

**В.Г.КОНДРАТЬЕВ, канд. техн. наук, ведущий специалист, 8(813) 362 27 390
Ленинградская атомная электростанция**

**V.G.KONDRATJEV, PhD in eng. sc., leading research assistant, 8(813) 362 27 390
Leningrad nuclear power plant**

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ И ПРИБОРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПОДЗЕМНОМ РАЗМЕЩЕНИИ ПУНКТОВ ХРАНЕНИЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И ПОДЗЕМНЫХ АТОМНЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Предлагаются методология и аппаратурный комплекс для динамического радиационного контроля радиоактивных отходов и ядерных материалов, размещаемых в подземных хранилищах, с целью решения проблем выявления изменений радиационных полей на минимальном уровне.

Ключевые слова: динамический радиационный контроль, радиоактивные отходы, ядерные материалы, подземные хранилища.

DYNAMIC RADIATION CONTROL METHODS AND INSTRUMENTS APPLICATION PECULIARITIES AT UNDERGROUND POINTS FOR NUCLEAR MATERIALS STORAGE PLACEMENT, RADIOACTIVE WASTE STORAGES AND UNDERGROUND NUCLEAR THERMO POWER PLANTS

Equipment set for dynamic radiation monitoring of nuclear wastes and nuclear materials kept in subsurface storage as well as methodology of radiation fields' minimal changes control are offered.

Key words: dynamic radiation, radioactive wastes, nuclear materials, subsurface storage.

Подземные сооружения (тунNELи, хранилища, различные шахтные сооружения) в настоящее время рассматриваются как места размещения хранилищ временного и долговременного (окончательного) захоронения радиоактивных отходов ядерно-энергетического цикла, промышленных (не связанных с ядерной энергетикой) радиоактивных отходов низкой и средней степени активности, которые в результате переработки могут быть переведены в раздел высокорадиоактивных отходов и даже энергетических ядерных энергоблоков, в том числе подземных атомных теплоэлектростанций (ПАТЭС) [2, 3, 11, 14].

Так, «Ленинградский филиал» ФГУП «РосРАО» представляет многоцелевой технологический комплекс по обращению с радиоактивными отходами (РАО) в виде твердых РАО навалом, а также упаковок длительного хранения (УДХ), располагаемых в отсеках наземных железобетонных хранилищ. В настоящее время «Ленинградский филиал» ФГУП «РосРАО» рассматривает в качестве одного из основных перспективных направлений своего развития подземное размещение хранилищ с радиоактивными отходами [2, 3, 14].

На площадке ФГУП «РосРАО» эксплуатируется комплекс из 15 хранилищ для

твердых и отверженных отходов объемом 65 тыс.м³. Количество накопленных некондиционированных отходов, находящихся на хранении, составляет более 60 тыс.м³. К 2015 г. (предполагаемый срок сдачи в эксплуатацию 1-й очереди регионального ПЗРО объемом 50 тыс.м³) к захоронению будут подготовлены 2250 контейнеров, что составит 8210 м³ [2, 3].

Заполненные навалом (ТРО) и наливом (битумный компаунд) хранилища «Ленинградского филиала» ФГУП «РосРАО» в перспективе должны быть выведены из эксплуатации, отходы выгружены, переработаны и упакованы в контейнеры. Упаковки с кондиционированными РАО подлежат долговременному хранению и захоронению.

Единственное решение проблемы изоляции короткоживущих низко- и среднеактивных РАО и обеспечения дальнейшего безопасного развития объектов использования атомной энергии в регионе, которому следует практически все европейские страны, – это создание приповерхностных, подземных пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) [2, 3].

В результате исследовательских работ с привлечением зарубежных исполнителей был предложен подземный тип конструкции ПЗРО:

- концептуальный проект регионального ПЗРО подземного типа в виде камер большого объема в рамках проекта TACIS финской фирмой IVO PE LTD в консорциуме с французской фирмой SGN и английской фирмой AEA Technology при участии ГИ «ВНИПИЭТ» и Ленметрогипротранс;

- концепция создания регионального ПЗРО в Ленинградской области в консорциуме с фирмой SKB International Consultants AB (Швеция) и при участии экспертов фирмы DBE Technology (Германия) [2, 3, 14].

