

**ОБЪЕМНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗОНЕ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО ЗАЛА 4-ГО ЭНЕРГОБЛОКА ЧАЭС**

На основе экспериментальных данных проведено математическое моделирование гамма-полей и построены пространственные распределения мощности дозы гамма-излучения в объеме центрального зала, шахты реактора и южного бассейна выдержки объекта "Укрытие" ЧАЭС. Полученные распределения были проанализированы с целью уточнения расположения наиболее интенсивных источников излучения.

*Ключевые слова:* гамма-излучение, мощность дозы, топливосодержащие материалы, объект "Укрытие".

**Введение**

Конечным этапом преобразования объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему является извлечение топливосодержащих материалов (ТСМ) и других радиоактивных отходов и снятие с эксплуатации объекта "Укрытие". Утвержденным в Украине документом [1] предусматривается, что извлечение ТСМ должно быть осуществлено в течение срока службы нового безопасного конфайнмента (НБК). В первоначальном варианте международного проекта Плана организации мероприятий (ПОМ) предусматривалась разработка технологий извлечения ТСМ и проведение опытных работ по их реализации. В последующем работы по извлечению ТСМ из ПОМ были полностью исключены.

В результате не реализуются не только деятельность по разработке технологий извлечения ТСМ, но и работы, которые должны предоставить исходные данные по состоянию ТСМ, по созданию модели поведения ТСМ и системы мониторинга ТСМ, по разработке превентивных мероприятий по поддержке ТСМ в безопасном состоянии.

Создание НБК позволит извлекать наиболее опасные ТСМ из объекта "Укрытие", избегая вредного воздействия на население и природную окружающую среду. Одна из групп наиболее опасных скоплений ТСМ располагается в центральном зале (ЦЗ) объекта "Укрытие" и вблизи него (шахта реактора, южный бассейн выдержки (ЮБВ) и др.). Доступ к этим скоплениям открывается после демонтажа нестабильных конструкций, а именно – легкой кровли и трубного наката.

Последовательность извлечения ТСМ из ЦЗ объекта "Укрытие" определяется многими факторами, одним из которых является существенное улучшение радиационной обстановки в ЦЗ после перемещения из него ТСМ. Для оптимизации процесса извлечения в настоящей работе проведено моделирование и анализ объемного распределения полей гамма-излучения в пространстве ЦЗ. Это позволит ранжировать скопления ТСМ по степени интенсивности гамма-излучения и оптимизировать процесс их извлечения.

**Анализ гамма-поля в ЦЗ объекта "Укрытие"**

На рис. 1 приведена картограмма мощности экспозиционной дозы (МЭД) на легкой кровле объекта "Укрытие". Как видно из рисунка, наибольшие значения МЭД, превышающие минимальные ее значения в несколько раз, расположены над восточной стороной ЦЗ в районе конструкции, называемой "Собачьим домиком" (см. рис. 1 а), которая расположена над узлом развески свежего топлива (рис. 1 б, рис. 2).

Как видно из рис. 2 б, конструкции узла развески сильно деформированы ударной волной при аварии, которая одновременно выбросила большое количество фрагментов активной зоны (ФАЗ) в восточном направлении. Заметное их количество оказалось на ходовых площадках узла развески и на блоке В (возле вентиляционной трубы 2-й очереди ЧАЭС). При подготовке к строительству объекта "Укрытие" ФАЗ сбрасывались с кровли блока В в ЦЗ и значительная их часть также оказалась на верхних площадках узла развески.

Эти источники на верхних площадках узла развески и определяют в значительной степени максимум на картограмме МЭД легкой кровли (за счет небольшого расстояния до легкой кровли). Отсутствие трубного наката над узлом развески способствует увеличению МЭД (отсутствие экранирующего эффекта) от всех источников, в том числе с поверхности ЦЗ. Но в значительной степени этот эффект компенсируется свинцовыми листами, смонтированными на "Собачьем домике".

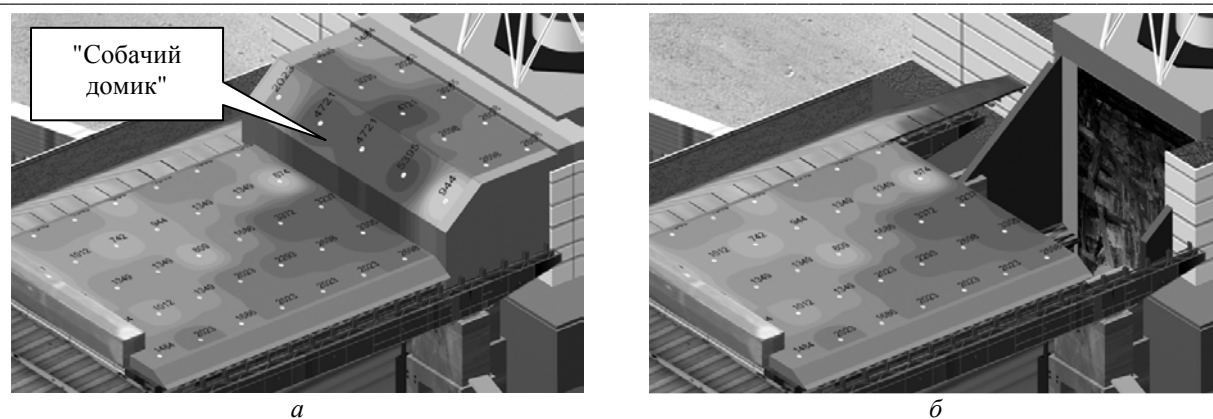


Рис. 1. Картограмма МЭД над ЦЗ (прогноз на 2015 г.).

