

В. Б. Шостак, А. А. Ключников

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

АНАЛИЗ МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩЕЙ СОСТОЯНИЯ ЯДЕРНО-ОПАСНОГО СКОПЛЕНИЯ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ОБЪЕКТЕ «УКРЫТИЕ»

Предложен и проанализирован непротиворечивый вариант модели описания динамики развития и гашения нейтронной аномалии, зарегистрированной в 1990 г. в зоне проплавления подреакторной плиты (ПП) шахты реактора в юго-восточной части подреакторного помещения 305/2 объекта «Укрытие». Анализ выполнен с учетом недостаточной определенности в положении верхнего уровня объема, заполненного топливосодержащими материалами (ТСМ) с большими массовыми долями топлива (БМДТ) в зоне проплавления ПП.

Ключевые слова: топливосодержащие материалы, нейтронная аномалия, критичность.

Результаты расчетов, представленные в работе [1], показали наличие двух значений критичности в процессе заполнения водой объема критмассовой зоны (КМЗ) [2], значения пространственных и массовых параметров которого находятся в диапазонах величин, близких к их значениям, которые были получены в результате измерений непосредственно на объекте «Укрытие» или при исследовании образцов ТСМ в лабораторных условиях (далее – наблюдаемые значения параметров), или в обоснованно предполагаемых диапазонах их возможных величин.

Предложенная в работах [1, 3 - 7] и использованная в расчетах этих работ модель описания динамики развития и самогашения нейтронной аномалии, зарегистрированной в 1990 г., предполагает ударное заполнение атмосферными осадками объема КМЗ. Поэтому пустоты во всем объеме ячеистой структуры ТСМ с БМДТ все одновременно заполнялись водой. При этом имелось в виду, что верхний уровень объема ТСМ с БМДТ определен возможным верхним уровнем постоянного заполнения водой в зоне проплавления ПП, так как периодически в этой зоне помещения 305/2 фиксируется сток через скважины 3-9-Е, 3-9-Ж и 3-9-К подогретой воды. Такое заполнение пустот могло быть реализовано в период с 19 июня по 3 июля 1990 г. с учетом того, что за неделю перед этим выпала месячная норма осадков. Но эта модель и ее описание предполагают отсутствие воды в объеме ячеистой структуры ТСМ с БМДТ в июле 1990 г. Если же вода могла поступать туда от неударного пополнения атмосферными осадками, конденсатом и от растворов системы пылеподавления, то его ячеистая структура должна была заполняться водой, равномерно начиная с нижних уровней этого объема.

Таким образом, если бы тепловой барьер безопасности ТСМ с БМДТ перестал существовать не позже чем за два месяца до нейтронной аномалии, то ко времени ее возникновения в ТСМ с БМДТ не осталось бы пустых ячеек, не заполненных водой.

В процессе развития нейтронной аномалии после более чем 60-кратного увеличения счета детектора нейтронов (ДН) по отношению к фону и после залива двумя порциями 1 %-ного раствора азотнокислого гадолиния произошел возврат счетности к уровню фона. Это послужило единственным аргументом, обосновывающим, в рамках этой модели [4, 5], самогашение нейтронной аномалии из-за одновременного заполнения водой пустоты во всем объеме ячеистой структуры ТСМ с БМДТ без учета роли гадолиния. Но заполнение водой пустот (~50 % объема ТСМ с БМДТ) должно заметно смягчить спектр нейтронов, как внутри этого объема, так и в окружающем его бетоне. Следовавший за этим рост поглощения нейтронов должен быть количественно точно скомпенсирован соответствующим ростом их генерации, обусловленной ростом эффективного коэффициента размножения ($k_{эф}$), для того чтобы произошел возврат счетности к уровню фона в рамках этой модели.

Необходимость выполнения условий, изложенных в двух последних абзацах, заметно снижает вероятность реализации этой модели.

В настоящей работе рассмотрен вариант модели описания динамики развития и гашения нейтронной аномалии, зарегистрированной в 1990 г., когда к моменту возникновения нейтронной аномалии объем проплавления ПП был полностью заполнен водой, уровень которой находился на отметке +9,100. Расчеты $k_{эф}$ проводились на программном комплексе решения задач переноса нейтро-

нов методом Монте-Карло в трехмерных материальных системах MNCP-4A в рамках вышеуказанных моделей.

Модельные параметры, обеспечивающие две критичности

В работе [1], в рамках описанных выше моделей, выполнены многовариантные расчеты величины $k_{эф}$ при различных наборах значений следующих модельных параметров объема с БМДТ:

- массовой доли топлива в ТСМ ($m_U^{\%}$);
- процентного содержания изотопов ^{235}U ($m_{235}^{\%}$);
- доли пустот в ТСМ, доступных для заполнения водой;
- процент заполнения пустот в ТСМ водой; величины грани кубической ячейки (гетероген);
- радиуса цилиндра ($R_{ц}$) (максимального сечения, усеченного шара, максимального сечения усеченного эллипсоида), содержащего скопление ТСМ с БМДТ;
- температуры ТСМ;
- пространственного расположения объема ТСМ с БМДТ.