Для подземного ПЗРО прорабатывались два варианта конструкций:

- аналог технических решений по конструкции подземного варианта хранилища, разработанного по проекту TACIS NUCRUS-94.95 фирмой IVO POWER Engineering Ltd (Финляндия) с использованием технологии и элементов конструкций линии метрополи-

тена с камерами для размещения упаковок РАО (камерный вариант);

- подземный туннель с использованием проходческого щита большого диаметра, аналог технических решений – транспортный туннель под Серебряным Бором, г.Москва (туннельный вариант) [2, 3, 14].

Подземный ПЗРО представляет собой туннель диаметром 14,2 м и длиной 600 м. Для загрузки объема первой очереди (50 000 м³) потребуется строительство одного туннеля, для загрузки проектного объема РАО (250 000 м³) предусмотрено строительство пяти туннелей. Строительство производится при помощи горно-проходческого щита. Горно-проходческий щит высокотехнологичен и обладает большой производительностью. Он позволяет одновременно с проходкой туннеля выполнять обделку туннеля, состоящую из железобетонных тюбингов. Максимальная скорость проходки достигнута при строительстве транспортного туннеля под Серебряным Бором и составляет 1 км в месяц.

Аналогичные камерные и туннельные варианты рассматриваются и для подземного размещения ЯЭУ(ПАТС), аналогичные тем, что в настоящее время реализуются в транспортируемых (на несамоходных плавучих средствах) АЭС, в основном для районов Крайнего Севера [3, 14].

Элементы подземного размещения, в виде элементов конструкций линий метрополитена, или туннельные варианты, рассмотренные как возможные решения при строительстве долговременных хранилищ радиоактивных отходов, не имеющих отношения к ядерной энергетике, с успехом могут быть применены и для размещения радиационных отходов ядерной энергетики, ядерных материалов и энергоблоков типа ПАТС. При этом полностью реализуются достигнутые технологические и строительные решения по строительству, укреплению и облицовке защитных поверхностей; технические данные проходческих щитов и иных технических средств; достигнутые диаметры туннелей и штолен, в том числе и в пределах 10-14,2 м [2, 3].

При этом соответствующие требования МАГАТЭ и российских руководящих документов по безопасности (как для способов хранения радиоактивных отходов и ядерных материалов, так и для эксплуатации атомных энергоустановок для производства электрической и тепловой энергии, в том числе и для «малой энергетики»), в настоящее время постоянно меняются в сторону ужесточения [1-3, 8-11].

Для удовлетворения этих требований при хранении радиоактивных и делящихся материалов или использовании ядерных энергоблоков необходимо выполнять соответствующие требования по радиационной и ядерной безопасности, в том числе в случае не только внешнего воздействия природного или техногенного характера, но и внутреннего воздействия при авариях на объектах хранения или эксплуатации ЯЭУ [2, 8-11]. При этом должны быть задействованы физическая защита «в глубину», диагностика радиационных и ядерных аварий, соответствующий мониторинг всех событий для выдачи в реальном масштабе времени аргументированных рекомендаций по управлению авариями с минимизацией ущерба и экологического воздействия на персонал, население и окружающую среду. Наиболее приемлема методология динамического радиационного контроля гамма-полей (см. рисунок) с поправками и ограничениями, которые необходимы для решений этих конкретных задач.

На рисунке представлена полномасштабная картина возможного применения методологии ДРК в диапазоне от поиска руд природных радиоактивных семейств до завершения радиационной или ядерной аварии транспортной, транспортируемой или стационарной энергоустановки и оценки последствий аварий по шкалеINES.

Метод аппаратурного радиационного контроля в атомной энергетике, основанный на измерении дозовых параметров аварийных радиационных полей, в основном гамма-полей, за последние 50 лет не претерпел значительных изменений и по существу дает слишком мало информации для создания моделей прогноза радиационных

аварий, адекватного радиационного мониторинга аварийно-восстановительного процесса, и для управления радиационными авариями [1, 4-7].