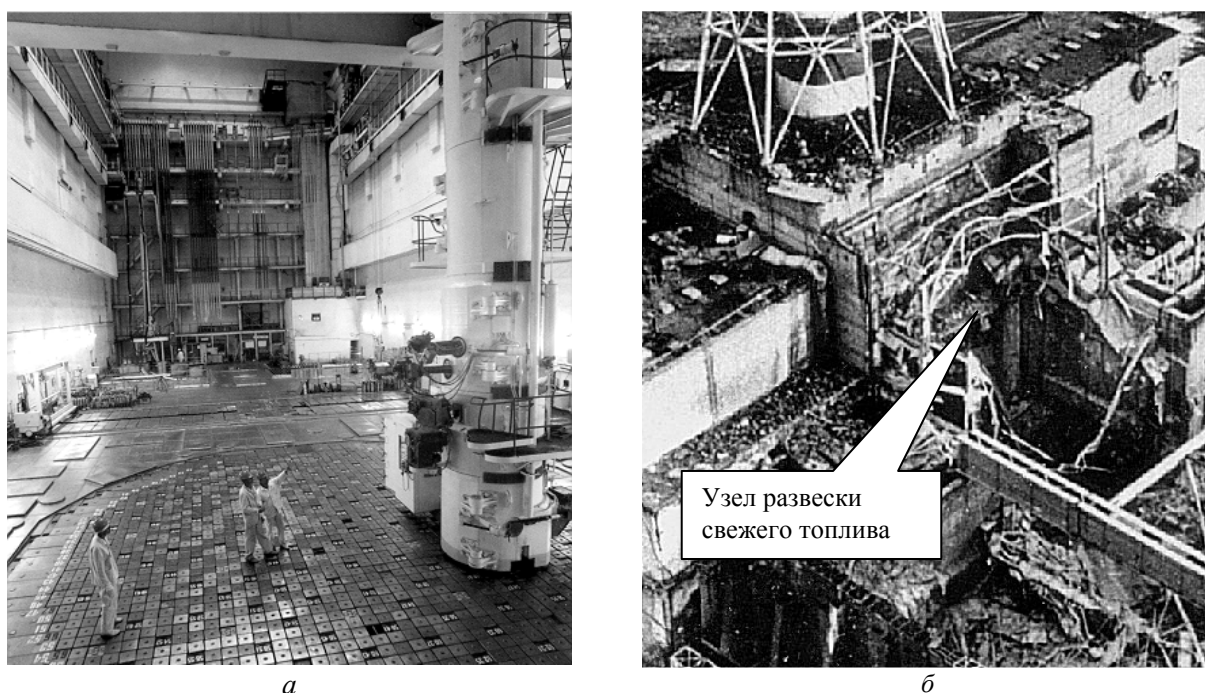


Рис. 2. ЦЗ и узел развески свежего топлива 4-го блока ЧАЭС до и после аварии.

Для дальнейшего изучения вклада в МЭД от различных источников в ЦЗ был проведен анализ имеющихся данных по радиационной обстановке непосредственно в ЦЗ.

После завершения строительства объекта "Укрытие" были проведены измерения МЭД в ЦЗ с помощью континуальных дозиметрических шнуров. Измерения проводились из следующих направлений [2 - 7]:

- сверху – с кровли ЦЗ, через технологические проходы в трубном накате;
- с востока – через окно и дверь резервной пультовой разгрузочно-загрузочной машины;
- с юга – с потолочного перекрытия помещения барабан-сепараторов.

Все точки измерения были сведены к единой координатной системе отчета, значения МЭД пересчитаны на единый момент времени и внесены в базу данных "МЭД в ЦЗ объекта "Укрытие", разработанную в среде Microsoft ACCESS. В этой базе данных содержатся: номер точки измерения; координаты точек замеров; показания датчиков на момент проведения замеров; пересчет измеренных МЭД на 2015, 2030 и 2050 годы.

Данные по МЭД в ЦЗ объекта "Укрытие" (в пересчете на 2015 г.) представлена на рис. 3. Наибольшие значения (около 1000 Р/ч) наблюдаются вблизи северного бассейна выдержки (СБВ). На схеме "Е" МЭД достигает значений свыше 400 Р/ч. Картограмма значений МЭД приведена на рис. 4.

Из рис. 3 и 4 видно, что на завалах в районе узла развески значения МЭД существенно ниже максимальных значений. Это подтверждает выводы о том, что максимальные значения МЭД в районе

"Собачьего домика" определяются излучением ФАЗ, локализованных на верхних ходовых площадках узла развески.