Расчеты показали [1], что в рамках величин наблюдаемых параметров пространственное расположение, вид обоснованной формы (цилиндр, усеченный шар, усеченный эллипсоид) и температура объема с БМДТ значимого влияния на величину $k_{эф}$ не оказывают. Поэтому и в работе [1], и в данной работе в процессе расчетов используется геометрия цилиндра.

Как показывают расчеты, в случае отсутствия воды представленную моделью скопление глубоко подкритично ($k_{эф} < 0,5$). И, очевидно, сухие ТСМ не вносят существенного вклада в формирование $k_{эф}$ всей среды, представленной в модели. Поэтому в работе [1] высота цилиндра, содержащего ТСМ с БМДТ ($H_{ц}$), была выбрана в соответствии с уровнем воды, которая удерживается на отметке +9.100 (уровне проходок скважин 3-9-Е, 3-9-Ж и 3-9-К). Тогда в пределах ограничений, задаваемых фактическими условиями существования скопления ТСМ с БМДТ, наиболее определенной величиной является $H_{ц} \sim 90$ см.

Расчеты также показали, что при любых $R_{ц} \leq 200$ см $k_{эф}$ практически неизменно в районе рассматриваемого КМЗ, если неизменны значения других модельных параметров объема ТСМ с БМДТ.

Поэтому и в работе [1], и в данной работе в расчетах использовалась величина $R_{ц} = 200$ см, там, где это отдельно не оговорено.

Возможность наличия или отсутствия двух значений критичности в процессе заполнения водой объема КМЗ характеризуют две степени заполнения водой объема ТСМ: заполнение объема водой, при котором достигаются наибольшие значения запаса реактивности критической массы топлива, и полное заполнение всех пустот этого объема.

В работе [1] исследовано поведение зависимости величины $k_{эф}$ от величины грани ячейки кубической решетки, при двух вышеуказанных степенях заполнения водой объема ТСМ, для различных величин $m_U^{\%}$, $m_{235}^{\%}$ и различных долей пустот в ТСМ (различных плотностей ТСМ), доступных для заполнения водой. Показано, что при изменении этих трех параметров формы зависимостей величины $k_{эф}$ от величины грани ячейки значимых изменений не претерпевают, но существенно изменяются абсолютные величины $k_{эф}$ [1].

На рис. 1, б – м представлены результаты таких расчетов зависимостей величины $k_{эф}$ от величины грани ячейки кубической решетки при двух вышеуказанных степенях заполнения водой объема ТСМ с БМДТ, имеющего различные величины трех указанных параметров: $m_U^{\%}$, $m_{235}^{\%}$ и доли пустот в ТСМ с БТСМ, доступных для заполнения водой. Сплошные кривые на рисунках соответствуют заполнению объема водой, при котором достигаются наибольшие значения запаса реактивности критической массы топлива. Штриховые кривые соответствуют полному заполнению всех пустот этого объема.

Расчеты выполнены и представлены для трех значений $m_{235}^{\%}$ - 0,89, и 1,15 % и из уравнения (2) [1]. Как показали результаты анализа проб, черная керамика имеет выгорание $(12,5 \pm 0,5)$ МВт \times сут/кг (U) [8, 9], что соответствует $m_{235}^{\%} = 0,89$ % [10]. Но имеются основания предполагать, что ТСМ с БМДТ имеют большую величину $m_{235}^{\%}$ [1, 11].

На рис. 1 представлены те результаты расчетов, которые или полностью, или в достаточной мере согласуются с рассматриваемой в работе [1] моделью описания динамики развития и самогашения нейтронной аномалии.

