

- Е.94.IX.2. United Nations, New York, 1993. 1988 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.88.IX.7. United Nations, New York, 1988.
3. ExternE. Externalities of Energy. V. 5: Nuclear. European Commission, ISBN 92-827-5214-3, ECSC-EC-EAEC, Brussels-Luxembourg, 1995.
 4. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series №115. Vienna: IAEA, 1996.
 5. Крышев И.И., Алексахин Р.М., Сазыкина Т.Г. и др. Радиоактивность районов АЭС. М., Ядерное общество СССР, 1991.
 6. Гусев Н.Г., Головкин М.Ю., Шамов О.И. и др. Выброс радиоактивных газов и аэрозолей серийными атомными станциями. — Атомная энергия, 1993, т. 74, вып. 4, с. 360—364.
 7. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1991—1995 гг. Под ред. К.П. Махонько, НПО «Тайфун».
 8. Косинский В.В., Орлов М.И., Шамов В.П. Образование трития на атомных электростанциях с РБМК и его поступление в окружающую среду. М., ЦНИИАтоминформ, 1987.
 9. Гайко В.Б., Корблев Н.А., Соловьев Е.Н. и др. Образование и выброс ^{14}C на атомных электростанциях с реактором РБМК. М., ЦНИИАтоминформ, 1986.
 10. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Атомная энергетика и биосфера. — Вестник АН СССР, 1991, №2, с. 39—52.
 11. Блинова Л.Д., Недбаевская Н.М. Ленинградская АЭС: радиозоологический мониторинг. — В сб.: Научный информ.-метод. бюл., 1995, №2/3, (Ядерное общество России).

Поступила в Редакцию 20.07.98

УДК 612.014.481.658.54

ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ*

Кутьков В.А., Демин В.Ф. (РНЦ «Курчатовский ин-т»), Голиков В.Я.
(Российская медицинская академия последипломного обучения)

К 1 января 2000 г. на всех предприятиях Российской Федерации должны быть введены в действие новые Нормы радиационной безопасности России — НРБ-96 [1]. Они были приняты в 1996 г. взамен последних Норм радиационной безопасности СССР НРБ-76/87 [2], которые просуществовали фактически в неизменном виде более 30 лет. Развитие стандартов радиационной безопасности — это история совершенствования системы контроля за источниками ионизирующего излучения и управления ими. Введение в действие в нашей стране современных Норм радиационной безопасности требует переосмысления целей, задач и методов радиационной безопасности и радиационной защиты персонала и населения.

Радиационная безопасность. Радиационная безопасность и защита являются системой мер, включающей:

процедуры и устройства для удержания дозы облучения людей и риска возникновения неблагоприятных последствий ниже установленных пределов и на таком возможно низком уровне, который реально достижим;

средства достижения защиты людей от воздействия ионизирующего излучения и их безопасности;

процедуры и устройства для предотвращения аварий и смягчения их последствий в случае, если они возникают.

Цели радиационной безопасности заключаются в охране здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании источников ионизирующего излучения. По современным представлениям главным содержанием радиационной безопасности является управление источником на всех этапах его жизни для того, чтобы обеспечить безопасное состояние. Возможности управ-

*Журнальный вариант доклада на 7-й Российской научной конференции по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок (Обнинск, ГНЦ РФ-ФЭИ им. А.И. Лейпунского, сентябрь 1998).

ления различными видами источников ионизирующего излучения (природными, техногенными, медицинскими) и соответствующими видами облучения различны. Под облучением понимают воздействие ионизирующего излучения на человека. В качестве меры воздействия используется доза облучения, определение которой зависит от эффекта, рассматриваемого в качестве результата воздействия. Реальную опасность для здоровья людей могут представлять только источники, вышедшие из-под контроля, поскольку в нормальных условиях их контролируемого использования доза облучения персонала и населения мала. В этих условиях суммарная доза облучения человека от всех действующих на него источников не регламентируется, а облучение людей источниками различных видов регулируется отдельно с применением разных подходов. Цели радиационной безопасности достигаются при этом в первую очередь путем контроля и управления источниками ионизирующего излучения. По отношению к периоду управления источником различают несколько видов облучения:

