

6. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. 3-е изд. М.: Энергониздат, 1982. 310 с.
7. Фано У., Спенсер Л., Бергер М. Перенос гамма-излучения. М.: Госатомиздат, 1963. 284 с.
8. Пегов А.Н., Фридман Ш.Д. О вертикальных профилях ^{137}Cs в почвах. — Почвоведение, 1978, № 8. Поступила в Редакцию 18.10.94

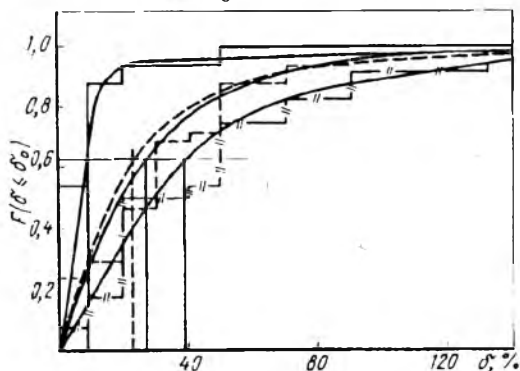
УДК 621.039:76:613.64

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗЫ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ С РАДИОАКТИВНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

Кеирим-Маркус И.Б., Клещенко Е.Д., Кушнерева К.К.
(ГНЦ РФ Институт биофизики)

Восстановление индивидуальной дозы излучения, накопленной за длительное время, стало актуальным в связи с аварией на Чернобыльской АЭС и событиями в других регионах, приведшими к радиоактивному загрязнению больших территорий. Для этой цели специалисты стали использовать метод, основанный на измерении сигнала ЭПР от эмали экстрагированных зубов [1—5]. Этот метод определения аварийной дозы признан достоверным, поскольку получены независимые подтверждения его показаний. В Институте биофизики для восстановления дозы аварийного и случайного облучения также разработан и уже около 20 лет успешно применяется метод ЭПР-дозиметрии по образцам одежды и других сопутствующих предметов [6], что позволяет получить распределение дозы по телу пострадавшего. В 1986 г. с этой целью впервые были использованы образцы эмали зубов пожарных, погибших в результате аварии на Чернобыльской АЭС [7]. В дальнейшем метод был применен при ретроспективной индивидуальной дозиметрии населения территорий, загрязненных радионуклидами. К сожалению, при определении относительно небольшой дозы облучения населения возникают сомнения, обусловленные тем, что доза часто оказывается больше рассчитанной косвенным методом — по полям внешнего излучения на местности и содержанию радионуклидов в рационе питания [8, 9]. Это вызывает необходимость независимого контроля достоверности получаемых результатов.

Одним из способов такого контроля является проведение сравнительных «слепых» измерений дозы в различных лабораториях. Такие сравнительные измерения лабораториями ИБФ МЗМП, ИХФ РАН и ИФМ УрО РАН в диапазоне дозы 0,1—0,5 Гр были проведены по взаимно согласованной программе в 1993 г. Результаты в виде функций $F(\delta \leq \delta_0)$ распределения относительных погрешностей δ , т.е. отклонения из-



Р и с. 1. Функция $F(\delta \leq \delta_0)$ распределения относительных погрешностей при сравнительных измерениях: —, — — — результаты измерений в отдельных лабораториях и усредненные по данным трех лабораторий соответственно

меренной дозы от заданной (рис. 1), свидетельствуют, что метод ЭПР позволяет определять дозу в указанном диапазоне с погрешностью $\sim 10\%$.

Другой способ контроля надежности метода — сравнение результатов измерения дозы нескольких зубов одного и того же человека — был использован нами при определении дозы по эмали зубов (секционный материал) у населения Каменск-Уральского района Свердловской области, проживавшего в зоне распространения восточно-уральского радиоактивного следа, который сформировался в 1957 г. (см. таблицу). Погрешность определения дозы для разных образцов неодинакова, поскольку зависит от массы и качества полученного

образца эмали. Из результатов измерения вычитали дозу фоновое облучения, которую принимали равной 1 мГр в год, начиная с возраста формирования постоянных зубов (6—12 лет).