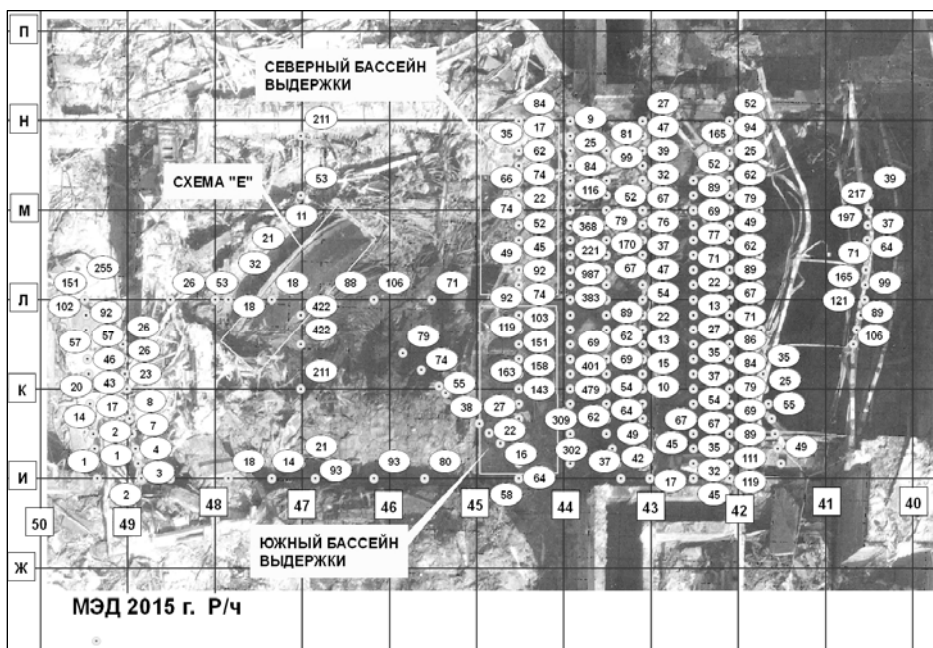


Рис. 3. Результаты измерений МЭД на поверхности завалов ЦЗ объекта "Укрытие", проведенных в 1988 - 1990 гг. с помощью континуальных дозиметрических шнуров. Величины МЭД пересчитаны на 2015 г.

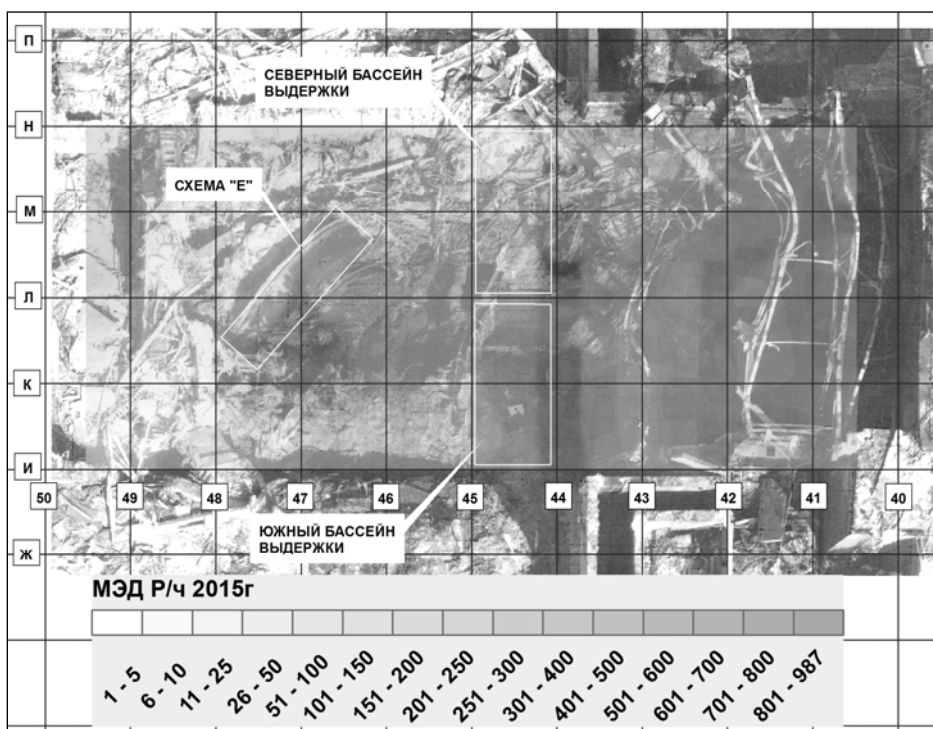


Рис. 4. Картограмма МЭД в ЦЗ объекта "Укрытие". Значения приведены на 2015 г.

На основе данных по объемному распределению МЭД разработана база данных, сформированная как набор данных географически связанной информации с помощью программного продукта ArcGIS 10.1. Полученный набор данных был обработан модулем трехмерной интерполяции Isoliner [15].

Наиболее значимые сечения пространственного распределения гамма-поля: сечение по оси Л + 3 м; сечение по оси 44; сечение по оси 47; сечение на отметке +36 м (поверхность ЦЗ) представлены в виде объемной картограммы на рис. 5. Как видно из рисунка, максимальные значения МЭД в ЦЗ расположены вблизи бассейнов выдержки, немного выше отметки +36 м (на завалах ЦЗ).