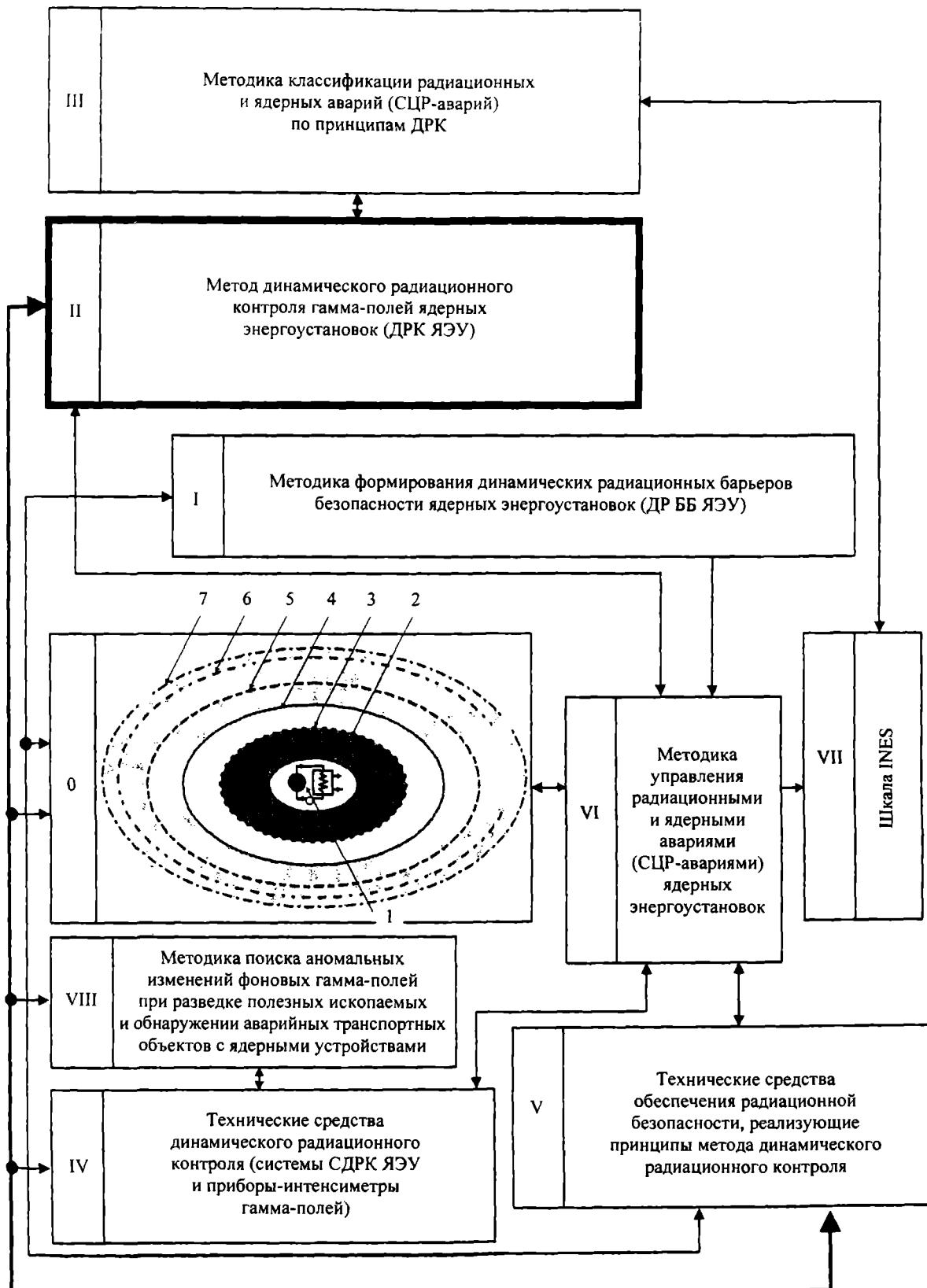
В статье [6] оценены отдельные возможности динамических дозовых параметров для целей приборного контроля с помощью разработанных макетных приборов интенсиметров типа «Дозинф-Т» и «Дозинф-РТ».

В табл.1 и 2 представлены одиночные параметры (базовая – МЭД, информационно-временная – СИМЭД, уточняющая временная – УИМЭД, информационно-линейная – ЛИМЭД и информационно-пространственная – ПИМЭД) и их комплексные показатели за весь аварийно-восстановительный процесс (КП СИМЭД, КП УИМЭД, КП ЛИМЭД и КП ПИМЭД) с выделенными пятью зонами аварийного гамма- поля и пятью временными этапами аварийно-восстановительного процесса.

Динамический радиационный контроль – это способ выявления информации из гамма-полей, образующихся при радиационных и ядерных (СЦР-аварий) энергоустановок на основе комплексных исследований динамических дозовых характеристик во времени и в пространстве [4-7].