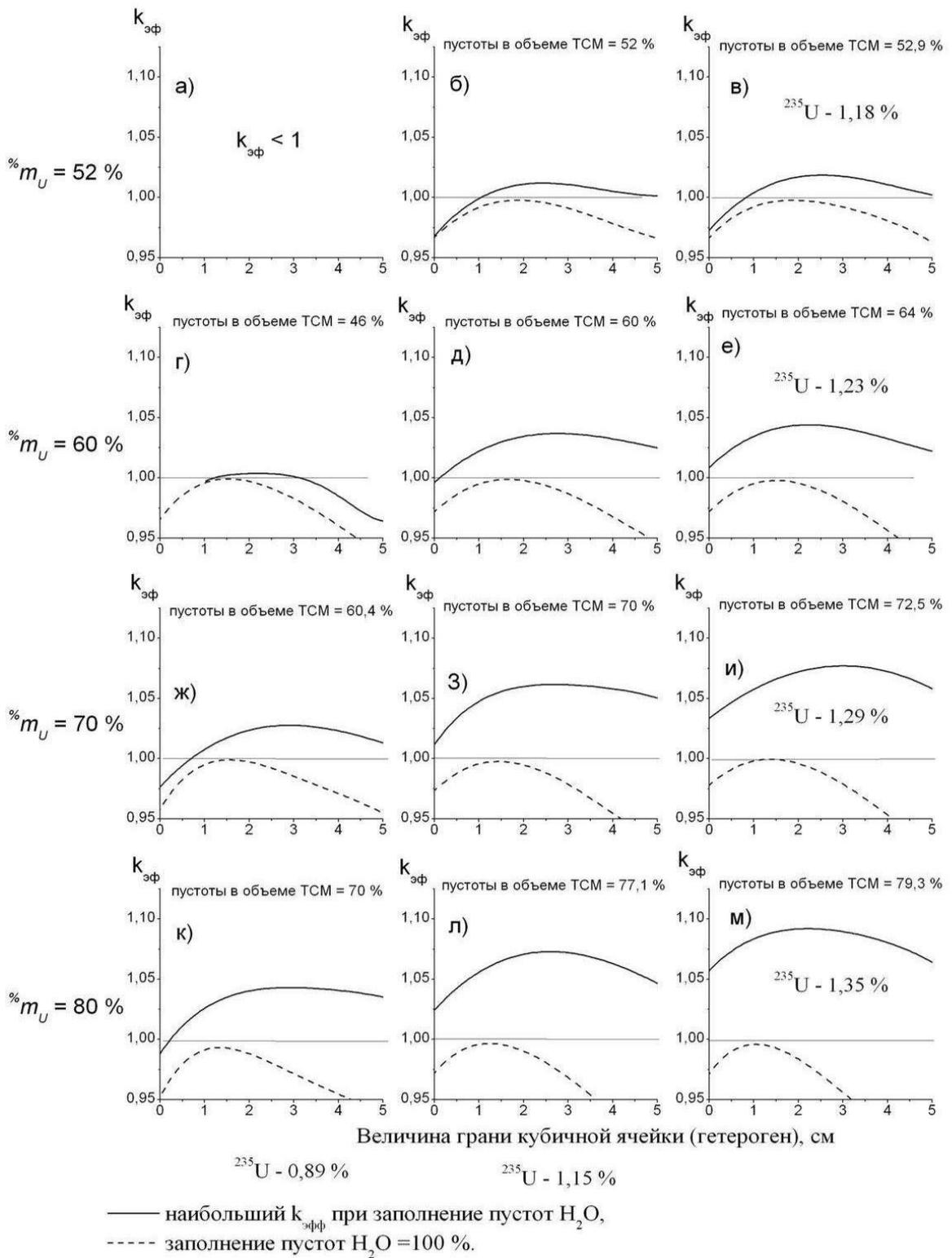


Рис. 1. Зависимости $k_{эфф}$ от величин грани ячейки в области $k_{эфф} \approx 1$ при разных величинах пустот в объеме ТСМ (%) и $H_{ц} = 90$ см.

Новый вариант модели описания динамики развития и самогашения нейтронной аномалии

С определенной вероятностью некоторая часть ТСМ, расположенная выше отметки +9.100, также имеет высокое содержание топлива. Например, цилиндрический слой ТСМ высотой 20 см, расположенный ниже отметки +9.300 (уровень пола помещения 304/3). В настоящее время этот слой не вносит заметного вклада в формирование величины $k_{эф}$, так как происходит сток через скважины 3-9-Е, 3-9-Ж и 3-9-К. А как показывают расчеты, в случае отсутствия воды, представленное моделью скопление глубоко подкритично ($k_{эф} < 0,5$).

Достаточно вероятным представляется, что все пустоты структуры скопления ТСМ с БМДТ в зоне проплавления ПП, расположенные ниже отметки +9.100, уже были полностью заполнены водой до момента возникновения нейтронной аномалии, как в настоящее время. В этом случае при ударном заполнении атмосферными осадками (месячная норма в течение трех дней) ячеистой структуры пустот цилиндрического слоя ТСМ высотой 20 см, который расположен выше отметки +9.100, но ниже отметки +9.300, может полностью или частично одновременно заполняться водой. Тогда объемная доля воды в пустых ячейках этого слоя будет изменяться от нуля до полного заполнения жидкостью всей пористости, как и в ранее рассмотренном варианте модели для всего объема ТСМ с БМДТ в работе [1]. Это будет обусловлено незначительной скоростью прохождения воды сквозь пористую структуру ТСМ и большой площадью сбора воды (в поперечнике более 6 м).