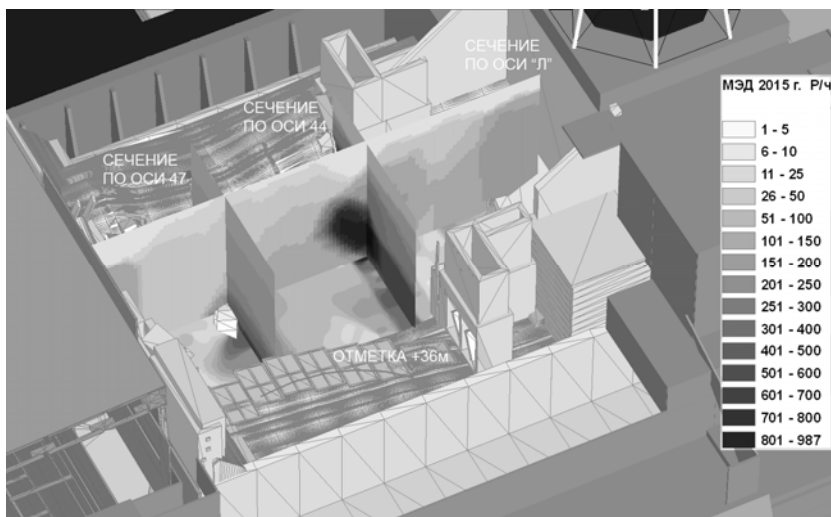


Рис. 5. Трехмерная картограмма МЭД в ЦЗ. Показаны сечения по осям 44, 47, оси Л + 3 м, отметке +36 м. Данные приведены на 2015 г.

После извлечения этих скоплений ТСМ радиационная обстановка в ЦЗ от восточной стены до оси 45 существенно улучшится. Прогнозная оценка диапазона МЭД составит от нескольких десятков до нескольких сотен миллирентген в час. При таких значениях МЭД многие работы могут быть выполнены при непосредственном участии персонала, не превышая установленные нормы дозы облучения.

#### Анализ данных гамма-излучения ТСМ в шахте реактора

Начиная с 1988 г. на 4-м блоке ЧАЭС проводились измерения МЭД по глубине пробуренных скважин, что позволило получить косвенную оценку мест расположения и состояния (изменения состояния во времени) источников гамма-излучений [8 - 10].

В работе [11] полученные результаты приведены в виде графиков, это облегчает восприятие больших объемов информации. Как видно из приведенных графиков, при достижении областей с высоким значением МЭД измерения прекращались. Это связано с отсутствием технологии, позволяющей выполнять бурение скважин в областях высокоактивных ТСМ, хотя именно они и представляют наибольший интерес. Тем не менее по резкому возрастанию МЭД можно определить границы областей распространения высокоактивных ТСМ или ФАЗ. В некоторых скважинах измерения проводились по нескольку раз. В работе [11] приводится график наиболее полных измерений.

Всем точкам замеров были определены координаты, данные представлены в виде таблиц, которые содержат: номер точки измерения, их координаты и показания датчиков на момент проведения замеров, наименование скважины, пересчет измеренных МЭД на 2015, 2030, 2050 годы. На основании полученных данных в среде Microsoft ACCESS разработана база данных "МЭД в скважинах объекта "Укрытие". Таким образом, получен трехмерный массив данных МЭД в исследовательских скважинах помещений объекта "Укрытие".

Для целей оптимизации процесса извлечения ТСМ наибольший интерес представляют помещения шахты реактора и ЮБВ - 504/2 505/3 соответственно. Для обработки и изучения данного набора информации применен программный продукт ArcGIS 10.1. Компьютерная модель расположения исследовательских скважин и точек измерений МЭД приведены на рис. 6.

Как видно из рис. 7, максимальные значения МЭД наблюдаются в верхней части шахтного пространства и определяются остатками технологических каналов с топливом на схеме "Е". Излучение в нижней части пространства определяется лавообразными ТСМ, образовавшимися в процессе аварии. Наличие минимума в центральной части указывает на то, что удаление каналов со схемы "Е" позволит существенно улучшить радиационную обстановку в зоне обслуживания НБК.

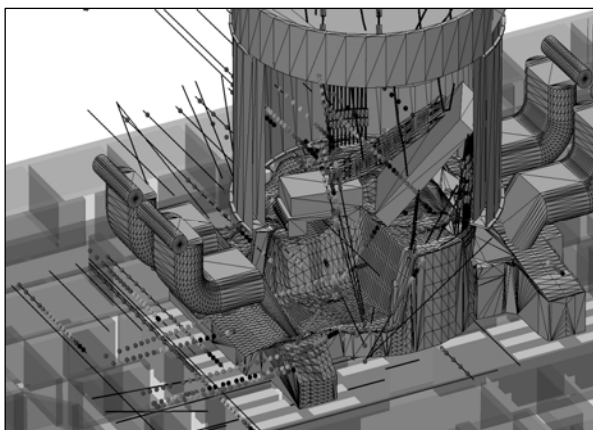


Рис. 6. Трехмерное расположение точек измерения МЭД в пространстве шахты реактора.

