

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по контролю за радиоактивным загрязнением внешней среды и внутренним облучением личного состава кораблей с атомными энергетическими установками. М.: Воениздат, 1991. 96 с.
2. Радиационная обстановка. Раздел 7 в книге «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1999 году». СПб.: Гидрометеиздат, 2000, с. 69—79.
3. Ким В.Н., Никитин А.Н., Пуканов С.И., Чумичев В.Б. ПО «Севмашпредприятие». — В кн.: Радиационная обстановка на территории Российской Федерации. НПО «Тайфун». СПб.: Гидрометеиздат, 2001, с. 75—79.
4. Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В. Анализ точности определения концентрации долгоживущих радионуклидов в морской среде. — Атомная энергия, 1997, т. 83, вып. 4, с. 276—290.
5. Данилян В.А., Высоцкий В.Л., Максимов А.А., Сивинцев Ю.В. Влияние утилизации атомных подводных лодок на радиозоологическую обстановку в Дальневосточном регионе. — Там же, 2000, т. 89, вып. 6, с. 454—474.
6. Чайковская Э.Л., Высоцкий В.Л., Гичев Д.В. Закономерности формирования радиационной обстановки на территории Приморского края. — Там же, 2001, т. 91, вып. 3, с. 223—237.
7. Никитин В.С., Салыкин О.М. Вредные вещества, выделяющиеся при утилизации корпусных конструкций АПЛ. Северодвинск, ГУП НИПТБ, 2000. 6 с.
8. Pilot Study for the update of the MARINA Project on the Radiological Exposure of the European Community from Radioactivity in North European Marine Waters. Final Report, EC, December 1999. 163 p.
9. Вакуловский С.М., Никитин А.И., Чумичев В.Б. Загрязнение Белого моря радиоактивными отходами западноевропейских стран. — Атомная энергия, 1988, т. 65, вып. 1, с. 66—67.

Поступила в Редакцию 11.02.02

УДК 615.849.9+614.73(035)

ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К МОДИФИКАЦИИ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ

Жуковский М.В., Павлюк А.В. (Институт промышленной экологии УрО РАН)

При сопоставительном анализе радиационного воздействия на население от различных источников излучения важно правильно выбрать параметр, по которому будет проводиться сопоставление. Как правило, в качестве такого параметра выбирается эффективная доза, которая считается универсальной величиной, соответствующей ущербу здоровью при радиационном воздействии. Однако эффективная доза не во всех случаях является адекватным отражением радиационного ущерба, нанесенного человеку [1—5].

В Публикации № 60 МКРЗ [1, 2] при определении тканевых взвешивающих коэффициентов w_T проводилось усреднение по результатам применения различных расчетных моделей, полу, ожидаемой продолжительности жизни, частоте спонтанного возникновения онкологических заболеваний и возрасту на момент облучения. Поэтому эффективная доза может являться корректным параметром, пригодным для сопоставления различных радиационных воздействий, только в двух случаях:

пожизненного облучения человека примерно одинаковой эффективной дозой (индивидуальная оценка радиационного ущерба);

однократного облучения популяции, состоящей из лиц всех возрастов (групповая оценка радиационного ущерба с использованием коллективной эффективной дозы).

Во всех остальных случаях при оценке ожидаемого радиационного ущерба в каждой конкретной ситуации необходимо учитывать возраст человека на момент облучения. Это может быть сделано введением в определение эффективной дозы дополнительного взвешивающего коэффициента, зависящего от возраста человека на момент облучения.

Это предложение не является новым. В Публикации № 60 МКРЗ отмечается, что в более ранних определениях эффективной дозы, кроме тканевых и радиационных

весовых множителей, допускалось введение других взвешивающих коэффициентов. Тем не менее на практике данный подход не был реализован и в дальнейшем от использования дополнительных коэффициентов отказались [1].

Вместе с тем предварительные оценки показывают, что относительный вклад отдельных органов в ожидаемую вероятность возникновения радиационно-индуцированных онкологических заболеваний (радиационный риск) и обусловленное возникновением этих заболеваний ожидаемое сокращение продолжительности жизни различны для одного и того же возраста на момент облучения (t_e). Таким образом, численное значение коэффициента будет зависеть от двух параметров — вида органа или ткани, подвергающегося облучению, и возраста на момент облучения. По нашему мнению, такой корректирующий коэффициент целесообразно использовать путем введения возрастного весового множителя для отдельных органов и тканей.