Для исследования этого варианта модели описания динамики развития нейтронной аномалии были выполнены расчеты, аналогичные тем, результаты которых представлены на рис. 1. Новизна этих расчетов заключается в следующем:

- 1) использовалась величина $H_{ц} = 110$ см. Нижняя часть цилиндра ТСМ с БМДТ высотой 90 см - это цилиндр, использованный при получении результатов, представленных на рис. 1. Пустые ячейки этой нижней части цилиндра постоянно заполнены водой;
- 2) только в верхней части цилиндра ТСМ с БМДТ высотой 20 см объемная доля воды в пустых ячейках изменялась от нуля до полного их заполнения;
- 3) гашение нейтронной аномалии могло произойти после залива 1 %-ного раствора азотно-кислого гадолиния, который вытек через скважины после окончания залива [12];
- 4) гашение нейтронной аномалии могло произойти после того, как через скважины вытекла вода из ячеистой структуры пустот цилиндрического слоя ТСМ высотой 20 см, который расположен выше отметки +9.100.

В рамках этих условий выполнены расчеты, результаты которых представлены на рис. 2. Рассчитаны зависимости величины $k_{эф}$ от величины грани ячейки кубической решетки, при двух степенях заполнения водой пустых ячеек верхней части цилиндра ($H_{ц} = 20$ см) ТСМ с БМДТ и при трех различных величинах параметров всего цилиндра ($H_{ц} = 110$ см) с ТСМ с БМДТ: $mU^{\%}$, $m_{235}^{\%}$ и доли пустот в ТСМ с БМДТ, доступных для заполнения водой. При этом в нижней части цилиндра с ТСМ с БМДТ высотой 90 см пустые ячейки постоянно и полностью заполнены водой.

Сплошные кривые на рисунках соответствуют такой степени равномерного заполнения водой пустых ячеек верхней части цилиндра ($H_{ц} = 20$ см), при котором достигаются наибольшие значения запаса реактивности критической массы топлива. Пунктирные кривые соответствуют полному заполнению всех пустот объема ТСМ с БМДТ. Штриховые кривые на рис. 2 соответствуют случаю, когда только в нижней части цилиндра с ТСМ с БМДТ высотой 90 см находится вода, а ее пустые ячейки полностью заполнены водой, как и на рис. 1. Параметры, использовавшиеся в процессе расчетов, представлены на соответствующих рисунках (на рис. 1 параметры те же).

Из результатов расчетов, приведенных на рис. 5 – 8 в работе [1], следует, что реализация нового варианта модели описания динамики развития нейтронной аномалии возможна также и при более высоких средних плотностях ТСМ с БМДТ в сравнении с плотностями, которые соответствуют случаям, представленным на рис. 1 и 2.

Для исследования нового варианта модели описания динамики развития нейтронной аномалии при этих более высоких плотностях ТСМ с БМДТ были выполнены расчеты, аналогичные тем, результаты которых представлены на рис. 2; они представлены на рис. 3, обозначения те же, что и на рис. 1 и 2. Параметры, использовавшиеся в процессе расчетов, представлены на соответствующих рисунках.

Из анализа результатов, представленных на рис. 2, трудно предположить, что самогашение произошло в результате переувлажнения, а из анализа результатов, представленных на рис. 3, следу-

ет, что самогашение в результате переувлажнения не могло произойти в принципе. Но в обоих случаях гашение могло произойти после залива 1 %-ного раствора азотнокислого гадолиния или после того, как через скважины вытекла вода из ячеистой структуры пустот цилиндрического слоя ТСМ, который расположен выше отметки +9.100.