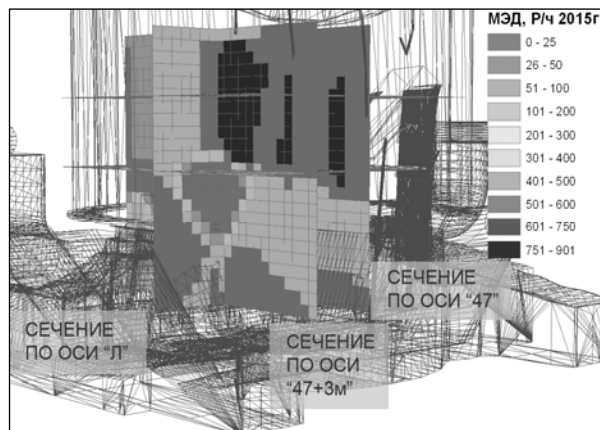


Рис. 7. Сечения гамма-поля в пространстве шахты реактора по осям: Л, 47, 47+3 м. Данные приведены на 2015 г.

### Анализ данных гамма-излучения ТСМ в помещениях 505/3 (ЮБВ) и 505/4 (СБВ)

Каждый бассейн представляет собой помещение размером в плане 4,2×10,6 м, глубиной 18 м. Перекрытие бассейна образовано тонкостенным (~ 6 мм) нержавеющей стальным настилом с крышками 0,9×1,3 м, отстоящими друг от друга вдоль длинной стороны бассейна на 0,075 м и по короткой стороне на 0,03 м. По срединной части бассейна вдоль длинной его стороны расстояние между крышками составляет 0,4 м.

Бассейн равномерно заполнен пенами диаметром 0,102×0,002 м, решетка 0,160×0,250 м, (0,250 м – вдоль длинной стороны).

До аварии СБВ был пуст, а в ЮБВ находилось 129 отработанных тепловыделяющих сборок (ОТВС) [1]. Схема загрузки ЮБВ ОТВС представлена на рис. 8 [12].

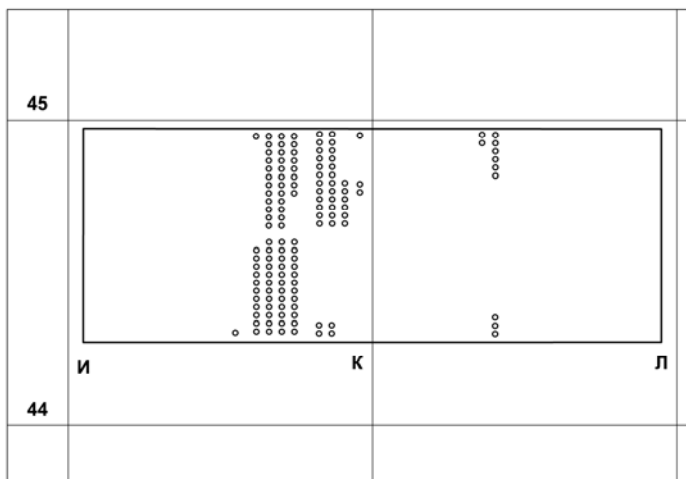


Рис. 8. Схема развески ОТВС в ЮБВ на момент аварии.

При обследовании ЦЗ было обнаружено, что люк СБВ сорван со своего места. При осмотре СБВ, была обнаружена на его дне скопление ФАЗ [2]. Бурение исследовательских скважин позволило получить более точные данные.

В СБВ была пробурена скважина Ю.19.104, через которую из него были извлечены обломки графита, оболочки твэлов. Высота скопления ФАЗ в СБВ до 1 м [2].

В ЮБВ из помещения 515/3 было пробурено 5 скважин: В.22.80; В.22.90; В.21.96; В.20.100 – все они размещены в одной вертикальной плоскости с углами наклона 38°, 24°, 14° и 0° соответственно, а также скважина В.19.103 (рис. 10 а). С помощью этих скважин был осмотрен бассейн, состояние ОТВС, подвески и пола, произведены измерения МЭД [2, 8 - 11].

В настоящее время нет достоверных сведений о физическом состоянии ОТВС, находящихся в ЮБВ 4-го энергоблока ЧАЭС, но можно считать, что большинство из них окажется сильно поврежденными. Опыт ввода в эксплуатацию отделения разделки ОТВС на Ленинградской АЭС показал, что доля некондиционного отработанного ядерного топлива достигает 30 %, что потребовало ускорения разработки решений по удалению его с АЭС [13]. На рис. 9 приведены фотографии видов дефектов ОТВС. Это указывает на то, что в момент аварии 1986 г., а также при последующем разо-

греве из-за отсутствия воды в ЮБВ значительная часть нижних пучков ОТВС могли разрушиться и попасть на дно ЮБВ.

