

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ ВБЛИЗИ ОБЛУЧЕННОГО ТОПЛИВА РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

В.И. Бойко*, М.Е. Силаев, Ю.С. Черепнин***, И.В. Шаманин ***

**Томский политехнический университет, г. Томск*

***Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов*

****Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники,
г. Москва*



Работа выполнена в рамках программы снятия с эксплуатации реактора БН-350. Целью экспериментальных исследований являлось определение параметров поля мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в воздухе вблизи упаковок с отработанным топливом реактора на быстрых нейтронах. Были получены данные о распределении МЭД в горизонтальной и аксиальной плоскостях для характерной выборки упаковок. Проведен анализ полученных результатов.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Одной из самых сложных и комплексных задач, вызванных снятием реакторных установок с эксплуатации, является обращение с отработанным ядерным топливом (ОЯТ), что обусловлено его высокой активностью. После выдержки в бассейне подразумевается долговременное хранение ОЯТ в сухом хранилище.

Реактор БН-350 остановлен и находится в настоящее время в стадии декомиссии. Учитывая наличие большого количества делящихся материалов (в том числе ^{239}Pu) в топливе реактора, декомиссия выполняется в международной кооперации при контроле МАГАТЭ. К настоящему времени активная зона реактора выгружена. В качестве технологии долговременного хранения ОЯТ выбрано сухое хранение поверхностного типа в металлобетонных контейнерах двойного назначения. Исходя из предполагаемой технологии сухого хранения, отработанные тепловыделяющие сборки (ТВЭС) реактора упакованы в чехлы из нержавеющей стали (по 6 и по 4 сборки в отдельном чехле). Таким образом, была получена новая штатная единица для ОЯТ, в отношении которой необходимо разработать и технически реализовать новые технологии для всех последующих этапов обращения с топливом (подготовка к транспортировке, перевозка, хранение).

Одним из основных условий проектирования контейнера и площадки хранения является обеспечение безопасности работ на всех этапах выполнения. Важнейшим

© *В.И. Бойко, М.Е. Силаев, Ю.С. Черепнин, И.В. Шаманин, 2006*

элементом безопасности является соблюдение норм и требований по ядерной и радиационной безопасности.

Радиационная безопасность при обращении с ОЯТ обеспечивается только при условии создания необходимого уровня защиты от его излучения. Уровень защиты, в свою очередь, может быть определен при наличии информации о характеристиках полей ионизирующих излучений, образуемых радионуклидами ОЯТ. Кроме того, интенсивность поля излучения вблизи облученного топлива определяет степень его самозащищенности с точки зрения физической защиты [1]. Поэтому требованиями для проектирования перевозки и последующего хранения ОЯТ БН-350 предусматривается наличие паспортизованных данных на каждую упаковку с облученным топливом, содержащих полную информацию об их материальных и геометрических параметрах, включая содержание делящихся материалов, а также продуктов деления и активации. Информация о радионуклидном составе и характеристиках полей ионизирующих излучений может быть получена путем выполнения соответствующих исследований.

Данные о нейтронном излучении ОЯТ БН-350 получены в ходе измерений, выполненных МАГАТЭ с целью инвентаризации содержания в нем плутония и других делящихся материалов, поэтому основной целью работы являлось получение данных о полях гамма-излучения вблизи упаковок с облученным топливом.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕЙ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ОТВС

Аналитическое определение радионуклидного состава облученных топливных сборок и характеристик поля излучения вызывает значительные затруднения, т.к. для его выполнения требуется проведение детального расчетного анализа полной истории ОТВС: точного места, времени и длительности их размещения в реакторе; зависимостей от времени параметров в рабочих и переходных режимах реактора. Кроме того, для выполнения подобных расчетов необходимо иметь верифицированную модель реактора, пригодную для выполнения анализа не только режимов загрузки и эксплуатации, но и накопления и миграции в отдельных его элементах продуктов деления и активации, что обычно не требуется на этапе эксплуатации реакторной установки. В любом случае, полученные аналитическим путем данные должны иметь свое экспериментальное подтверждение.