Результаты определения дозы внешнего γ -излучения по образцам эмали зубов

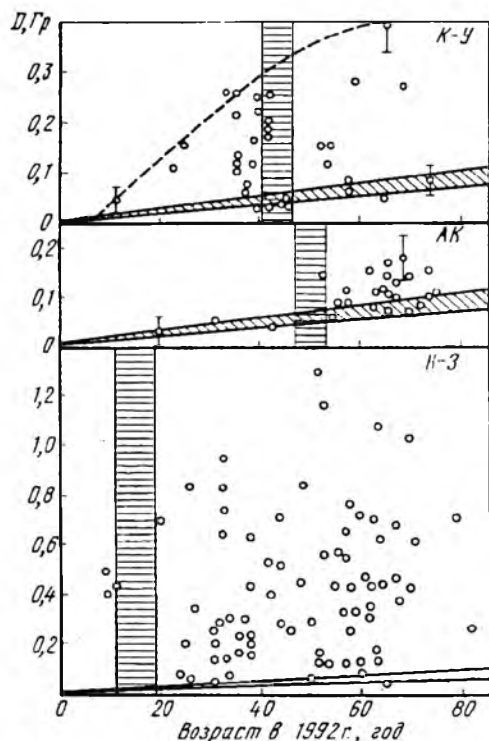
Год рождения	Возраст, год	Измеренная доза, мГр	Разброс относительно среднего, %	Доза сверх фона, мГр	Разброс относительно среднего, %
Свердловская область (секционный материал)					
1947	45	50±30	45	15±30	100
		20±20		-15±30	
1955	37	60±30	14	30±30	28
		80±30		50±30	
1935	57	90±30	20	40±30	25
		60±30		20±30	
1951	41	250±50	11	215±50	13
		200±50		165±50	
		110±40		80±40	
		120±40	8	90±40	10
		130±40		100±40	
1954	38	120±30	17	90±30	20
		170±40		140±40	
1951	41	180±40	3	150±40	3
		170±40		140±40	
1953	39	220±50	6	190±50	7
		250±40		220±50	
Алтайский край					
1935	58	90±40	10	40±40	20
		110±30		60±30	
1919	74	130±40	10	70±40	14
		160±40		100±40	
Новозыбковский район Брянской обл.					
1958	34	300±50	8	280±50	8
		350±50		330±50	
Пациенты клиники Института биофизики					
1922	70	1200±180	5	1140±180	6
		1340±200		1280±200	
1938	56	2300±700	6	2250±700	7
		2000±300		1950±300	
1950	43	2700±800	4	2670±800	4
		2900±800		2970±800	
		3000±400	3		
		2800±400			
1977	16	7800±800	7		
		6900±1000			
1960	33	10000±800			
		10500±800	5		
		10900±500			
		14400±700	4		
		15500±1300			

Из таблицы видно, что измерена доза начиная от фоновой (№ 1) или близкой к ней (№ 2, 3) до 0,3 Гр (№ 10) у населения и до нескольких грей (№ 12—17) у пациентов. Во всех случаях результаты измерения дозы по двум зубам в пределах погрешности совпали. Наиболее интересен случай № 4 — человека, которому в год аварии 1957 г. исполнилось 6 лет и у него формировались так называемые постоянные зубы 6-го года. Через 6 лет у него появились постоянные зубы 12-го года. По результатам измерений ЭПР-методом эмали зубов этот человек с 1957 г. получил дополнительную дозу внешнего облучения около 200 мГр, а с 1963 г. — дополнительно еще 90 мГр.