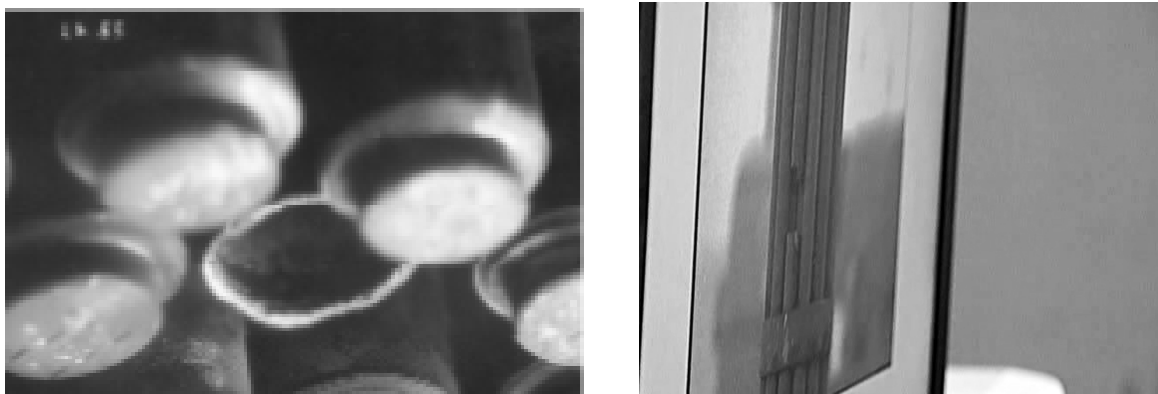


Рис. 9. Фото ОТВС с отрывом заглушки верхнего пучка твэлов [14] (слева). Повреждение твэла, обнаруженное при осмотре ОТВС на ХОЯТ-1 ЧАЭС (справа).

На рис.10, а показан ЮБВ с ОТВС, которые расположены согласно схеме загрузки рис. 8, а также исследовательские скважины. Скважины проходят рядом с ОТВС. Точками показаны места измерений МЭД, черным цветом выделены значения свыше 1000 Р/ч. Такие значения наблюдаются не только возле подвешенных ОТВС, но и на дне ЮБВ в стороне от ОТВС. Это указывает на наличие там ТСМ.

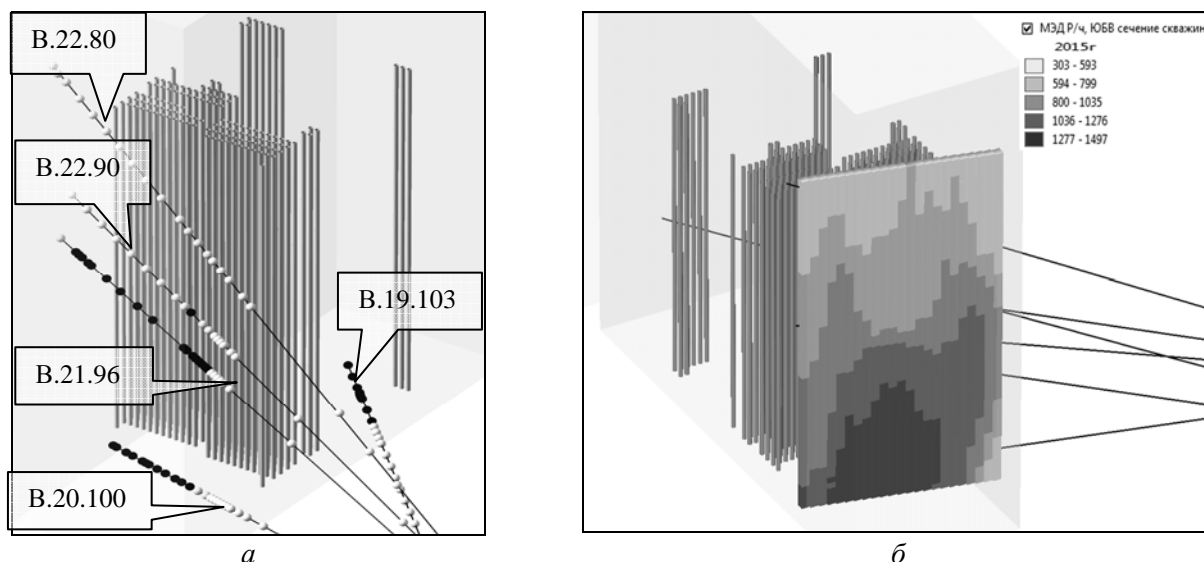


Рис. 10. Вид ЮБВ со скважинами и картограммой МЭД, Р/ч на 2015 г.

Построена картограмма МЭД в вертикальной плоскости исследовательских скважин (см. рис. 10, б). На картограмме максимальные значения МЭД находятся в нижней части ЮБВ. Это указывает на то, что значительная часть ОТВС может быть разрушена.

### Заключение

Проведен анализ значений МЭД в зоне ЦЗ объекта "Укрытие", полученных в результате комплекса исследований, проводимых в 1988 – 1992 гг. Построены объемные распределения МЭД в ЦЗ, шахте реактора и ЮБВ с пересчетом на 2015, 2030, 2050 годы.

Показано, что самый большой вклад в МЭД на верхних отметках, в частности в зоне обслуживания арки НБК и кранов создают источники на верхних ходовых площадках узла развески свежего топлива, скопления ТСМ в районе ЮБВ и ЮБВ (МЭД на 2015 г. достигает примерно 1000 Р/ч) и в районе схемы "Е" (МЭД выше 400 Р/ч). Заметный вклад может быть также от ТСМ на перекрытиях помещений барабанов-сепараторов, но достоверных данных нет.

Имеющиеся данные указывают на наличие интенсивных источников в СБВ в результате разрушения крышки бассейна и попадания ФАЗ в процессе аварии 1986 г. Анализ данных о пространственном распределении МЭД в ЮБВ указывает на то, что заметная часть источников находится на дне бассейна, что свидетельствует о разрушении значительной части ОТВС. Соответственно не исключено образование лавообразных ТСМ на дне бассейна.