Экспериментальные неразрушающие методы определения содержания радионуклидов в ОТВС (например, гамма-спектрометрический анализ) возможно использовать только по отношению к отдельным их элементам [2]. Указанный подход определяется высоким уровнем активности облученного топлива и материалов сборок. Исследования, связанные с разборкой ОТВС на отдельные элементы, могут быть выполнены для отдельных сборок, а не всего облученного топлива реактора.

Наиболее приемлемым методом экспериментального исследования поля ионизирующих излучений, образуемого топливными сборками и их группами, является проведение дозиметрических измерений [3]. Измерения МЭД вблизи ОТВС не позволяют непосредственно определить содержание в них радионуклидов, но дают возможность определить распределение активности [4], оценить степень опасности радиационного поля вблизи облученного топлива, классифицировать упаковку с топливом по степени ее самозащищенности с точки зрения физической защиты.

Данные о глубине выгорания топлива, кампании и времени выдержки ОТВС могут быть использованы в расчетах, позволяющих определить радионуклидный состав топлива. Он, в свою очередь, определяет состав и мощность поля излучения вблизи ОТВС. Для этого также требуются расчетные методики и пакеты прикладных программ.

Их выбор и верификация могут быть проведены по экспериментальным данным о мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в воздухе. В результате будут определены перечень программных средств и методика, позволяющие по данным дозиметрических измерений проводить корректные оценки выгорания топлива и его радионуклидного состава.

Комплекс дозиметрических измерений был выполнен в отношении облученного топлива реактора БН-350.

ЦЕЛЬ И МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Целью экспериментальных исследований являлось определение параметров поля мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в воздухе вблизи упаковок.

Выбор методологии проведения экспериментов

Любые работы с ОТВС имеют статус особо опасных. Объем проведения таких работ должен быть минимизирован с точки зрения их необходимости и достаточности. Необходимость, в свою очередь, определяется объемом и представительностью результатов.

Для того чтобы обеспечить представительность результатов и максимально уменьшить объем измерительных работ были приняты следующие решения:

- провести сканирование поля гамма- и рентгеновского излучения вблизи ОТВС с помощью дозиметрических измерений;
- измерения провести на воздухе, что соответствует условиям предполагаемого долговременного хранения;
- измерения выполнить не для всех упаковок ОТВС, а только для их представительной выборки;
- использовать для анализа данные других (в том числе подводных) измерений полей излучения вблизи ОТВС;
- измерения провести в помещении станции упаковки ОТВС, обеспечивающем необходимую степень изоляции персонала от излучения и радиационной безопасности выполнения работ.

Выбор наиболее представительных упаковок с ОТВС

Перед проведением прямых измерений мощности дозы от упаковок с ОЯТ на воздухе потребовалось выбрать наиболее представительные из их числа, отличающиеся друг от друга различными типами загрузки ОТВС и имеющие максимальные уровни гамма-излучения.

В связи с отсутствием расчетных исследований по оценке величины мощности дозы от наиболее «горячих» упаковок, их выбор был сделан на основе экспериментальных данных, полученных в период комплектации упаковок ОТВС. В качестве исходной информации были взяты результаты измерений для отдельных ОТВС в центральной плоскости, проведенных под водой (на глубине ~ 7 м) с помощью ионизационной камеры. Ионизационная камера располагалась внутри счетчика SPAM нейтронных совпадений, используемого МАГАТЭ в целях учета и контроля ядерного материала на реакторе БН-350. Ионизационная камера не определяла количественных характеристик МЭД под водой. Фиксировалось только значение тока, позволяющее качественно (относительно друг друга) охарактеризовать интенсивность гамма-излучения ОТВС.