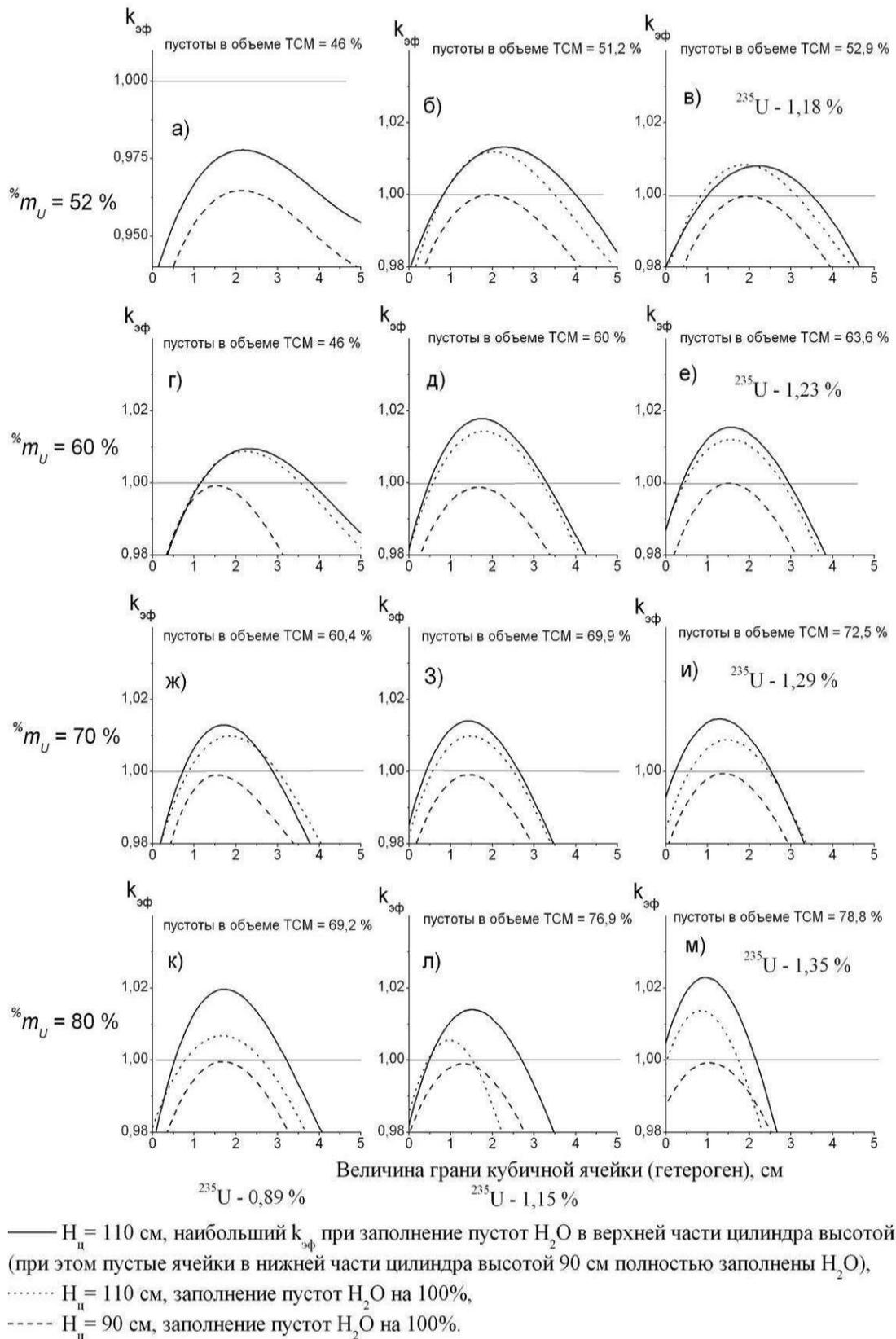
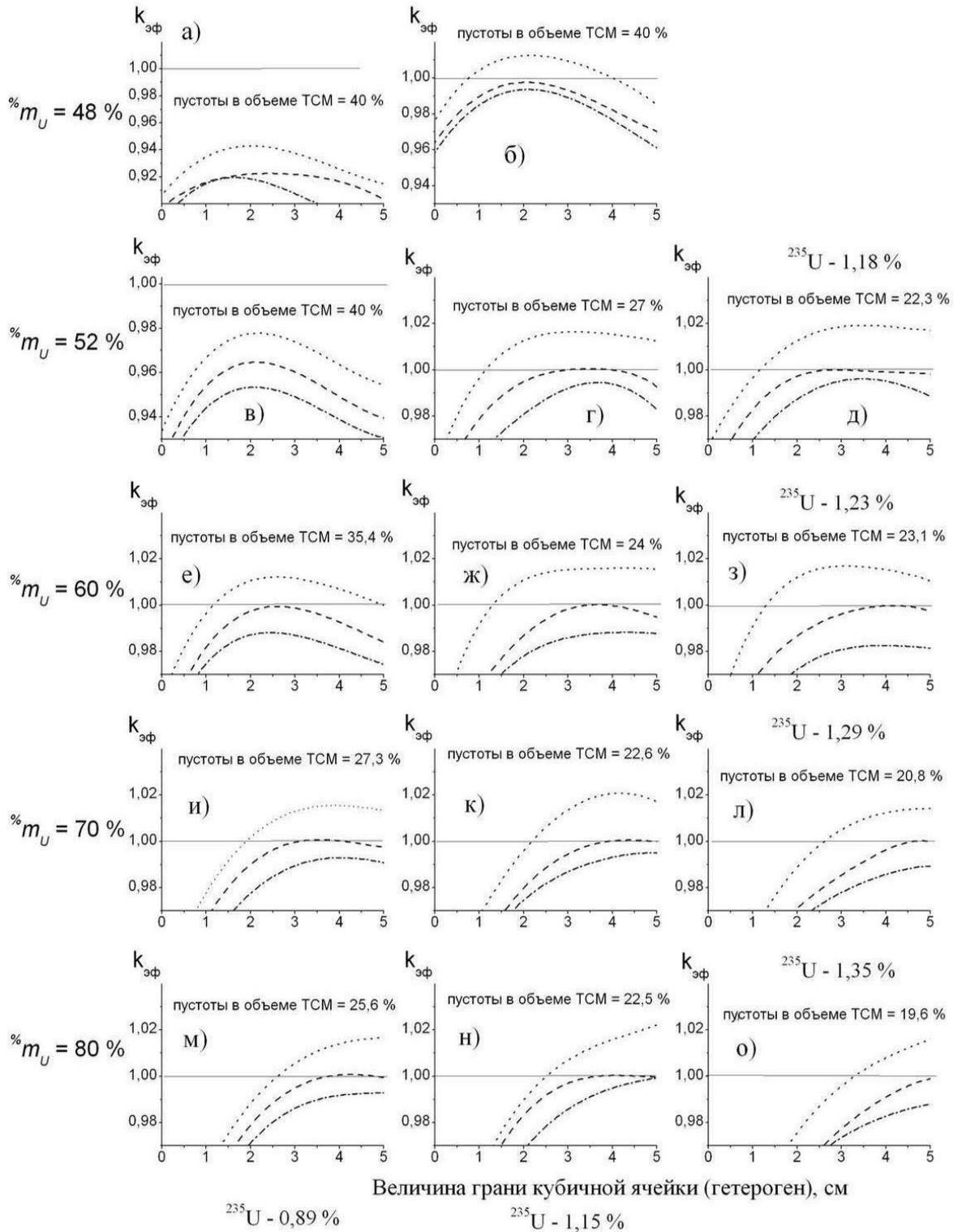