Приведенные результаты показывают, что метод ЭПР-дозиметрии по эмали экстрагированных зубов позволяет достаточно надежно определять индивидуальную дозу внешнего облучения от уровня фона до нескольких грей. Метрологическая аттестация этой методики, законченная Росстандартом в июле 1994 г. [10], даст возможность ее использовать в качестве официальной для контроля облучаемости населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, а также верификации биологических методов ретроспективной дозиметрии, в частности, методов хромосомных aberrаций в лимфоцитах и гликофоринового теста в области относительно малой индивидуальной дозы.

Тот факт, что эмаль зубов сохраняет информацию об облучении неограниченно долго и накапливает ее в течение всей жизни человека, позволяет использовать результаты ретроспективного определения дозы для анализа облучаемости населения различных регионов во времени.

На рис. 2 приведены результаты определения дозы по эмали зубов у групп людей: проживающих в Каменск-Уральском районе Свердловской области — зоне воздействия восточно-уральского радиоактивного следа (вверху), Алтайском крае — на следах ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне (средняя часть) и в Новозыбковском районе Брянской области, загрязненном в результате аварии на Чернобыльской АЭС (внизу). Вертикальная заштрихованная область соответствует возрасту людей, у которых



Р и с. 2. Зависимость индивидуальной пожизненно накопленной дозы от возраста

эмаль постоянных зубов формировалась во время радиационного инцидента: 1957 г. — для Уральского региона, 1949 г. — для наиболее эффективного с точки зрения последствий для Алтайского края ядерного взрыва, 1986 г. — для Новозыбковского района. Для сравнения доза, накопленная в эмали за счет естественного фона, выделена наклонной заштрихованной зоной (из расчета 1—1,5 мЗв за год).

Доза внешнего облучения жителей Каменск-Уральского района тем меньше, чем меньше возраст людей из-за сокращения длительности облучения, а также постепенного естественного очищения территории от долгоживущих радионуклидов. Результаты ретроспективной дозиметрии подтверждают это.

На территории некоторых районов Алтайского края избыточная над фоном доза формировалась во время прохождения радиоактивных облаков ядерных взрывов и освещенными короткоживущими радионуклидами. Тот факт, что левее выделенного диапазона возрастов не обнаружено превышения накопленной дозы над обусловленной фоном, показывает, что испытания, проведенные после

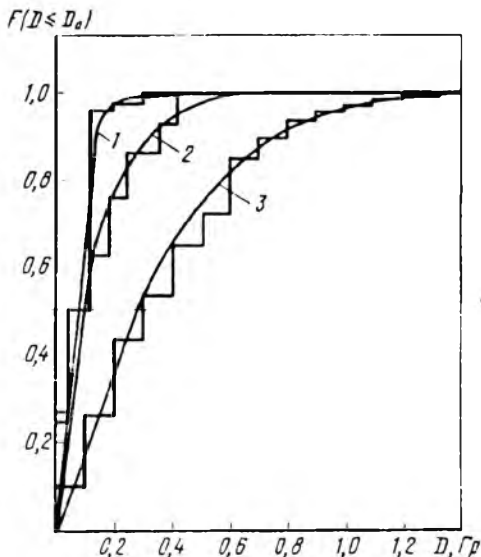
первого ядерного взрыва 1949 г., оказали несущественное влияние на радиационную обстановку в обследованных районах.

Доза, накопленная населением Новозыбковского района, формировалась в первые недели после аварии излучением радиоактивных облаков, проходивших над территорией района, в первые месяцы — короткоживущими радионуклидами выпадений и в настоящее время продолжают формироваться долгоживущими ^{137}Cs и ^{90}Sr . Основная доза внешнего излучения была получена населением в 1986—1987 гг. и зависела, в основном, от рода занятий человека и его поведения в это время. Поэтому трудно ожидать заметной корреляции накопленной дозы с возрастом старше 10 лет. Результаты измерений это подтверждают.

Для отслеживания динамики облучаемости в этом районе было бы интересно периодически определять накопленную дозу тех жителей, у которых эмаль постоянных зубов сформировалась после аварии (1981 г. рождения и позднее). Надежно измеренная доза внешнего γ -излучения оказалась в несколько раз больше максимальных расчетных оценок (63—87 мЗв за первый год после аварии [11]), что предполагает ошибки в расчетах.