По имеющейся информации о составе топливных сборок в упаковках были сделаны три выборки по 10 упаковок в каждой, удовлетворяющих следующим критериям:

- выборка 1 – относительное значение мощности дозы (ток ионизационной камеры) от отдельной ОТВС в чехле максимально;

- выборка 2 – сумма относительных значений мощности дозы по всем ОТВС (топливным и бланкетным) в чехле максимальна;

- выборка 3 – сумма относительных значений мощности дозы по всем топливным ОТВС в чехле максимальна.

Из чехлов, повторяющихся в каждой из трех выборок, были отобраны четыре упаковки с ОТВС, предназначенные для измерений, по следующим критериям:

- для каждого из чехлов имеются данные о радиальном распределении поля гамма-излучения в центральной плоскости, полученные под водой с помощью счетчика атрибутивных измерений SPAM;

- чехлы представляют различные типы упаковок: 6 ОТВС, из которых 4 топливных и 2 бланкетных (далее по тексту обозначаются как упаковка типа 42); 6 ОТВС, из которых 3 топливных и 3 бланкетных (тип 33); 4 ОТВС – 2 топливных и 2 бланкетных (тип 22);

- относительные показания максимума мощности дозы в радиальном направлении для выбранных чехлов отличаются от максимального значения в выборке не более чем на 10%, что укладывается в ошибку определения показаний ионизационной камеры, использованной в измерениях.

Согласно указанным критериям, для измерений были отобраны 4 упаковки с ОЯТ – по одной типа 42, 33 и две типа 22 (далее 22 и 22*).

Проверка и калибровка измерительных приборов

Для выполнения измерений МЭД от упаковок с ОТВС в воздухе были использованы дозиметры КДГ-1, как имеющие наибольший верхний допустимый порог определения МЭД среди имеющихся в распоряжении приборов. Было подготовлено 3 измерительных тракта. Дозиметрические тракты были удлинены до 35 м и поверены. Верхний рабочий диапазон приборов был расширен с 10^3 до 10^4 Р/ч путем помещения регистрирующего детектора в свинцовую защиту. Среднее квадратичное отклонение экспериментальных значений от линейной зависимости не превышало 2%.

Подготовка к выполнению работ

Для выполнения работ использовались два дозиметрических тракта. Третий тракт являлся резервным.

Измерения проводились с помощью детекторов, установленных в защиту, чтобы избежать их возможного повреждения ионизирующим излучением, а также проводить измерения в линейном рабочем диапазоне детектора.

Задействованные в измерениях детекторы располагались на линии, соединяющей их центры с центром отверстия направляющей трубы поворотной плиты станции упаковки. Высота установки детекторов относительно перекрытия бассейна была выбрана различной, чтобы избежать экранирования детекторов друг другом. Схема расположения детекторов показана на рис. 1.

Среднее значение фоновое МЭД в месте проведения измерений составляло 0,75 мР/ч.

Проведение измерений

Дозиметрическое обследование упаковок с ОТВС выполнялось согласно нижеприведенной последовательности.

1. Упаковка перемещалась с помощью крана в подводном положении из ячейки хранения в бассейне выдержки реактора к месту проведения измерений.

2. Предназначенная для измерения упаковка ориентировалась так, чтобы наиболее «горячая» образующая ее боковой поверхности была развернута в направлении