Необходимы дополнительные исследования характеристик скоплений ТСМ в зоне ЦЗ для оптимизации процесса извлечения ТСМ. Для повышения уровня безопасности персонала НБК при его многолетней эксплуатации необходимо удаление наиболее интенсивных источников гамма-излучения с верхних отметок разрушенного 4-го блока ЧАЭС. К таким работам необходимо приступить сразу после завершения строительства НБК и демонтажа нестабильных строительных конструкций существующего объекта "Укрытие".

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стратегия* преобразования объекта "Укрытие", согласованная решением Межведомственной комиссии по вопросам комплексного решения проблем Чернобыльской АЭС. Протокол № 2 от 12.03.2001 г.
2. *FCM atlas, classification, 2D models* / Атлас, классификация, 2-D модели ТСМ. SIP-EBPD-R-0093 (Iss. 1).
3. *Усатый А.Ф., Александров А.А., Богомолов А.М. и др.* Измерения МЭД гамма-излучения в южной вертикальной плоскости ЦЗ объекта "Укрытие". Протокол № 2/416т, КЭ при ИАЭ, инв. № 11.07-05/85 от 04.08.90, 5 с.
4. *Исследование* методом пространственной континуальной дозиметрии распределения источников излучения (ТСМ) в центральном зале // Отчет ИАЭ. № 957т от 12.12.90.
5. *Усатый А.Ф., Александров А.А., Кайнов В.Б. и др.* Результаты изучения распределения радиоактивности в ЦЗ объекта "Укрытие" в осях 40-45. Протокол № 1/957т, КЭ при ИАЭ, инв. № 11.07/157 от 15.06.91, 5 с.
6. *Усатый А.Ф., Александров А.А., Кайнов В.Б. и др.* Результаты изучения распределения радиоактивности на перекрытии пом. 2005/2 в ЦЗ объекта "Укрытие" в осях 40-45. Протокол № 2/957т, КЭ при ИАЭ, инв. № 11.07/158 от 15.06.91, 4 с.
7. *Усатый А.Ф., Александров А.А., Кайнов В.Б. и др.* Крупнообъемное распределение полей гамма-излучений в ЦЗ "Укрытие" в осях 40-50, Научно-технический отчет по II этапу, КЭ при ИАЭ, инв. № 11.07/159 от 15.06.91, 16 с.
8. *Киселев А.Н., Ненагляднов А.Ю., Сурин А.И., Чечеров К.П.* Исследовательские скважины 4-го блока ЧАЭС. Основные данные. Справочник, ч. 1. Скважины на отметке 9 метров / РНЦ "Курчатовский институт" (Препринт ИАЭ-5760/3). - М., 1994. - 48 с.
9. *Киселев А.Н., Ненагляднов А.Ю., Сурин А.И., Чечеров К.П.* Исследовательские скважины 4-го блока ЧАЭС. Основные данные. Справочник, ч. 2. Скважины на отметках 10, 11, 12, 13 и 14 метров / РНЦ "Курчатовский институт" (Препринт ИАЭ-5774/3). - М., 1994. - 60 с.
10. *Киселев А.Н., Ненагляднов А.Ю., Сурин А.И., Чечеров К.П.* Исследовательские скважины 4-го блока ЧАЭС. Основные данные. Справочник, ч. 3. Скважины на отметках 15, 16, 21 и 25 метров. Скважины в каскадную стену / РНЦ "Курчатовский институт" (Препринт ИАЭ-5782/3). - М., 1994. - 60 с.
11. *Гринченко Г.П., Ненагляднов А.Ю., Сурин А.И., Чечеров К.П.* Измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в исследовательских скважинах 4-го блока ЧАЭС / РНЦ "Курчатовский институт" (Препринт ИАЭ-5854/3). - М., 1995. - 24 с.
12. *Vladykov, Sviridov, Gurin Gurin, Kuzin, Becker, Tsykunov.* T14-R21. Models estimation and description, SIP-EBPD-R-0081, Issue 1, 05.07.2000, 67 p.
13. *Дорофеев А.Н., Канашов Б.А., Перепелкин С.О. и др.* Предложения по обращению с некондиционными ОТВС РБМК-1000 // Сб. докл. VII Междунар. ядерного форума "АТОМТРАНС-2012", С.-Петербург, 17 - 21 сентября 2012. [http://www.sosny.ru/at\\_rbmk\\_ru.html](http://www.sosny.ru/at_rbmk_ru.html).
14. *Смирнов В.П.* Обращение с ОЯТ энергетических реакторов с графитовым замедлителем. Международная школа-семинар по ядерным технологиям "Черемшанские чтения" 24 - 27 апреля 2012 г., Димитровград. [http://www.sosny.ru/obrashenie\\_s\\_oyat.html](http://www.sosny.ru/obrashenie_s_oyat.html).
15. <http://blog.geoblogspot.com/p/arcgis-extensions.html>.

**В. Г. Батій, С. С. Підберезний, О. І. Стоянов**

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

#### **ОБ'ЄМНІ РОЗПОДІЛИ ПОЛІВ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ В ЗОНІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЗАЛУ 4-ГО ЕНЕРГООБЛОКА ЧАЕС**

На основі експериментальних даних проведено математичне моделювання гамма-полів і побудовано просторові розподіли потужності дози гамма-випромінювання в об'ємі центрального залу, шахти реактора та

південного басейну витримки об'єкта "Укриття" ЧАЕС. Отримані розподіли було проаналізовано з метою уточнення розташування найбільш інтенсивних джерел випромінювання.