Рис. 2. Зависимости $k_{эф}$ от величин грани ячейки в области $k_{эф} \approx 1$ при разных величинах пустот в объеме ТСМ (%).



----- $H_{\text{II}} = 90$ см; заполнение пустот 100 % H_2O ,
 $H_{\text{II}} = 110$ см; заполнение пустот 100 % H_2O ,
 - - - - - $H_{\text{II}} = 110$ см: заполнение пустот 100 %: H_2O в нижней части цилиндра высотой 90 см,
 1 %-ный раствор азотнокислого гадолиния в верхней части цилиндра высотой 20 см.

Рис. 3. Зависимости $k_{\text{эф}}$ от величин грани ячейки в области $k_{\text{эф}} \approx 1$ при разных величинах пустот в объеме TCM (%).

Были выполнены расчеты, аналогичные представленным на рис. 2 и 3, с использованием тех же параметров, но при замене в верхней части цилиндра TCM с БМДТ высотой 20 см воды на 1 %-ный раствор азотнокислого гадолиния. Во всех этих случаях $k_{\text{эф}}$ был меньше 1. Т.е. должно было

произошли гашение нейтронной аномалии. И при этом нельзя утверждать, что гадолиний заблокировал тепловые нейтроны только в районе их утечки [5], так как его раствор протек через весь массив верхней части цилиндра ТСМ с БМДТ высотой 20 см к устьям скважин 9-Е, 3-9-Ж и 3-9-К. Результаты расчетов, выполненных после замены воды на 1 %-ный раствор азотнокислого гадолиния представлены на рис. 3 штрихпунктирной кривой.

Анализ результатов расчетов

Представленные на рис. 2, б - м и 3, б - о результаты расчетов или полностью, или в достаточной мере согласуются с новым вариантом модели описания динамики развития нейтронной аномалии. Т.е. все кривые, описывающие состояния ТСМ с БМДТ после необходимого для характеристики модели заполнения водой ячеистой структуры пустот цилиндрического слоя ТСМ высотой 20 см, который расположен выше отметки +9.100, в основном или в достаточной степени расположены выше уровня $k_{эф} = 1$.

Как видно из рис. 3, новый вариант модели предполагает вероятность развития нейтронной аномалии при $mU^{\%} = 48 \%$, а для случая, когда $mU^{\%} = 60 \%$, а $m_{235}^{\%} = 0,89 \%$, вероятность реализации изменилась с *маловероятной* (см. рис. 1, з) к *вероятной в достаточной степени* (см. рис. 2, г и 3, е). Кроме того, видно, что результаты, представленные на рис. 3, реализуются при существенно меньших величинах пустот в объеме ТСМ с БМДТ, чем те, которые представлены на соответствующих рис. 1 и 2. В 1990 г. трудно было предполагать большие величины доступной пористости ТСМ для воды [13]. На рис. 3 они меньше в 2 – 3 раза. Из этого следует, что с большей вероятностью развитие и гашение нейтронной аномалии иллюстрируется результатами, представленными на рис. 3. Анализ этих результатов показывает, что в данном случае никакое обезвоживание объема ТСМ с БМДТ не приведет к возвратной критичности и возникновению самоподдерживающейся цепной реакции.

В рамках нового варианта модели возможность гашения нейтронной аномалии в результате переувлажнения ТСМ с очень малой вероятностью иллюстрируется результатами, представленными на рис. 2. Как видно, в этом случае наблюдается незначительная разница между наибольшими величинами $k_{эф}$, достигаемыми в процессе заполнения водой ячеистой структуры ТСМ и величинами $k_{эф}$ отвечающими полному заполнению всех пустот.