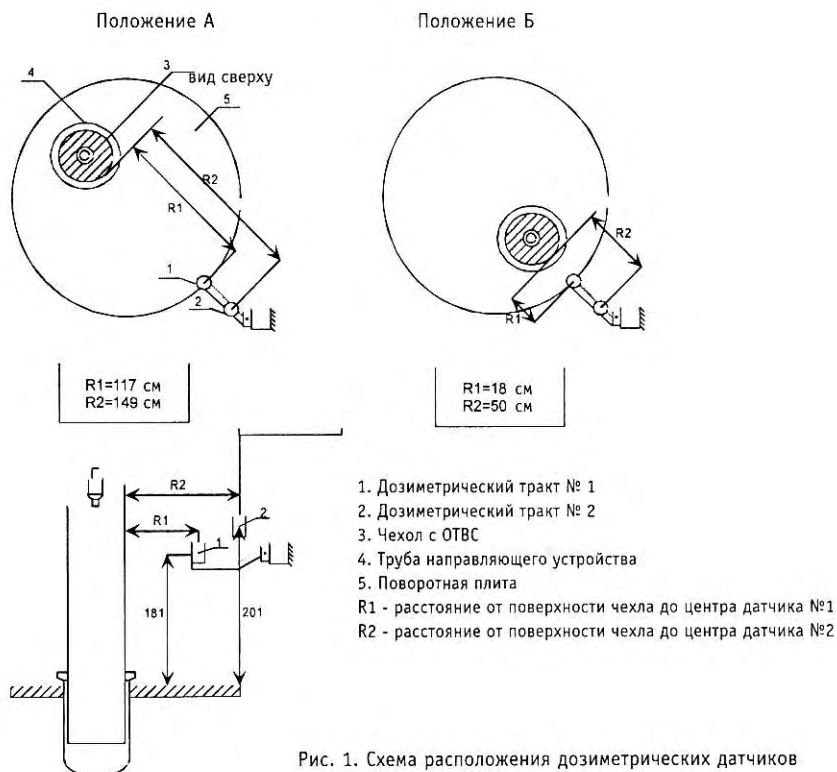


Рис. 1. Схема расположения дозиметрических датчиков

расположения детекторов.

3. Производился подъем упаковки с помощью захватного устройства и крана через направляющую трубу поворотного устройства со дна бассейна к месту проведения измерений (см. рис. 1).

Процесс перемещения упаковки вдоль детекторов проводился пошагово, с последовательными остановками для измерений. Это позволило сканировать МЭД с шагом 20 см в 22 точках вдоль боковой поверхности упаковок.

Перемещение упаковки в вертикальной плоскости осуществлялось отдельно в положении А и Б поворотного устройства. Такое его расположение позволило провести измерение МЭД для четырех точек в горизонтальной плоскости, имеющих разное удаление поверхности упаковки от детекторов (18, 50, 117 и 149 см, рис.1).

Измерения для упаковок типа 22 проводились только в положении А, что соответствует удалению их поверхности от детектора на расстояние 117 и 149 см (рис.1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты измерений упаковок с ОТВС приведены на рис. 2–7 (длина ОТВС -350 см, упаковки – 4 м).

Специальные экспериментальные исследования распределения МЭД в воздухе вокруг упаковки с ОТВС в плоскости ее поперечного сечения не проводились. Для построения указанных распределений использовались результаты измерений потоков гамма-излучения счетчиком SPAM, выполненных в подводном положении. Предполагалось, что формы распределений поля гамма-излучения от упаковки в воздухе и воде идентичны. Поэтому для получения численных параметров поля гамма-излучения результаты измерения тока ионизационных камер счетчика SPAM были нормированы на результаты измерений МЭД от упаковки в воздухе. На рис. 8–11 пока-

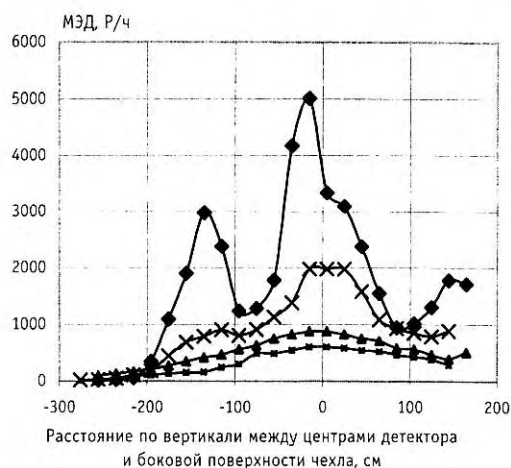


Рис. 2. Распределение МЭД вдоль боковой поверхности чехла типа 42: \blacklozenge – для 18 см; \times – для 50 см; \blacktriangle – для 117 см; \blacksquare – для 149 см