Приборная реализация динамического радиационного контроля осуществляется интенсиметрами аварийного гамма- поля дозиметрами, производящими косвенные измерения эквивалентных дозовых характеристик (эквивалентной дозы ЭД, мощности эквивалентной дозы МЭД) и выполняющими расчетно-вычислительные акты по определению одиночных динамических дозовых параметров во времени и в пространстве (СИМЭД, УИМЭД, ЛИМЭД, ПИМЭД – табл.1) и операции по определению комплексных динамических показателей (КП СИМЭД, КП УИМЭД, КП ЛИМЭД, КП ПИМЭД – табл.2) [5, 7].

Разработанные во ФГУП «НИТИ имени А.П.Александрова» интенсиметры аварийных гамма-полей «Дозинф-Т» и «Дозинф-РТ» способны осуществлять выполнение функций по определению одиночных и комплексных динамических дозовых характеристик (табл.1, 2) аварийных гамма-полей [4-7].



Структура взаимодействующих методов, методик и технических средств динамического радиационного контроля

Таблица 1

Одиночные динамические дозовые параметры гамма-полей на основе эквивалентной дозы (ЭД)

Блок величин	Величина, символ	Единицы измерения		Связь между единицами
		СИ	внесистемные	
Основной дозовый предел	Эквивалентная доза, $D\gamma_{\text{экв}}$ (ЭД)	Зиверт	Бэр	1 Зв = 100 бэр
Производные				
Базовая	Мощность эквивалентной дозы $P\gamma_{\text{экв}}$ (МЭД)	Зиверт в секунду	Бэр в секунду	1 Зв/с = 100 бэр/с
Информационно-временная	Скорость изменения мощности эквивалентной дозы, $A\gamma_{\text{экв}}$ (СИМЭД)	Зиверт в секунду за секунду	Бэр в секунду за секунду	1 Зв/с·с = 100 бэр/с·с
Уточняющая временная	Ускорение изменения мощности эквивалентной дозы, $W\gamma_{\text{экв}}$ (УИМЭД)	Зиверт в секунду за секунду в квадрате	Бэр в секунду за секунду в квадрате	1 Зв/с·с ² = 100 бэр/с·с ²
Информационно-пространственная	Пространственное изменение мощности эквивалентной дозы, $V\gamma_{\text{экв}}$ (ПИМЭД)	Зиверт в секунду на метр·метр·метр	Бэр в секунду на метр	1 Зв/с·м·м·м = = 100 бэр/с·м·м·м
Информационно-линейная	Линейное (в выбранном направлении) изменение МЭД, $B\gamma_{\text{экв}}$ (ЛИМЭД)	Зиверт в секунду на метр	Бэр в секунду на метр	1 Зв/с·м = 100 бэр/с·м

Таблица 2

Комплексные динамические дозовые характеристики аварийных гамма-полей

Величина, символ	Название и обозначение характеристики во внесистемных единицах	Название и обозначение характеристики в единицах СИ	Связь между комплексными характеристиками
Комплексный показатель скорости изменения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения по этапам АВП, $\Sigma A\gamma_{\text{экв}}$ (КП СИМЭД)	бэр/с·с ($t_1 V_1 t_2 V_2 t_3 V_3 t_4 V_4 t_5$) при $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = 1 \text{ с}$, где 1-5 – этапы АВП	Зв/с·с	1 КП СИМЭД на основе Зв/с·с равен 100 КП СИМЭД на основе бэр/с·с
Комплексный показатель ускорения изменения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения по этапам АВП, $\Sigma W\gamma_{\text{экв}}$ (КП УИМЭД)	бэр/с·с·с ($t_1 V_1 t_2 V_2 t_3 V_3 t_4 V_4 t_5$) при $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = 1 \text{ с}$	Зв/с·с·с	1 КП УИМЭД на основе Зв/с·с·с равен 100 КП УИМЭД на основе бэр/с·с·с
Комплексный показатель линейного изменения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения по зонам аварийного поля, $\Sigma B\gamma_{\text{экв}}$ (КП ЛИМЭД)	бэр/с·м ($l_1 V_1 l_2 V_2 l_3 V_3 l_4 V_4 l_5$) при $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 1 \text{ м}$, где 1-5 – зоны аварийного поля	Зв/с·м	1 КП ЛИМЭД на основе Зв/с·м равен 100 КП ЛИМЭД на основе бэр/с·м
Комплексный показатель пространственного изменения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения по зонам аварийного поля, $\Sigma V\gamma_{\text{экв}}$ (КП ПИМЭД)	бэр/с·м·м·м ($r_1 V_1 r_2 V_2 r_3 V_3 r_4 V_4 r_5$) при $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = 1 \text{ м} \cdot \text{м} \cdot \text{м}$,	Зв/с·м·м·м	1 КП ПИМЭД на основе Зв/с·м·м·м равен 100 КП ПИМЭД на основе бэр/с·м·м·м