завершенное облучение — облучение, происходившее в прошлом. Его значение уже сформировано, и им невозможно управлять в настоящее время;

текущее облучение — часть облучения, происходящего в настоящее время. Система радиационной безопасности должна включать методы и средства управления дозой этого облучения;

потенциальное облучение — облучение, которое может произойти в ближайшее время в течение рассматриваемого периода времени или в отдаленном будущем. Доза потенциального облучения является стохастической величиной, и на основании опыта обращения с источником может быть предсказана лишь с некоторой вероятностью.

В радиационной защите объектами управления являются два вида облучения — текущее и потенциальное. Доза текущего облучения отражает, насколько хорошо эксплуатируется источник и как он соответствует требованиям радиационной безопасности, контроль индивидуальной дозы выступает одним из средств обратной связи между источником и лицом, им управляющим. В целом радиационный контроль облучения является инструментом прогноза дозы потенциального облучения и оценки стабильности обращения с источником, того, насколько хорошо он управляем.

Развитие нормирования. Научной базой радиационной безопасности служит многолетнее наблюдение за группами облученных людей. Цель длительного наблюдения — выявление закономерностей действия ионизирующего излучения в области малой дозы, характерной для условий нормальной эксплуатации источников. Облучение вызывает эффекты двух классов: стохастические и детерминированные (нестохастические). К стохастическим эффектам относят радиогенный рак (злокачественные опухоли и лейкозы) и тяжелые наследственные болезни. Все остальные эффекты, как правило, относят к классу детерминированных (нестохастических). Для радиационной безопасности наиболее важными параметрами, характеризующими эти эффекты, являются следующие:

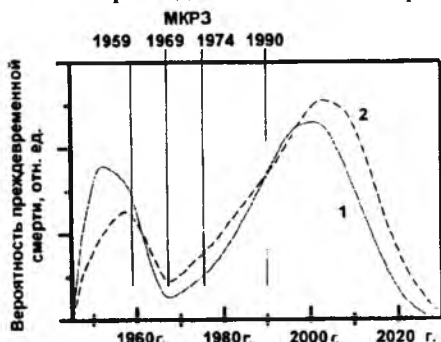
латентный период — период времени, отделяющий воздействие ионизирующей радиации на организм от проявления эффекта в виде диагностируемого заболевания. Латентный период стохастических эффектов сравним с продолжительностью жизни человека. Как правило, детерминированные эффекты имеют значительно более короткий латентный период;

пожизненная вероятность реализации эффекта — вероятность реализации воздействия излучения в виде того или иного эффекта, зависящая от дозы облучения и времени, прошедшего после облучения. Очевидно, что для времени, намного меньшего латентного периода, эта вероятность близка к нулю. В радиационной безопасности, как правило, рассматривается вероятность, отнесенная ко всей ожидаемой продолжительности жизни человека, так называемая пожизненная вероятность. Пожизненную вероятность эффектов, приводящих к смерти человека, обычно называют вероятностью преждевременной смерти. Дозовая зависимость пожизненной вероятности для детерминированных эффектов имеет в области большой дозы порог, ниже которого прояв-

ление эффекта маловероятно. При превышении порога эта вероятность быстро приближается к единице. В области малой дозы принята линейная зависимость пожизненной вероятности для стохастических эффектов;

тяжесть эффекта — число лет жизни человека, которые потеряны в результате преждевременной смерти или заболевания, вызванных облучением. Тяжесть детерминированных эффектов растет по мере увеличения дозы облучения выше пороговой. Тяжесть стохастических эффектов, как правило, не зависит от дозы облучения.