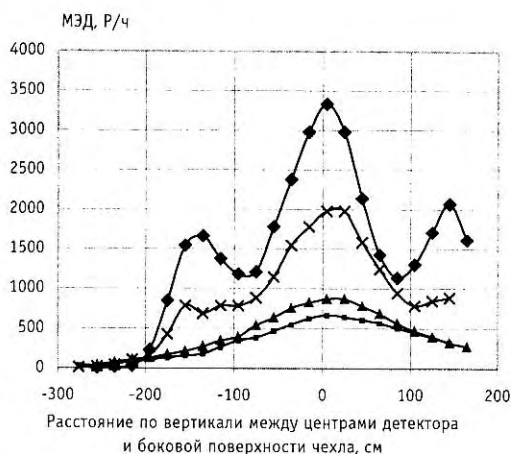


Рис. 3. Распределение МЭД вдоль боковой поверхности чехла типа 33: \blacklozenge – для 18 см; \times – для 50 см; \blacktriangle – для 117 см; \blacksquare – для 149 см

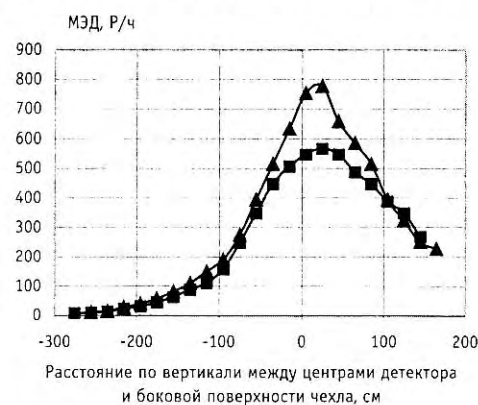


Рис. 4. Распределение МЭД вдоль боковой поверхности чехла типа 22: \blacktriangle – для 117 см; \blacksquare – для 149 см

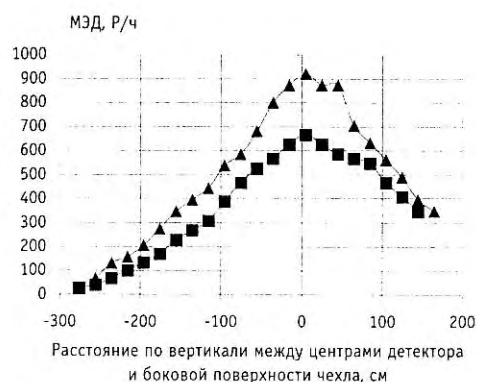


Рис. 5. Распределение МЭД вдоль боковой поверхности чехла типа 22*: \blacktriangle – для 117 см; \blacksquare – для 149 см



Рис. 6. Распределение МЭД вдоль боковой поверхности чехлов на расстоянии 117 см: \blacktriangle – чехол типа 42; \bullet – чехол типа 33; \blacksquare – чехол типа 22; \blacklozenge – чехол типа 22*

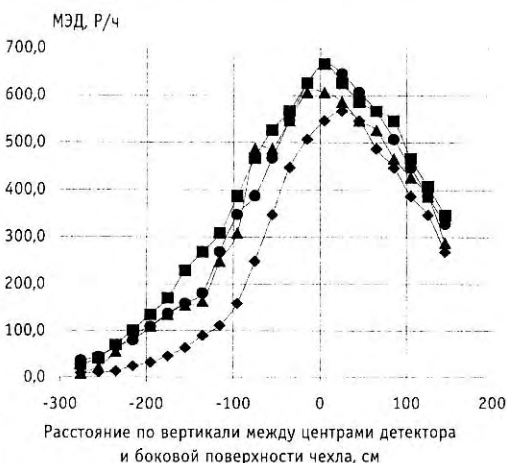


Рис. 7. Распределение МЭД вдоль боковой поверхности чехлов на расстоянии 149 см: \blacktriangle – чехол типа 42; \bullet – чехол типа 33; \blacksquare – чехол типа 22; \blacklozenge – чехол типа 22*