Новые дозовые характеристики в соответствии с требованиями Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) связаны с основными дозовыми пределами (эквивалентной дозой) по определенному математическому закону и поэтому являются производными от них, существенно расширяя информационную отдачу аварийных гамма-полей, появляющихся в пространстве в связи с радиационной аварией транспортной ЯЭУ или ядерных энергоблоков [5, 7, 9, 10].

Это производится для выявления зон аварийных полей, эффективного формирования физических барьеров безопасности и их контроля, а также определения этапов аварийно-восстановительного процесса на уровне комплексного показателя скорости изменения мощности эквивалентной дозы в контролируемых точках при мониторинге поставарийных событий в реальном масштабе времени с целью формирования обоснованных управляющих воздействий на аварийные процессы [4-11].

С помощью измерительно-расчетных актов определения одиночных динамических дозовых параметров (СИМЭД И УИМЭД) можно существенно «уменьшить» фоновый порог меняющихся во времени значений дозовых составляющих аварийных гамма-полей. Это преимущество при определении СИМЭД увеличивает время на производство одного измерительно-обрабатывающего акта.

Интенсиметр на основе дозиметра ДКГ-01Д «Гарант» способен выполнять измерительно-обрабатывающие акты в трех режимах, связанных со временем измерения мощности эквивалентной дозы: 1-й – 0,1 с, 2-й – 1 с, 3-й – 10 с [5, 7].

Временные параметры выполнения измерительно-обрабатывающих актов определения динамических дозовых параметров следующие: измерение МЭД – 1 с; определение СИМЭД – 5 с, расчет ускорения изменения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в измеряемых точках (УИМЭД) – 25 с [7].

Выводы

1. Разработанный класс дозиметров-интенсиметров гамма-полей является по своим

функциями более общим по сравнению с обычными дозиметрами и позволяет на их основе разработать систему динамического радиационного контроля источников ионизирующих излучений как в виде радиоактивных отходов и ядерных материалов, так и объектов «малой энергетики» (ПАТС), подземного размещения типа АКРБ-08,06, АСКРО [4-8, 10-13].

2. Предложенная методология динамического радиационного контроля включает целый комплекс методик и реализующих их технических средств, который в каждом частном случае подземного размещения источников ионизирующих излучений решает проблемы выделения аварийных изменений радиационных полей на самом минимальном уровне, в настоящее время скрытых значительными переменными фоновыми гамма-полями.

3. С целью реализации на практике основного принципа радиационной защиты – «защита расстоянием и временем» – подход, основанный на использовании методов и приборов динамического радиационного контроля (см. рисунок), позволяет разработать и внедрить в практику динамические радиационные барьеры безопасности.

4. Решение проблемы управления радиационными и ядерными авариями при подземном размещении источников ионизирующих излучений (радиоактивных отходов, ядерных материалов и ядерных энергостановок) обеспечивает выполнение допустимого соотношения ущерб/затраты по требованиям международных и российских нормативных документов [7, 9, 10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахин Р.М. Допустимые уровни радиационного воздействия и эффективность защитных мероприятий при радиационных авариях / Р.М.Алексахин, Г.М.Аветисов // Атомная энергия. 1992. Т.72. Вып.3.
2. Демин А.В. Концепция создания регионального могильника кондиционированных РАО низкого и среднего уровня активности в Северо-Западном регионе: Сб. докладов 3-го Международного ядерного форума / А.В.Демин, В.Т.Сорокин, Т.В.Шидловская, С.А.Великина. СПб, 2008.
3. Игнатов А.А. Перспективы создания регионального ГЭРО на Северо-Западе России / А.А.Игнатов, Б.А.Каратасев, В.М.Липканский // Экология и атомная энергетика. 2007. № 2.