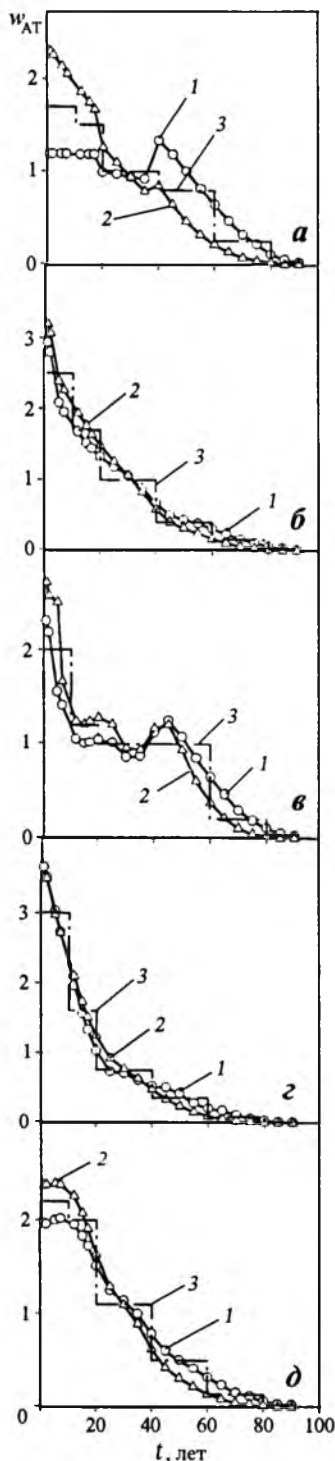
При введении в определение эффективной дозы E дополнительного весового множителя, зависящего от возраста человека на момент облучения t_e , уравнение, описывающее эффективную дозу, примет вид

$$\begin{aligned} E(t_e) &= \sum_T w_{AT}(t_e) w_T H_T = \sum_R w_R \sum_T w_{AT}(t_e) w_T D_{TR} = \\ &= \sum_T w_T \sum_R w_{AT}(t_e) w_R D_{TR}, \end{aligned}$$

где H_T — эквивалентная доза на орган T ; D_{TR} — поглощенная доза в органе T за счет воздействия излучения вида R ; w_T — тканевый взвешивающий коэффициент для органа T ; w_R — взвешивающий коэффициент излучения; $w_{AT}(t_e)$ — возрастной взвешивающий коэффициент для органа T . Данный множитель показывает, во сколько раз доза облучения, полученная органом или тканью T в возрасте t_e , более эффективна в плане образования радиационно-индуцированных онкологических заболеваний и ожидаемого сокращения продолжительности жизни, чем та же доза, полученная равномерно в течение всей жизни.

Для оценки численных значений $w_{AT}(t_e)$ были рассчитаны значения пожизненного радиационного риска и ожидаемого сокращения продолжительности жизни при однократном облучении органов и тканей человека в различном возрасте эквивалентной дозой 10 мЗв. Расчеты выполнены для двух отличающихся по своим характеристикам популяций: населения России и части населения США. Расчеты для мужчин и женщин в каждой популяции проводили отдельно. Для получения окончательного вида зависимости $w_{AT}(t_e)$ были усреднены результаты расчетов, которые выполнены по разным моделям экстраполяции риска (мультипликативной, аддитивной, модели Национального института здоровья США) и коэффициентам риска, используемых в данных моделях [6—10]. Кроме того, значения $w_{AT}(t_e)$ были усреднены по полу за исключением специфичных органов (молочная, предстательная железа и др.). В результате были получены плавные зависимости $w_{AT}(t_e)$, рассчитанные как по вероятности возникновения радиационно-индуцированных онкологических заболеваний, так и по обусловленному этими заболеваниями сокращению продолжительности жизни.

Использование плавно изменяющихся значений взвешивающих коэффициентов противоречит принятому МКРЗ подходу. В связи с этим полученные зависимости $w_{AT}(t_e)$ были аппроксимированы ступенчато изменяющейся функцией. Примеры результатов расчетов тканей приведены на рисунке. Видно, что возрастные взвешивающие коэффициенты для разных органов имеют существенно отличающуюся зависимость от возраста на момент облучения. Поэтому специфические для каждого органа коэффициенты $w_{AT}(t_e)$ не могут быть заменены какой-либо универсальной зависимостью эффективной дозы от возраста на момент облучения.