Наибольший вклад в развитие радиационной безопасности внесли результаты изучения эффектов у лиц, получивших большую дозу в результате радиационных аварий, и жертв военного применения атомного оружия — лиц, переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в 1945 г. Чрезвычайно важным для развития радиационной безопасности явился анализ стохастических эффектов ионизирующего излучения в японских когортах. Развернутая во времени вероятность смерти от радиогенного рака для японской когорты представлена на рисунке. Эти данные [3] иллюстрируют закономерности проявления эффектов



Развитие Рекомендаций МКРЗ и динамика реализации последствий атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в 1945 г.: 1, 2 — мужчины и женщины соответственно

и защиты. После обобщения данных о реализации детерминированных эффектов и первой волны стохастических эффектов были опубликованы Рекомендации МКРЗ 1959 г. [4], уточненные в 1967 и 1969 гг. [5, 6]. Рекомендациями МКРЗ сформулирована концепция «критического органа», положенная в основу радиационной безопасности в СССР. Целью концепции было ограничение вероятности возникновения детерминированных эффектов при облучении человека. Во многом она отражала гигиенический подход к безопасности при работе с вредными химическими веществами. На этом закончился первый важный этап изучения последствий атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки.

К началу 70-х гг. развитие ядерной энергетики потребовало создания эффективного инструмента для оптимальной радиационной защиты больших групп персонала и населения. Концепция «критического органа» была малопригодна для использования в таком качестве. Решением проблемы стала предложенная в Рекомендациях МКРЗ 1977 г. [7] концепция «эффективного дозового эквивалента» как радиологической меры вероятности (риска) преждевременной смерти от стохастических эффектов. Эти рекомендации до настоящего времени являются основой для систем радиационной безопасности почти всех развитых стран. Согласно им цель радиационной защиты «должна заключаться в том, чтобы предупредить вредные нестохастические эффекты и ограничить вероятность стохастических эффектов до уровня, считающегося приемлемым».

В конце 80-х гг. концепция радиационной безопасности получила современное представление в виде Рекомендаций МКРЗ 1990 г. [8]. В практику радиационной безопасности взамен эффективного дозового эквивалента введена эффективная эквивалентная доза как мера потенциального ущерба от стохастических эффектов. Все-

стрируют закономерности проявления эффектов в когорте, в которую включены лица, имевшие на момент облучения возраст от 0 до 18 лет и получившие дозу внешнего γ -облучения около 1 Гр. Для аналогичных возрастных когорт с другой дозой облучения следует ожидать иные абсолютные уровни проявления эффектов при аналогичной динамике, характеризуемой двумя волнами: первая — преждевременная смерть от лейкозов, вторая — от твердого рака.

Результаты изучения японских когорт являются главной основой рекомендаций Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) — независимой и наиболее авторитетной научной организации в области радиационной безопасности

сторонняя оценка ущерба, связанного с облучением, является ключевой проблемой радиационной безопасности. В Рекомендациях МКРЗ 1990 г. под ущербом подразумевается «сложное понятие, сочетающее вероятность, степень тяжести эффекта и время его проявления» [8], меру которого можно выразить в числе лет полноценной жизни, потерянных в результате преждевременного заболевания или смерти, вызванных воздействием ионизирующего излучения. При определении ущерба в результате облучения МКРЗ учитывает:

вероятность преждевременной смерти в результате рака за все время ожидаемой жизни или тяжелого генетического нарушения, которое приводит к преждевременной гибели потомков облученных лиц в первых двух поколениях;

вклад в ущерб от несмертельных (излечиваемых) случаев рака как стохастических эффектов облучения;

продолжительность потерянных лет жизни в результате тех или иных стохастических эффектов.

Концепция эффективной дозы. Концепция эффективной дозы является результатом последовательного развития представлений о биологическом действии ионизирующего излучения и поиска меры воздействия ионизирующего излучения, отвечающей целям радиационной безопасности. Эта концепция позволяет перейти от измеряемых физических характеристик поля ионизирующего излучения к потенциальному ущербу как мере воздействия излучения на человека, использование которой создает условия для приведения к единому стоимостному знаменателю вред, затраты и выгоду от применения источников ионизирующего излучения.