4. Кондратьев В.Г. Оптимизация информационной поддержки и управления радиационными авариями АЭУ на основе использования динамического радиационного контроля // Экология и атомная энергетика. 2000. № 2.
5. Кондратьев В.Г Технология разработки и применения динамических радиационных барьеров безопасности судовых ядерных энергетических установок. СПб: Изд-во «Моринтех», 2005.
6. Кондратьев В.Г Роль вводимого уровня динамических дозовых характеристик для оценки меняющихся в пространстве и во времени аварийных гамма-полей ЯЭУ: Сб. докладов 5-го Научно-технического совещания «Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике». Сосновый Бор: Изд-во ФГУП «НИТИ», 2009.
7. Кондратьев В.Г. Гамма-поля в процессе управления радиационными авариями судовых ЯЭУ // Экология и атомная энергетика. 2008. Вып.1.
8. Михоя Э. Система радиационного мониторинга окружающей среды / Э.Михоя, А.Минагоси, Х.Сато // Атомная техника за рубежом. 1998. № 11.
9. Нормы радиационной безопасности НРБ-99. М.: Энергоатомиздат, 2000.
10. Основные принципы безопасности атомных электростанций: Доклад МАГАТЭ / INSAG-3. № 75.
11. Петров Э.Л. Научно-технические основы экономической и экологической конкурентоспособности подземных атомных электростанций на базе технологий судового машиностроения: Материалы 16-й Ежегодной конференции Ядерного общества России / ВНИИАЭС. М., 2006.
12. Потапов А.И. Мониторинг, контроль, управление качеством окружающей среды / А.И.Потапов, О.Н.Будадин, Т.Е.Троицкий-Марков, С.А.Михайлов. М.: Наука, 2005.
13. Сивинцев Ю.В. Оценка радиационной обстановки при реактивностных авариях // Атомная техника за рубежом. 2008. № 1.
14. Якушев М.Ф. Обеспечение долговременного хранения радиоактивных отходов в Ленинградской области // Экологические вести. 2003. № 6.
- tive measures effectiveness Nuclear power. 1992. Vol.72. Iss.3.
2. Demin F.V., Sorokin V.T., Shidlovskaja T.V., Velikina S.A. Theory of burial facility for low and medium level radioactive wastes setting-up in the North-Western region: Coll. vol. The third international nuclear forum reports. Saint Petersburg, 2008.
3. Ignatov A.A., Karatajev B.A., Lipkansky V.M. Perspectives of burial facility for radioactive wastes building in the north-west of Russia // Ecology and nuclear power. 2007. N 2.
4. Kondratjev V.G. Optimization of information support and nuclear power station radiation accidents control on the basis of dynamic radiation monitoring // Ecology and nuclear power. 2000. № 2.
5. Kondratjev V.G. Design and development technology of atomic marine plants' dynamic radiation protection barriers. Saint Petersburg: Morintech Press, 2005.
6. Kondratjev V.G. The role of dynamic dose level characteristics for nuclear power plant's non-permanent emergency gamma fields assessment: Coll. vol. «Problems and perspectives of chemical and nuclear-chemical control in atomics». The fifth scientific meeting's reports. Sosnovy Bor: FSUE «NITI» Press. 2009.
7. Kondratjev V.G. Gamma-ray fields role in the process of atomic marine plants nuclear accidents' control // Ecology and atomics. 2008.
8. Michoja E., Minagosy A., Sato H. Environment radiation monitoring system // Foreign nuclear engineering. 1998. № 11.
9. Standards of radiation safety SRS-99. Moscow: Ergoatomizdat, 2000.
10. Basic principles of atomic power stations safety: IAEA report / INSAG-3. N 75.
11. Petrov E.L. Scientific and technical basis of the ship's machinery based underground nuclear power plants' economic and environmental competitiveness: Russian Nuclear Society 16-th annual conference / VNIIAEC. Moscow, 2006.
12. Potapov A.I., Budadin O.N., Troitsky-Markov T.E., Michailov S.A. Monitoring, control and management of environment quality. Moscow: Nauka, 2005.
13. Sivintsev U.V. Reactivity accidents' radiation environment control. // Foreign nuclear engineering. 2008. N 1.
14. Jakushev M.F. Ensuring of the radioactive wastes long-term storage in Leningrad region // Ecological News. 2003. № 6.

REFERENCES

1. Aleksahin R.M., Avetisov G.M. Admissible levels of radiation exposure and radiation accidents protec-