При осушении через испарение будет происходить уменьшение величины $N_{ц}$, что, как следует из вышеприведенных результатов, приведет только к уменьшению величин $k_{эф}$.

Выводы

1. Предложен новый вариант модели описания динамики развития и гашения нейтронной аномалии, зарегистрированной в 1990 г., который согласуется с наблюдавшимся возвратом к уровню фона счетности детектора нейтронов, зарегистрировавшего ее рост перед заливами гадолиния. В новом варианте модели динамика развития нейтронной аномалии обусловлена только увеличением высоты слоя в объеме ТСМ с БМДТ, пустоты которого заполнялись водой, а ее гашение связано или с заливом этого увеличения высоты слоя 1 %-м раствором азотнокислого гадолиния, который вытек через скважины после окончания залива, или с тем, что через скважины вытекла вода из ячеистой структуры пустот слоя ТСМ, который расположен выше отметки +9.100.

2. Значительно расширены границы объема в многомерном пространстве физических параметров, внутри которого рассматриваемый новый вариант модели согласуется с тем, как протекала нейтронная аномалия 1990 г. При этом расширение произошло в областях, имеющих значения параметров более близкие к их *наблюдаемым* значениям, в частности в область более малых $mU^{\%}$ ($mU^{\%} = 48 \%$), $m_{235}^{\%}$ ($m_{235}^{\%} = 0,89 \%$) и малых пустот в объеме ТСМ с БМДТ (в 2 – 3 раза меньше).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шостак В.Б., Щербин В.Н., Олейник Е.Е. Определение величин параметров модели, описывающей ядерно-опасное скопление топливосодержащих материалов в объекте «Укрытие» // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. – 2014. – Вып. 22 – С. 98 - 109.
2. Высокский Е.Д., Ключников А.А., Краснов В.А. Локализация ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Там же. – 2007. – Вып. 7. – С. 66 - 75.
3. Высокский Е.Д., Ключников А.А., Лагузенко А.С. и др. Ядерно-опасные скопления топливосодержащих материалов в разрушенном четвертом блоке Чернобыльской АЭС // Радиохимия. – 2011. – Т. 53, № 2. – С. 178 – 183.

4. **Высотский Е.Д., Ключников А.А., Щербин В.Н., Шостак В.Б.** Нейтронно-физические характеристики ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля. – 2009. – Вып. 12. – С. 93 – 102.
5. **Нейтронно-физические** характеристики ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов в зонах критмассового риска объекта «Укрытие»: Отчет о НИР (заключит.) / ИПБ АЭС НАН Украины; рук. А. А. Ключников. – Арх. № 1944. - Чернобыль, 2010.
6. **Верцімаха О.Я., Павлович В.М., Щербін В.М.** Про можливість виникнення та розвитку самопідтримуючої ланцюгової реакції в ПММ 4-го блока ЧАЕС // Сб. доп. наук.-практ. конф. «Наука. Чернобыль-97». - К., 1998. – С. 163 - 167.
7. **Высотский Е. Д., Ключников А. А., Михайлов А. В. и др.** Ядерно-опасные скопления топливосодержащих материалов в объекте «Укрытие» // Сб. тез. докл. Междунар. конф. «Двадцать пять лет Чернобыльской катастрофы. Безопасность будущего». – К., 2011. – С. 255 – 256.
8. **Пазухин Э.М.** Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования, влияние на окружающую среду: дис. д-ра техн. наук. - Чернобыль, 1999. – 293 с.
9. **Анализ** текущей безопасности объекта “Укрытие” и прогнозные оценки развития ситуации: (Отчет о НИР) / МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. – Арх. № 3836. – Чернобыль, 2001.
10. **Ананич П.И., Герасько В.Н., Гульник С.И. и др.** Расчетные исследования по обоснованию ядерной безопасности при работе системы пылеподавления в помещениях объекта "Укрытие". - Чернобыль, 1997. – 23 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ "Укрытие"; 97-3).
11. **Лагуненко А.С.** Поиск и исследование скрытых скоплений топливосодержащих материалов разрушенного 4-го блока Чернобыльской АЭС: дис. канд. техн. наук / ИПБ АЭС НАН України. - К., 2008. – 148 с.
12. **Боровой А. А., Велихов Е. П.** Опыт Чернобыля (работы на объекте «Укрытие»). Ч. 2. - М.: НИЦ «Курчатов-ский институт», 2013. - 162 с.
13. **Жидков А. В.** Топливосодержащие материалы объекта “Укрытие” сегодня: актуальные физические свойства и возможности прогнозирования их состояния // Проблемы Чернобыля. - 2001. - Вып. 7. - С. 23 – 40.