Доза в органе D_T в концепции эффективной дозы является важнейшей физической мерой, характеризующей первичное воздействие ионизирующего излучения. Для радиационной защиты она определяется как поглощенная доза, усредненная по массе определенной ткани или органа человеческого тела. В области малой дозы одни и те же радиобиологические эффекты облучения органов могут иметь одинаковую степень тяжести при различной дозе в органе, если на живой организм воздействует ионизирующее излучение различной природы. Поэтому для радиационной защиты в качестве меры неблагоприятных последствий при облучении живого организма, отдельной ткани или органа используется специальная величина — эквивалентная доза. Она равна поглощенной дозе в органе или ткани, умноженной на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного излучения W_R :

$$H_T = \sum_R D_{R,T} W_R,$$

где $D_{T,R}$ — поглощенная доза излучения R в органе или ткани T .

Регламентированные числовые значения взвешивающих коэффициентов установлены примерно равными отношению поглощенной дозы образцового излучения в органе к поглощенной дозе $D_{T,R}$ излучения R в том же органе, при котором наблюдается одна и та же степень тяжести или вероятность возникновения вредного эффекта облучения органа. В качестве образцового принимается любое излучение с малой линейной передачей энергии, включая рентгеновское и γ -излучение.

Поступление радиоактивного вещества в организм зачастую приводит к облучению органов и тканей в течение длительного времени. Мерой такого облучения невозможно управлять. Используя модели биокинетики радионуклидов, можно только предсказать мощность дозы в отдельных органах тела человека. Эти свойства внутреннего облучения позволяют в концепции эффективной дозы поступление радиоактивного вещества в организм рассматривать как событие, за которым неотвратимо следует нанесение человеку потенциального вреда. Как и в случае внешнего облучения, момент нанесения потенциального вреда (или ущерба) при внутреннем облучении совмещается с поступлением радиоактивного вещества в организм, его реализация в виде того или иного эффекта ожидается в течение всей оставшейся жизни человека. В качестве меры не-

благоприятных последствий при облучении отдельной ткани или отдельного органа человека источниками внутреннего излучения в концепции эффективной дозы МКРЗ применяет аналог эквивалентной дозы внешнего излучения — committed equivalent dose (от лат. *committo* — совершать что-либо, за чем следует неотвратимое наказание). В русскоязычной литературе этот термин часто переводится как ожидаемая эквивалентная доза [1] и, к сожалению, трактуется как ожидаемое значение случайной величины, что не отражает содержащийся в изначальном английском термине смысл завершенности действия (облучения) и неотвратимости его последствий. Появившееся в переводе Рекомендаций МКРЗ 1990 г. [8] словосочетание «пятидесятилетняя доза» также далеко по смыслу от изначального английского термина. Наиболее близким по смыслу к английскому термину является термин «накопленная доза», предложенный в работе [9]. Накопленная эквивалентная доза $H_T(\tau)$ имеет смысл временного интеграла мощности эквивалентной дозы в органе или ткани, которая формируется в течение некоторого времени τ после поступления в организм радиоактивного вещества:

$$H_T(\tau) = \sum_R W_R \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \dot{D}_{R,T}(t) dt,$$

где $\dot{D}_{R,T}(t)$ — мощность дозы излучения R в органе T в момент времени t ; t_0 — момент поступления. Принято, что время формирования накопленной дозы составляет 50 лет для взрослых вне зависимости от возраста на момент поступления радиоактивного вещества в организм и момента поступления до возраста 70 лет для детей (лиц младше 20 лет). В рамках концепции эффективной дозы при равенстве H_T и $H_T(\tau)$ следует ожидать в течение оставшейся жизни одинаковые последствия внешнего и внутреннего облучения.

В области малой дозы облучение различных органов или тканей с разной эквивалентной дозой может приводить к одному и тому же ущербу. Для радиационной защиты и безопасности как мера потенциального ущерба от проявления стохастических эффектов облучения всего тела человека или отдельных его органов применяется специальная величина — эффективная эквивалентная доза или сокращенно эффективная доза. Эффективная доза является функционалом, позволяющим привести все возможные случаи неравномерного (внешнего и внутреннего) облучения тела человека к эквивалентному по ущербу равномерному облучению всего тела: облучению с равной эффективной дозой соответствует равный ущерб.