На рис. 3 построено нормированное частотное распределение индивидуальной дозы (функция распределения) для указанных регионов. Медианная доза составляет 80, 90 и 290 мГр для Алтайского края, Каменск-Уральского и Новозыбковского района соответственно. Наибольшая доза — в 5—6 раз выше указанных значений, что свидетельствует о непригодности использования средней дозы как характеристики облучения населения.

Приведенные результаты показательны в том отношении, что повозрастное распределение индивидуальной дозы оказывается характерным для разных типов радионуклидного загрязнения территорий.



Р и с. 3. Функция $F(D \leq D_0)$ распределения индивидуальной дозы: 1 — Алтайский край; 2, 3 — Каменск-Уральский и Новозыбковский район соответственно

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гастева Г.Н., Тихомиров Д.Д., Клещенко Е.Д. и др. Опыт структурно-методической организации специализированного приемного отделения клиники лучевой болезни. — Проблемы радиационной безопасности при чрезвычайных ситуациях, 1990, № 11, с. 10—37.
2. Бриллиант М.Д., Клевезаль Г.А., Мордвинов П.Н. и др. Определение накопленной дозы гамма-излучения по эмали зубов. — Гематология и трансфузиология, 1990, № 12, с. 12—15.
3. Брик А.Б., Ниценко С.С., Розенфельд Л.Г. и др. ЭПР-дозиметрия по эмали зуба человека. — Мед. радиология, 1993, № 1, с. 25—27.
4. Смиранный Л.Н., Федосеев Г.А. Ретроспективная оценка доз облучения населения Алтайского края по радиационным эффектам в зубной эмали методом ЭПР. — В сб.: Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края, 1993. Барнаул, т. 1, кн. 3, с. 178—198.
5. Мельников П.В., Моисеев Б.М. Чувствительность эмали зубов к проникающему излучению. — Атомная энергия, 1993, т. 75, вып. 4, с. 327—329.
6. Калмансон А.Э., Крайтор С.Н., Кушнерова К.К. и др. Восстановление дозиметрической картины случайного облучения. — Там же, 1982, т. 53, вып. 3, с. 196—197.
7. Клещенко Е.Д., Кушнерова К.К. Определение дозы гамма-излучения по зубной эмали пострадавших при аварии на ЧАЭС. — В сб.: Ближайшие и отдаленные последствия радиационной аварии на Чернобыльской АЭС, 1987. М., ИБФ МЗ СССР, с. 471—474.

8. Павловский О.А. Долгосрочный прогноз индивидуальных и коллективных доз облучения населения. — В сб.: Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской атомной станции. Киев, Здоровье, 1988, с. 134—141.
9. Определение средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов РФ, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии ЧАЭС. Методические указания Госсанэпиднадзора РФ № МУ-2.7.7.001-93 от 21.03.93.
10. Реконструкция индивидуальных доз от внешнего излучения. Методика выполнения измерений индивидуальных доз от внешнего облучения по эмали зубов методом ЭПР-спектрометрии. Свидетельство № 448/4023-1 от 29.07.94.
11. Еркин В.Г., Лебедев О.В., Балонов М.И., Пархоменко В.Н. Эффективная эквивалентная доза внешнего γ -излучения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. — Атомная энергия, 1992, т. 72, вып. 4, с. 383—386.

Поступила в Редакцию 17.10.94

Р е ф е р а т ы с т а т е й

УДК 621.039.5

Дулин В.А., Михайлов Г.М. Измерение эффективной доли западывающих нейтронов методом α -Росси. — Атомная энергия, 1995, т. 78, вып. 3, с. 151—155.

