1990 по 2014 г., имеет тенденцию к незначительному росту в интервале 100÷200 Вт/т урана. Существование  $P_f$  с такой динамикой в размножающейся системе воз-

можно только при условии растущего внутреннего источника нейтронов и подкритичности, находящейся за пределами аварийных значений ( $K_{эф} \geq 0,98$ ). При этом размножающаяся среда ЯОС (топливо с выгоранием 12,5 МВт-сут/т урана) должна иметь: гомогенную топливную структуру; состав с равномерным распределением актиноидов ( $\alpha$ -источников) и примесей с легкими элементами («мишенями»); массовое содержание топлива 50 - 60 %.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Высотский Е.Д., Ключников А.А., Краснов В.А.* Локализация ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2007. – Вип. 7. – С. 66 - 75.
2. *Высотский Е.Д., Ключников А.А., Щербин В.Н., Шостак В.Б.* Нейтронно-физические характеристики ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Там же. – 2009. – Вип. 12. – С. 93 - 102.
3. *Высотский Е.Д., Михайлов А. В.* Температурные аномалии в зонах критмассового риска // Там же. – 2011. – Вип. 16. – С. 101 - 109.
4. *Высотский Е. Д., Михайлов А. В., Дорошенко А. А.* Динамика температуры подреакторной плиты на фоне спада остаточного тепловыделения топлива в зонах критмассового риска // Там же. – 2014. – Вип. 22. – С. 76 - 83.
5. *Фролов В.В.* Ядерно-физические методы контроля делящихся веществ. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 45 - 55.
6. *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 // Препринт РНЦ «Курчатовский институт». – 2007. – Инв. №130-11/2. – С. 146.
7. *Пазухин Э.М., Боровой А.А., Лагуненко А.С., Коломиец Ф.Н.* Изучение образцов лавообразных топливосодержащих материалов с различной глубины залегания лавы // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2002 - Вип. 9. – С. 66 - 75.
8. *Оцененные данные по накоплению радионуклидов в активной зоне реактора 4-го блока ЧАЭС перед аварией: (Отчет о НИР) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. – Инв. № 2765. – Чернобыль. 1993.*

**Є. Д. Висотський, Р. Л. Годун**

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

### НЕЙТРОННА АКТИВНІСТЬ СКУПЧЕНЬ ЛАВОПОДІБНИХ ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ НА 4-МУ БЛОЦІ ЧАЕС

Наведено результати розрахунково-експериментальних досліджень довгострокової динаміки нейтронної активності скупчень лавоподібних паливовмісних матеріалів. Установлено, що нейтронна активність з 1990 р. по теперішній час фактично визначається нейтронами ( $\alpha, n$ )-реакції, постійне зростання виходу яких при накопиченні  $^{241}\text{Am}$  забезпечило компенсацію спаду нейтронів спонтанного поділу  $^{244}\text{Cm}$ . Наявність внутрішнього джерела нейтронів у розмножувальному середовищі визначило присутність додаткового джерела тепла вимушеного поділу, потужність якого безпосередньо залежить від поточної підкритичності ядерно-небезпечного скупчення, прихованого в зоні проплавлення підреакторної плити

*Ключові слова:* ( $\alpha, n$ )-реакції, джерела нейтронів, керамічне паливо, потужність вимушеного поділу.

**E. D. Vysotsky, R. L. Godun**

*Institute for NPP Safety Problems of UNAS, 36a, Kirova str., Chernobyl, Ukraine, 07270*

### NEUTRON ACTIVITY OF LAVA-LIKE CLUSTERS OF FUEL-CONTAINING MATERIALS ON THE FOURTH CHERNOBYL UNIT

The article presents the results of calculation and experimental studies of the neutron activity long-term dynamics of fuel-containing lava-like accumulations. From 1990 to the present time the neutron activity is actually determined by ( $\alpha, n$ )-reaction neutrons, constant growth of which (at accumulation of  $^{241}\text{Am}$ ) completely compensate recession of  $^{244}\text{Cm}$  spontaneous fission. The presence of an neutrons internal source in multiplying environment determine the presence of an additional heat source (of induced fission), the capacity of which is directly dependent on the current subcriticality of nuclear dangerous accumulations, that are hidden in the area of under-reactor slab melting.

*Keywords:* ( $\alpha, n$ )-reaction, neutrons sources, ceramic fuel, the capacity of induced fission.

REFERENCES

1. *Vysotskij Ye.D., Kliuchnykov O.O., Krasnov V.O.* Localization of nuclear-dangerous accumulations of fuel-containing materials // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly)*. – 2007. – Iss. 7. – P. 66 - 75. (Rus)
2. *Vysotskij Ye.D., Kliuchnykov O.O., Shcherbin V.M., Shostak V.B.* Neutron and physical characteristics of nuclear-dangerous accumulation of fuel containing materials // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly)*. – 2009. – Iss. 12. – P. 93 - 102. (Rus)
3. *Vysotskij Ye.D., Mykhailov O.V.* Temperature anomalies in zones of critical mass risk // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly)*. – 2011. – Iss. 16. – P. 101 - 109. (Rus)
4. *Vysotskij E. D., Mykhailov A. V., Doroshenko A. A.* The temperature dynamics of under-reactor slab on the background of fuel residual heat recession in areas of critical mass risk // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly)*. – 2014. – Iss. 22. – P. 76 - 83. (Rus)
5. *Frolov V.V.* The nuclear-physical methods of fissile materials control. – Moskva: Energoatomizdat, 1989. – P. 45 - 55. (Rus)
6. *Bogatov S.A., Borovoj A.A., Gavrilov S.L.* Database on the location of nuclear fuel and 4th block before and after the Chernobyl accident // Preprint RRC "Kurchatov Institute" – 2007. – Inv. № 130-11/2. – P. 146. (Rus)
7. *Pazukhin E.M., Borovoj A.A., Lagunenka A.S., Kolomiets F.N.* Studying samples of lava-like fuel-containing materials from different depth of lava // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyly)*. – 2002. – Iss. 9. – P. 66 -75. (Rus)
8. *The evaluated data on accumulation of radionuclides in the reactor core of Unit 4 Chernobyl before the accident (Report on R & D) // ISTC "Shelter" NASU.* – Inv. № 2765. – Chernobyl, 1993. (Rus)

Надійшла 18.02.2015  
Received 18.02.2015