В случае внешнего облучения эффективная доза определяется как произведение эквивалентной дозы H_T на соответствующий взвешивающий коэффициент для органа или ткани W_T

$$E = \sum_T H_T W_T$$

Аналогично в случае внутреннего облучения эффективная доза определяется как произведение накопленной эквивалентной дозы в органе или ткани на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного органа или ткани. Регламентированные числовые значения взвешивающих коэффициентов установлены примерно равными отношению эквивалентной дозы равномерного облучения всего тела к эквивалентной дозе H_T облучения органа T , при которой ожидается один и тот же ущерб.

Потенциальный ущерб в концепции эффективной дозы рассматривают как «математическое ожидание размера нежелательных последствий, т.е. произведение вероятности и тяжести последствий события (преждевременной смерти в результате облучения — Прим. авт.)» [8]. Упрощенно потенциальный ущерб может быть представлен как произведение пожизненной вероятности смерти от радиогенного рака на сред-

нее число лет, которые могут быть потеряны в результате этого события. Последняя величина имеет строго ограниченные пределы (10—30 лет в зависимости от вида рака, т.е. от того, какой орган облучен) и не зависит от дозы облучения. Вероятность преждевременной смерти от проявления стохастических эффектов зависит и от дозы, и от того, какой орган облучен. Для населения она равна $6 \cdot 10^{-2}$ при эквивалентной дозе равномерного облучения всего тела 1 Зв [8]. При облучении отдельного человека мы имеем дело с редкими событиями, имеющими дискретный спектр размеров. Таким образом, применение эффективной дозы для оценки индивидуального ущерба практически бесполезно, поскольку статистические неопределенности таких оценок громадны. Концепция эффективной дозы является инструментом для оценки потенциального пожизненного ущерба при облучении больших групп людей. Облучению эффективной коллективной дозой 1 чел.-Зв соответствует потенциальный ущерб, равный потере 1 чел.-года [1, 8]. В этом заключается принципиальное отличие понятий эффективного дозового эквивалента [7] и эффективной эквивалентной дозы [8], введенных в практику радиационной безопасности в Рекомендациях МКРЗ 1977 и 1990 гг. В таблице представлены данные, показывающие различия в оценках последствий одинакового радиационного воздействия при использовании эффективного дозового эквивалента и эффективной эквивалентной дозы. Первый функционал сконструирован для приведения к единой мере пожизненной вероятности преждевременной смерти облученного человека, второй — ожидаемого коллективного пожизненного ущерба от преждевременной смерти кого-то из группы облученных лиц. Данные показывают, в частности, что использовать эффективную дозу для оценки вероятности (риска) преждевременной смерти нельзя.

Оценка последствий облучения людей одинаковой дозой ионизирующего излучения

Воздействие	Рекомендации МКРЗ 1977 г.* [7]	Рекомендации МКРЗ 1990 г.** [8]	
	Вероятность преждевременной смерти, $1/3\text{в} \cdot 10^{-2}$	Вероятность преждевременной смерти, $1/3\text{в} \cdot 10^{-2}$	Пожизненный ущерб, (чел.-лет)/(чел.-Зв)
Ингаляция $^{238}\text{UO}_2$	1,7	7,2	1,0
Заглатывание:			
^{137}Cs	1,7	6,0	1,0
^{90}Sr	1,6	3,9	1,2
^{131}I	1,6	1,6	0,7
Ингаляция $^{239}\text{PuO}_2$	1,6	1,4	1,0
Внешнее γ -облучение	1,7	6,0	1,0

*,**Воздействие выражено в единицах эффективного дозового эквивалента и эффективной эквивалентной дозы соответственно.