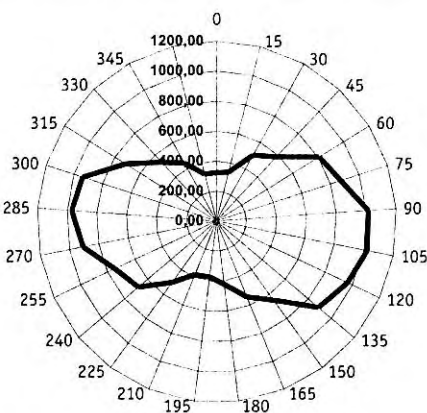


Рис. 8. Распределение МЭД в аксиальной плоскости чехла типа 42

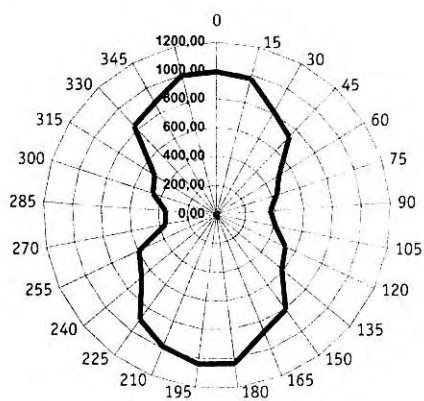


Рис. 9. Распределение МЭД в аксиальной плоскости чехла типа 33

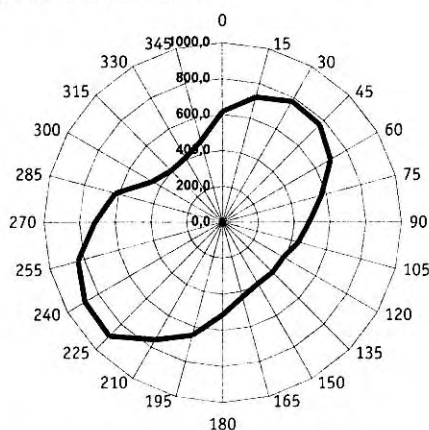


Рис. 10. Распределение МЭД в аксиальной плоскости чехла типа 22

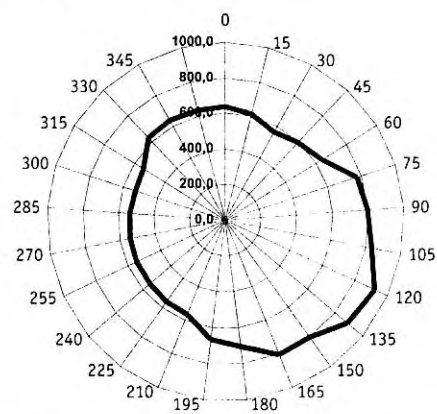


Рис. 11. Распределение МЭД в аксиальной плоскости чехла типа 22*

заны результаты нормировки в плоскости поперечного сечения +5 см относительно центра боковой поверхности упаковки и детектора, отстоящего от ее боковой поверхности на расстоянии 117 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных экспериментальных работ были сформулированы следующие выводы.

1. Распределения МЭД по высоте чехлов с ОТВС носят подобный характер для всех видов сборок. В распределении выделяется основной максимум, соответствующий центральной части твэл, а также два максимума, соответствующие нижней и верхней концевым частям ОТВС. Наличие дополнительных (помимо основного) максимумов в распределении обусловлено активацией нержавеющей стали в концевых частях ОТВС.

2. При удалении от чехла в радиальном направлении распределение МЭД выравнивается и принимает вид кривой с одним максимумом в области размещения топлива. Спад МЭД в радиальном направлении для центральной части чехла имеет экспоненциальную форму.

3. Абсолютное значение МЭД на расстоянии порядка 20 см от наружной поверхности чехла с ОТВС не превышает единиц рентгена в секунду, на расстоянии 1 м – 1000 Р/ч. Таким образом, категория ядерного материала с точки зрения его физи-

ческой защиты при выполнении операций перевозки и хранения, может быть изменена (согласно [1]) с первой на вторую.