Статья посвящена использованию метода α -Росси для определения эффективной доли западывающих нейтронов. Теоретически обоснована необходимость поправочного коэффициента к корреляционной амплитуде распределения α -Росси при использовании многоканального временного анализатора. Справедливость введения этого коэффициента проверялась экспериментально путем измерения интенсивности нескольких калифорниевых источников. Приводятся результаты измерения $\beta_{\text{эф}}$ на двух критических сборках. Рис. 1, табл. 1, список лит. 3 назв.

УДК 621.039.5

Повосельский О.Ю., Филинов В.П., Крючков И.И. Исследование поведения технологических каналов РБМК в условиях аварийного разогрева. — Атомная энергия, 1995, т. 78, вып. 3, с. 155—160.

Рост температуры канальной трубы в условиях аварийного разогрева вызывает снижение прочности трубы и ее деформирование вместе с элементами графитовой кладки активной зоны.

Проведено экспериментальное исследование процесса аварийного раздутья канальных труб на уменьшенных в 4 раза моделях и на отрезках штатной трубы ТК с графитовыми блоками при давлении в канале до 8 МПа, температуре трубы до 1300 °С и скорости нагрева до 80 °С/с. Выявлена существенная зависимость температуры разрыва трубы, времени до разрыва и разрывной деформации от давления и скорости нагрева. Получены данные, характеризующие скорость радиальной деформации канальной трубы в зависимости от температуры, давления в канале и скорости нагрева. Разработана первая версия одномерного вычислительного кода для расчета деформирования трубы при аварийном разогреве с учетом взаимодействия на определенном этапе деформирования с блоками графитового замедлителя. Рис. 5, список лит. 3 назв.

УДК 621.311.2:621.039.57

Кириченко А.М., Сигал М.В. Анализ технического уровня и условий эксплуатации АЭС с ВВЭР. — Атомная энергия, 1995, т. 78, вып. 3, с. 160—166.

На основе анализа опыта эксплуатации 25 энергоблоков АЭС с ВВЭР России и Украины за период с 1989 по 1993 гг. включительно систематизированы и

ранжированы по вызванной ими вынужденной недоработке электроэнергии внешние и внутренние причины отклонений в работе станций от экономически обоснованного использования установленной мощности. Рис. 4, табл. 2, список лит. 3 назв.

УДК 621.039.58

Перегуда А.И., Пьякало А.А. Оценка важности подсистем защиты при анализе надежности и безопасности. — Атомная энергия, 1995, т. 78, вып. 3, с. 166—172.

Способы оценки важности элементов при анализе надежности и безопасности опираются на булевы модели надежности систем и не позволяют оценивать важность элементов в системах, состояние которых зависит от последовательности отказов и восстановления элементов от начала функционирования до рассматриваемого времени. Примером такой системы является система, включающая объект защиты и систему безопасности. Для таких систем предлагается оценивать важность элемента частной вариацией вероятности отказа системы относительно вероятности отказа элемента в случае, когда вариация последней является единичной ступенчатой функцией. Важность элементов при таком подходе является функцией времени. Определены важности элементов в системе объект защиты — система безопасности. Показано, что введение системы безопасности не только уменьшает вероятность катастрофы, но и существенно снижает важность основного источника опасности объекта защиты. Список лит. 6 назв.

УДК 536.24:621.039.534

Ефанов А.Д., Канухина С.В., Шаньгин Н.П., Юрьев Ю.С. Теплогидродинамический расчет подкупольной части защитной оболочки АЭС. — Атомная энергия, 1995, т. 78, вып. 3, с. 172—176.

В работе поставлена и решена нестационарная двумерная теплогидродинамическая задача истечения струи газа, состоящего из пара и водорода в объеме, наполненный воздухом. Объем, имитирующий защитную оболочку АЭС, представляет собой полный цилиндр со сферической крышечкой. Математическая модель, состоящая из нестационарных уравнений в частных производных эллиптического типа, которые записаны в цилиндрической и сферической системах координат, интегрируется методом контрольных объемов. Представлены результаты предварительных расчетов. Рис. 3, список лит. 3 назв.

Продолжение см. на с. 213