*Ключові слова:* гамма-випромінювання, потужність дози, паливовмісні матеріали, об'єкт "Укриття".

**V. G. Batiy, S. S. Podbereznyi, A. I. Stoyanov**

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

### **VOLUME DISTRIBUTION FIELDS OF GAMMA RADIATION IN THE AREA OF CENTRAL HALL OF THE 4TH UNIT OF CHERNOBYL NPP**

On the basis of experimental data the mathematical modeling of gamma-fields was carried out and was structured spatial distribution of gamma-radiation in the volume of the central hall, the reactor cavity and the southern basin holding of the "Ukrytya" object of ChNPP. The received distributions were analyzed in order to clarify of the location of the most intense radiation sources.

*Keywords:* gamma-radiation, dose rate, fuel-containing materials, the "Ukrytya" object.

#### REFERENCES

1. *Strategy of Shelter Conversion. Coordinated by Interdepartmental Commission on Chernobyl NPP Problems Complex Resolution. Protocol № 2 of March 12, 2001. (Rus)*
2. *FCM atlas, classification, 2D models / Atlas, classification, 2-D model of FCM. SIP-EBPD-R-0093 (Iss. 1). (Rus)*
3. *Usatyi A.F., Aleksandrov A.A., Богомолов А.М. et al. Measurement of exposure dose of gamma radiation in the southern vertical CH of "Shelter" object. Protocol № 2 / 416t, KE at the IAE, Inv. № 11.07-05 / 85 of 04.08.90, 5 p. (Rus)*
4. *The study by the spatial distribution of the continuum dosimetry of radiation sources (FCM) in the central hall // Report IAE. № 957t of 12.12.90. (Rus)*
5. *Usatyi A.F., Aleksandrov A.A., Kainov V.B. et al. The results of the study of the radioactivity distribution in the CH of "Shelter" in axes 40-45. Protocol № 1/957т, KE at the IAE, Inv. № 11.07/157 of 15.06.91, 5 p. (Rus)*
6. *Usatyi A.F., Aleksandrov A.A., Kainov V.B. et al. The results of the study of the radioactivity distribution on the ceiling premises in 2005/2 CH of "Shelter" object in the axes 40-45. Protocol № 2/957т, KE at the IAE, Inv. № 11.07/158 of 15.06.91, 4 p. (Rus)*
7. *Usatyi A.F., Aleksandrov A.A., Kainov V.B. et al. High-volume distribution of the fields of gamma radiation in the CH of "Shelter" in axes 40-50. Scientific and Technical Report on Phase II, KE at the IAE, Inv. № 11.07/159 of 15.06.91, 16 p. (Rus)*
8. *Kiselev A.N., Nenaglyadov A.YU., Surin A.I., Checherov K.P. Exploration wells 4th block of ChNPP. Main Data. Reference, part 1. Wells at the level 9 meters / RRC "Kurchatov institute" (Prepr. IAE -5760/3, M., 1994, 48 p. (Rus)*
9. *Kiselev A.N., Nenaglyadov A.Yu., Surin A.I., Checherov K.P. Exploration wells 4th block of ChNPP. Main Data. Reference, part 2. Wells at the level 10, 11, 12, 13 and 14 meters / RRC "Kurchatov institute" (Prepr. IAE -5774/3, M., 1994, 60 p. (Rus)*
10. *Kiselev A.N., Nenaglyadov A.Yu., Surin A.I., Checherov K.P. Exploration wells 4th block of ChNPP. Main Data. Reference, part 3. Wells at the level 15, 16, 21 and 25 meters. Wells in the cascade wall / RRC "Kurchatov institute" / (Prepr. IAE -5782/3, M., 1994, 60 p. (Rus)*
11. *Grinchenko G.P., Nenaglyadov A.Yu., Surin A.I., Checherov K.P. Measurement of exposure dose of gamma radiation in research wells 4th Chernobyl Unit / RRC "Kurchatov institute" (Prepr. IAE -5854/3, M., 1995, 24 p. (Rus)*
12. *Vladykov, Sviridov, Gurin, Kuzin, Becker, Tsykunov. T14-R21. Models estimation and description, SIP-EBPD-R-0081, Iss. 1, 05.07.2000, 67 p.*
13. *Dorofeev A.N., Kanashov B.A., Perepelkin S.O. et al. Suggestions for management with substandard SFA RBMK-1000. Collected reports of the VII International Nuclear Forum "ATOMTRANS-2012", St. Petersburg, 17 - 21 September 2012. [http://www.sosny.ru/at\\_rbm\\_k\\_ru.html](http://www.sosny.ru/at_rbm_k_ru.html). (Rus)*
14. *Smirnov V.P. Spent nuclear fuel management from power reactors, graphite-moderated. International Workshop on nuclear technologies "Cheremshanskaya readings" 24 - 27 April 2012, Dimitrovgrad. [http://www.sosny.ru/obrasenie\\_s\\_oyat.html](http://www.sosny.ru/obrasenie_s_oyat.html). (Rus)*
15. <http://blog.geoblogspot.com/p/arcgis-extensions.html>.

Надійшла 22.07.2014

Received 22.07.2014