Возрастные взвешивающие коэффициенты при облучении красного костного мозга (а), желудка (б), легких (в), щитовидной (г), молочной железы (д): 1, 2 — расчет по радиационному риску и ожидаемому сокращению продолжительности жизни соответственно; 3 — ступенчатая аппроксимация

Заметный вклад в эффективную дозу вносит облучение половых органов. Тканевый весовой множитель $w_T = 0,2$ при облучении гонад учитывает потенциальную опасность возникновения наследуемых радиационно-индуцированных нарушений в последующих поколениях. Обоснованность столь высокого значения тканевого весового множителя обсуждать не будем, это хорошо сделано в комментариях к работе [2]. Более того, согласно данным Публикации № 84 МКРЗ [11] при облучении родительских гонад до зачатия ребенка для человека не выявлено появления наследуемых эффектов. Тем не менее в любом случае риск возникновения наследуемых эффектов будет иметь место только тогда, когда облучение произошло в репродуктивном возрасте. Поэтому в первом приближении при отсутствии прямых эпидемиологических данных можно принять, что $w_{AT}(t_e) = 1$ для $t_e \leq 50$ лет и $w_{AT}(t_e) = 0$ для $t_e > 50$ лет. Более точно граничный возраст, для которого еще можно считать, что радиационное воздействие может привести к возникновению радиационно-индуцированных нарушений в последующих поколениях, может быть определен на основании статистических данных различных стран по возрасту родителей на момент рождения ребенка.

Модифицированный подход к определению эффективной дозы позволяет использовать эту величину для более корректной оценки последствий облучения для человека (ущерба). В то же время введение в определение эффективной дозы дополнительных возрастных взвешивающих коэффициентов может сделать эту величину более трудной для восприятия лицами, имеющими отношение к радиационной безопасности. Кроме того, изменение определения эффективной дозы требует согласования на уровне МКРЗ. Вместе с тем такой подход может представлять интерес с учетом того, что в настоящее время МКРЗ начинает подготовку к разработке новых рекомендаций по радиационной защите.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите 1990 года. Публикация № 60 МКРЗ. Ч. 1. М.: Энергоатомиздат, 1994.
2. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите 1990 года. Публикация № 60 МКРЗ. Ч. 2. М.: Энергоатомиздат, 1994.
3. Демин В.Ф., Кутыков В.А., Голиков В.Я. и др. Анализ риска в принятии мер радиационной и социальной защиты населения. — Атомная энергия, 1999, т. 87, № 5, с. 384—395.

4. Демин В.Ф., Голиков В.Я., Иванов Е.В. и др. Нормирование и сравнение риска здоровью человека от разных источников вреда. — Там же, 2001, т. 90, вып. 5, с. 385—398.
5. Stather J., Wall B. Risks associated with the medical use of ionizing radiation at various ages. — In: Proc. of Tenth Intern. Congress of Radiation Research. Wurzburg, Germany, 1995, v. 2, p. 1159—1162.
6. Estimating Radiogenic Cancer Risks. EPA 402-R-93-076. US Environmental Protection Agency. Washington, 1994.
7. Eckerman K., Leggett R., Nelson C. Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclides. Federal Guidance Report № 13. EPA-402-99-001. US Environmental Protection Agency, 1999.
8. Report of the National Institute of Health ad hoc Working Group to Develop Radioepidemiological Tables. NIH Publication 85-2748. US Government Printing Office. Washington, DC, 1985.
9. Preston D., Kusumi S., Tomonaga M. Cancer incidence studies in atomic bomb survivors. P. III: Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950—1987. — Radiat. Res., 1994, v. 137, p. S68—S97.
10. Thompson D.E., Mabuchi K., Ron E. e.a. Cancer incidence studies in atomic bomb survivors. P. II: Solid tumors, 1958—1987. — Ibid., p. S17—S67.
11. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84 — Annals of the ICRP, 1999, v. 29, № 4.