В. Б. Шостак, О. О. Ключников

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

АНАЛІЗ МОДЕЛІ, ЩО ОПИСУЄ СТАН ЯДЕРНО-НЕБЕЗПЕЧНОГО СКУПЧЕННЯ ПАЛИВОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ В ОБ'ЄКТІ «УКРИТТЯ»

Запропоновано й проаналізовано несуперечливий варіант моделі опису динаміки розвитку і гасіння нейтронної аномалії, зареєстрованої в 1990 г., у зоні проплавлення підреакторної плити (ПП) шахти реактора в південно-східній частині підреакторного приміщення 305/2 об'єкта «Укриття». Аналіз виконано з урахуванням недостатньої визначеності в положенні верхнього рівня об'єму, заповненого паливовмісними матеріалами з великими масовими долями палива в зоні проплавлення ПП.

Ключові слова: паливовмісні матеріали, нейтронна аномалія, критичність.

V. B. Shostak, O. O. Kliuchnykov

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

ANALYSIS OF MODEL DESCRIBING CONSISTING OF NUCLEARDANGEROUS ACCUMULATION OF FUEL CONTAINED MATERIALS OF OBJECT «UKRYTTYA»

Offered and analyzed not contradictory variant of model of description of dynamics of development and extinguishing of neutron anomaly, registered in 1990, in fusion penetration area of subreactor flag (SF) of mine of reactor in south-east part of subreactor apartment 305/2 object «Ukryttya». An analysis is executed taking into account insufficient definiteness in position top level volume filled fuel contained materials with the large mass stakes of fuel in fusion penetration area of SF.

Keywords: fuel contained materials, neutron anomaly, critical

REFERENCES

1. **Shostak V. B. Shcherbin V. M., Oliyynyk E. E.** Determination of sizes of parameters of model of describing nuclear-dangerous accumulation of fuel contained materials in object «Shelter» // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). – 2014. - Iss. 22. – P. 98 – 109. (Rus)
2. **Vysotskiy E.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 Chornobyl). - 2007. - Iss. 7. - P. 66 - 75. (Ukr)

3. *Vysotskiy E.D., Kliuchnykov A.A., Lagunenka A.S. et al.* The nuclear-dangerous accumulations of fuel-containing materials in the blasted fourth block of Chernobyl'skoy AES // Radiokhimiya. - 2011. - Vol. 53, № 2. - P. 178 - 183. (Rus)
4. *Vysotskiy E.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. (Ukr)
5. *The nuclear-dangerous* accumulations of fuel-containing materials in the blasted fourth block in zones critical mass risk of object «Shelter»: Report for SRW / ISP NPP NAS Ukraine; Men. A. A. Kliuchnikov – Arch. № 1944 - Chornobyl, 2010. (Rus)
6. *Vercimakha O.Ya., Pavlovich V.M., Shcherbin V.M.* About possibilities of origin and development of supporting chain reaction in PMM of 4th block of ChAES // Sb. dop. Naukovo-praktichna conference «Science. Chornobil-97». - Kyiv, 1998 - P. 163 - 167. (Ukr)
7. *Vysotskiy E.D., Kliuchnykov O.O., Mykhailov A.O., Shcherbin V.M., Shostak V.B.* The nuclear-dangerous accumulations of fuel-containing materials in the object «Shelter // Abs. proc. Intern. conf. «Twenty-five Years after Chernobyl Accident. Safety for the Future». Kyiv, 2011. P. 255 - 256. (Rus)
8. *Pazukhin E.M.* Lava-like fuel containing mass of the 4 Unit of the Chernobyl NPP: topography, physical and chemical properties, scenario of formation, influence on environment: dis. d-ra nauk. - Chernobyl, 1999. – 293 p. (Rus)
9. *Analysis of current safety of object “Shelter” and prognosis estimations of development of situation (Report) /* ISTC "Shelter" NA of Ukraine. - Chornobyl, 2001. - Arkh. № 3836. (Rus)
10. *Ananich P.I., Geras'ko V.N., Gul'nik S.I. et al.* Calculation researches on the ground of nuclear safety with the work of dusterpression system in the room of object "Shelter" is Chernobyl. - 1997. - 23 p. - (Prepr. / NAS Ukraine. INTC "Shelter"; 97-3). (Rus)
11. *Lagunenka O.S.* Search and study of the hidden accumulations of fuel containing materials of the destroyed Chernobyl NPP Unit 4: dis. kand. tekhn. Sciences / IPB AES NAS Ukrainy. - Kyiv, 2008. - 148 p. (Ukr)
12. *Borovoi A. A., Velikhov E. P.* Experience of Chernobylya (works on an object «Shelter»). Part 2. - Moskva: NSC «Kurchatovskiy institute», 2013. - 162 p.
13. *Zhidkov A. V.* Fuel containing materials of object “Shelter” toda y: rutial physical properties and facilities for their state prognosis creation // Problemy Chornobylya. - 2001. - Iss. 7. - P. 23 - 40. (Rus)

Надійшла 04.12.2014
Received 04.12.2014