Радиационная безопасность на современном этапе. Главной проблемой радиационной безопасности персонала и населения является изменение философии, выразившееся в замене концепции критического органа на концепцию эффективной дозы. Отметим в этой связи только основные концептуальные отличия задач современного нормирования в области ионизирующего излучения от подходов к радиационной безопасности, остававшихся неизменными в нашей стране более 30 лет.

1. В современном нормировании отражена управленческая стратегия радиационной безопасности при обращении с источниками ионизирующего излучения, основанная на беспороговой концепции действия радиации на организм человека. Цель радиационной защиты в соответствии с новой стратегией радиационной безопасности

заключается в ограничении ущерба от возникновения стохастических эффектов уровнем, считающимся приемлемым для общества, при предотвращении вредных детерминированных эффектов (т.е. при гарантировании пренебрежимо малой вероятности возникновения такого рода эффектов). Таким образом, основная цель радиационной безопасности достигается, если достигнут приемлемый уровень безопасного состояния источника, который следует характеризовать регламентированным уровнем текущего облучения и пренебрежимо малой вероятностью превышения порога детерминированных эффектов, которые могут быть вызваны большой дозой потенциального облучения в будущем.

2. Нормирование опирается на концепцию эффективной дозы, до настоящего времени не применявшуюся широко в нашей стране. В современной радиационной безопасности эффективная доза рассматривается как радиологическая мера ущерба от возникновения стохастических эффектов облучения всего тела человека или отдельных его органов, учитывающая вероятность их возникновения и тяжесть последствий. Эффективная доза является аддитивной величиной. При контроле соблюдения Норм с основными дозовыми пределами следует сравнивать сумму эффективной дозы внешних источников излучения за данный календарный год и эффективной дозы внутреннего облучения, обусловленной радионуклидами, которые поступили в организм с воздухом и пищей за данный календарный год.

3. Фундаментальные принципы обоснования, нормирования и оптимизации, положенные в основу радиационной безопасности, создают базу управленческой стратегии радиационной безопасности. Согласно ей любое обращение с источником ионизирующего излучения как с источником потенциального ущерба должно быть обосновано, а сам источник находится в управляемом и оптимальном (в области ущерб—выгода) состоянии. При этом потенциальный ущерб от использования источника не должен превышать приемлемого уровня, для чего необходимо и достаточно, чтобы доза облучения персонала и населения этим источником не превышала регламентированных Нормами дозовых пределов. В соответствии с этой стратегией в НРБ-96 однозначно определена область «компетентности Норм». Требования НРБ-96 распространены на все сферы деятельности человека, связанные с обращением с источниками ионизирующего излучения, если, во-первых, облучением людей такими источниками можно управлять и, во-вторых, если потенциальный ущерб от облучения такими источниками не является пренебрежимо малым. Впервые в отечественной практике в НРБ-96 с применением различных методологических подходов сформулированы требования по раздельному ограничению облучения персонала предприятий и населения страны в целом при обращении с источниками ионизирующего излучения разных видов: техногенными (в нормальных условиях эксплуатации и при радиационной аварии), природными и медицинскими.

4. В современном нормировании доза текущего облучения ограничивается основными дозовыми пределами, которые опираются на приемлемый потенциальный ущерб, связанный с риском отсроченной (латентной) преждевременной смерти в результате проявления стохастических эффектов облучения [8]. Считается, что при этом источники стабильно находятся в управляемом состоянии и вероятность возникновения детерминированных эффектов пренебрежимо мала. Вместе с тем последнее положение не всегда выполняется автоматически, особенно в нестабильных условиях эксплуатации источников, когда риск выхода источников из-под контроля повышен. В этой ситуации целесообразно установить специальные ограничения на дозу потенциального облучения. Уровень потенциального облучения необходимо ограничить пределом индивидуальной вероятности скорой смерти в результате детерминированных эффектов облучения высокой дозой.