4. Распределения МЭД в радиальной плоскости упаковок различны для различных типов чехлов, что обусловлено отличиями в их загрузке (соотношением между количеством топливных и экранных сборок).

5. Опыт и методология изучения полей мощности экспозиционной дозы вблизи облученного топлива реактора на быстрых нейтронах могут быть использованы в отношении ОТВС реакторных установок другого типа и назначения.

Литература

1. The physical protection of nuclear material and nuclear facilities. International Atomic Energy Agency. INFCIRC/225/Rev.4 (Corrected), Austria-June 1999. – 28p.
2. Klaus Debertin, Richard G. Helmer. Gamma- and X-ray spectrometry with semiconductor detectors. PNHC. North-Holland Amsterdam, Oxford, New York, Tokio, 1988. – 367 p.
3. Брискман Б.А., Генералов В.В., Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С. Внутриреакторная дозиметрия. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 200 с.
4. Грознов В.Н., Котов В.М., Парамонов В.В., Сорокин Б.В., Черепнин Ю.С. Измерение распределений активности источников неразрушающим методом//Атомная энергия. – 1979. – Т. 47. – Вып. 2. – С. 144.

Поступила в редакцию 3.10.2005

УДК 621.039.516.4

Advanced HTGR Fuels To Improve Proliferation Resistance \V.V. Artisyuk, A.V. Korzunin, Yu.A. Korovin; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 7 pages, 7 illustrations, 3 tables. – References, 4 titles.

The present paper advertises doping of minor actinides isotopes as an essential measure to improve proliferation resistance properties of uranium based HTGR fuel. The doping composition corresponds to one discharged from a current PWR. Doping of 5 at.% to 20% enriched uranium oxide fuel shows the potential of denaturing plutonium isotopic vector starting from the very beginning of fuel irradiation thus increasing material barrier against unsanctioned proliferation.

УДК 621.039.526

The Experimental Investigation of the Dose Rate Neaby to the Fast Reactor Spent Fuel \V.I. Boiko, M.E. Silaev, Y.S. Cherepnin, I.V. Shamanin; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 8 pages, 11 illustrations. – References, 4 titles.

The work is done within the framework of the BN-350 fast reactor decommission plan. The main goal was the measurement of the exposure dose rate in the area closed to canisters with the spent fuel. The horizontal and axial dose rate distributions were determined for some characteristic spent fuel canisters. The analysis of measurement results was done.

УДК 621.039.564

The Investigation of the Acoustic Probe System for Analysis of a Level of Water Boiling Coolant \V.I. Melnikov, V.N. Chochlov, V.V. Ivanov, A.V. Dunzev; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 6 pages, 9 illustrations. – References, 2 titles.

The developed acoustic probe system for a level and amount of liquid phase analysis on examination of a vapor space distribution in control boiling water volume has been investigated. The acoustic probe system allows to determinate the state of phase into 8 local volume by probes placed along the height of vessel, and to study dispersing properties of the vapor-liquid water mixture.

The construction of the acoustic device, computer program, laboratory and testing unit experiments are described.

УДК 621.039

Job Training System for the Staffing of an Organization Comprising Nuclear-and-Radiation Dangerous Productions and Facilities \Yu.N. Seleznev; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 9 pages, 3 illustrations. – References, 15 titles.

This article summarizes author's four-year work on the analysis of the state of the training system for the staffing of Rosatom and the development of some industrial standards regarding the personnel management. The study allowed to define the occupational training system of an organization; to determine its place in the national system of the professional education, in the personnel management system of an organization, in the quality management system of an organization, in the economic safety system of an organization; to determine the role of the job training for the maintenance of necessary skills and competence of the staffing; to suggest uniform organizational-and-methodical approaches to the occupational training implementation for industrial enterprises of Russia.