Поступила в Редакцию 19.12.01

Р е ф е р а т ы с т а т е й

УДК 621.039.58

Смолин В.Н., Шишов В.П., Грачев В.И., Ионов А.И., Емельянов А.И., Седова Т.К., Балашов С.М. Некоторые проблемы крупномасштабных стендов безопасности. — Атомная энергия, 2002, т. 92, вып. 5, с. 339—344.

В статье изложены некоторые проблемы, связанные с проектированием, сооружением и результатами работы крупномасштабных стендов безопасности применительно к водо-водяным, канальным и корпусным кипящим реакторам. Показано, что недостаточное соблюдение принципов моделирования в экспериментальных установках может приводить к ошибочным результатам в вопросах эффективности систем аварийного охлаждения активных зон реакторов.

Отечественные и зарубежные результаты убеждают, что удачное проектирование, технологичность, надежность всех элементов модели активной зоны позволяют избежать потери времени и средств при выполнении экспериментальных программ, например, исключить такие потери из-за частых отказов имитаторов твэлов, являющихся высокотехнологичными и ответственными элементами стендов. Список лит. 21 назв.

УДК 621.039.7

Бзнуни С.А., Жамкоян В.М., Худавердян А.Г., Барашенков В.С., Соснин А.Н., Полянск и А. Характеристики двухреакторных электродренных систем. — Атомная энергия, 2002, т. 92, вып. 5, с. 344—351.

Методом Монте-Карло моделируются электродренные системы, состоящие из двухкаскадных подкритических зон: жидкометаллического реактора на быстрых нейтронах, используемого в качестве бустера, и теплового реактора, в котором выделяется основная часть энергии. Рассмотрены реакторы типа ВВЭР-1000, MSBR-1000, CANDU-6. Рассматриваемые системы, функционируя в безопасном режиме ($k_{эф} = 0,94—0,98$), обладают существенно большей предельной мощностью во всем диапазоне $k_{эф}$ по сравнению с аналогичными системами без промежуточного быстрого реактора-бустера. В то же время при большом потоке тепловых нейтронов и наличии и быстрой, и тепловой зон в них можно эффективно трансмутировать ядерные отходы, снижая требования на ток протонов в пучке примерно в 10 раз. Осо-

бенно существенным образом это проявляется в случае, когда жидкосолевые тепловые реакторы-размножители рассматриваются в качестве основной энергопроизводящей зоны. Рис. 8, табл. 2, список лит. 30 назв.

УДК 621.039.532.21

Лебедев И.Г., Воробьев С.А., Шушаков В.Д., Виргильев Ю.С. Изменение структуры и свойств стеклоглассера при нейтронном облучении. — Атомная энергия, 2002, т. 92, вып. 5, с. 352—355.

Представлены результаты исследования образцов стеклоглассера СУ-1300, СУ-2000 после облучения в реакторе БОР-60 при 360—400 °С. Установлено, что эффект значительного радиационного сжатия стеклоглассера при облучении сохраняется до флюенса нейтронов $3,6 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-2}$ ($E > 0,18 \text{ МэВ}$). Показано, что радиационная усадка вызвана уплотнением пачек графитоподобных слоев и уменьшением молекулярной пористости. Повышение температуры получения стеклоглассера с 1300 до 2000 °С приводит к уменьшению графитируемости материала под действием облучения. Рис. 4, табл. 2, список лит. 4 назв.

УДК 621.039.332

Егоров А.И., Тюнис В.М. Дезактивация вод, содержащих тритий, ректификационными методами. — Атомная энергия, 2002, т. 92, вып. 5, с. 355—360.

Представлены результаты экспериментальных исследований основных ректификационных процессов, предназначенных для удаления трития из реакторных, технологических и сбросных вод. Приведены коэффициенты разделения для ректификации воды (1,028), аммиака (1,05), азеотропа $\text{H}_2\text{O}—\text{HNO}_3$ (1,098) и $\text{D}_2\text{O}—\text{D}_2\text{O}—\text{DNO}_3$ (1,039). Рассмотрены практические схемы детритизационных установок. Рис. 3, список лит. 12 назв.

УДК 621.039.31

Токманцев В.И. Уточнение уравнения для анализа разделения бинарной смеси изотопов в газовой центрифуге методом усреднения по радиусу. — Атомная энергия, 2002, т. 92, вып. 5, с. 360—418.