Быстрое и скоординированное решение этих и других задач радиационной безопасности позволит создать необходимые условия для безопасного развития атомной науки и промышленности в Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96). Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.054-96. М., Инф.-изд. центр Госкомэпиднадзора России, 1996. 127 с.
2. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87. Минздрав СССР. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 166 с.
3. Демин В.Ф. БАРД: банк данных по анализу риска. — Радиация и риск, 1996, вып. 8, с. 85—92.
4. ICRP Publication 2. Recommendations of the International Commission. Oxford: Pergamon Press, 1959.
5. ICRP Publication 6. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford: Pergamon Press, 1965.
6. ICRP Publication 9. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford: Pergamon Press, 1966.
7. Радиационная защита. Публикация МКРЗ № 26. М.: Атомиздат, 1978. 88 с.
8. Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 г. Публикации №60, ч. 1, № 61 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1994.
9. Иванов В.И., Машкович В.П., Цетнер Э.М. Международная система единиц (СИ) в атомной науке и технике. Справ. руководство. М.: Энергоатомиздат, 1981. 200 с.

Поступила в Редакцию 3.08.98

Р е ф е р а т ы с т а т е й

УДК 621.039.544.8

Шевалдин В.Н., Негривода Г.П., Воронцов Б.А., Роботко А.В., Бурлаков Е.В., Краюшкин А.В., Федосов А.М., Тишкин Ю.А., Новиков В.Г., Панюшкин А.К., Купалов-Ярополк А.И., Николаев В.А., Бибилашвили Ю.К., Ямников В.С. Опыт использования уран-эрбиевого топлива на Игналинской АЭС. — Атомная энергия, 1998, т. 85, вып. 2, с. 91—97.

Приведены научно-технические основы использования эрбия в качестве выгорающего поглотителя в топливе РБМК. Описаны основные этапы разработки уран-эрбиевого топлива. Обобщается опыт загрузки и эксплуатации нового топлива на Игналинской АЭС за период с 1995 по 1998 г. Рис. 4, табл. 2, список лит. 11 назв.

УДК 621.039

Селиверстов В.В., Шведов О.В. Уравнение точечной кинетики в интегральной форме для расчета быстрой кинетики подкритической системы с импульсным внешним источником. — Атомная энергия, 1998, т. 85, вып. 2, с. 97—107.

Предложена интегральная форма уравнений точечной кинетики для расчета подкритических систем с импульсным внешним источником. Результаты расчета, выраженные как функции подкритичности, необходимы для непрерывного контроля подкритичности установки. Рассмотренный подход к аппроксимации вероятностных функций исчезновения и иницирования, являющихся основой интегральной формы уравнения, позволяет корректно учитывать изменение во времени пространственного распределения потока по объему системы, а также отличие в потенциалах по размножению и исчезновению для нейтронов различных типов источников. Приведены

результаты расчета установки "Электроядерный генератор нейтронов". Показано, что в этой установке в промежутке между последовательными импульсами имеется достаточно большой временной интервал, на котором характеристики системы определяются асимптотической константой спада мгновенных нейтронов, что существенно облегчает контроль подкритичности. Табл. 5, список лит. 4 назв.

УДК 537.58

Каландаришвили А.Г., Ермилов Б.И. Исследование ТЭП с электромагнитным способом регулирования давления рабочего тела. — Атомная энергия, 1998, т. 85, вып. 2, с. 107—111.

Приводятся результаты исследования цилиндрических ТЭП с цезиевым и цезий-кислородным блоком рабочего тела, в которых для управления стехиометрическим составом смеси, подаваемой в межэлектродный зазор, использовали электромагнитный метод. Описана конструкция блока рабочего тела, в котором состав смеси регулируется возникающими ponderomotorными силами. Проводится сравнение выходных электрических параметров ТЭП, полученных в парах цезия, в атмосфере цезия и кислорода без и с оптимизацией стехиометрического состава смеси рабочего тела с помощью электромагнитных сил. Показано, что электромагнитное управление позволяет дополнительно повысить получаемые максимальные значения выходной электрической мощности ТЭП с цезий-кислородным наполнением. Отмечается возможность использования предложенного метода для управления составом смеси при реализации цезий-бариевых ТЭП. Рис. 5, табл. 1, список лит. 5 назв.

Окончание см. на с. 176