

АНАЛИЗ ТЯЖЕЛЫХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ С ПОМОЩЬЮ ВОКСЕЛЬНОГО АНТРОПОМОРФНОГО ФАНТОМА

Д.Н. Моисеенко, Ю.А. Кураченко

Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, г. Обнинск



Для реконструкции доз при радиационных авариях использован новый подход, основанный на применении воксельного фантома тела человека, дающий возможность корректно дифференцировать дозовые нагрузки на органы и ткани пострадавшего, что не только позволяет уточнить основания эпикриза, но и имеет очевидное прогностическое значение. В качестве примера выбраны три тяжелых радиационных аварии недавнего прошлого. Полученные результаты в целом согласуются с данными, принятыми в мировом сообществе. В случаях отличия рассчитанных значений доз от литературных данных предложены возможные причины расхождений.

Ключевые слова: воксельный фантом, дозы при тяжелых радиационных авариях, перенос излучений, программа расчета методом Монте-Карло, детальное восстановление дозы.

Key words: voxel phantom, doses at severe accident, radiation transport, Monte Carlo code, dose differential reconstruction

ВВЕДЕНИЕ

По данным МКРЗ, в последние 10–20 лет в мире ежегодно происходит в среднем одна-две радиационные аварии с тяжелыми последствиями. Эти аварии сразу же становятся объектами особого внимания мирового сообщества: физики, радиобиологи и клиницисты выполняют с максимально возможной скрупулезностью всесторонний анализ каждого инцидента. Для этого воссоздается «сценарий» аварии, с максимально возможной точностью восстанавливаются дозы, полученные пострадавшими, отслеживаются и анализируются истории болезни и ее эпикриз. Все это имеет неоценимое значение для различных прикладных дисциплин, в частности, и для будущего применения ядерных технологий вообще.

Кратко опишем три радиационные аварии недавнего прошлого. 17 июня 1997 г. в РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров) произошла авария на стенде критических сборок ФКБН-2М [1–3]. Экспериментатор проводил контрольную сборку ранее хорошо изученной системы, содержащей в своем составе высокообогащенный уран и медный отражатель.

Будучи опытным работником, он был твердо уверен, что работает с хорошо известной ему системой. Начав сборку, он на каком-то этапе в чем-то засомне-

© Д.Н. Моисеенко, Ю.А. Кураченко, 2012

вался, разобрал часть конструкции и снова начал сборку, не поставив внутрь контрольный источник нейтронов. При этом была снижена чувствительность системы защиты. В момент, когда экспериментатор устанавливал медную полусферу, система уже была близка к критической. В этот момент полусфера выскользнула из рук (в резиновых перчатках) и упала на ранее собранную в нижней части стенда урановую сферу, расположенную в нижней половине медного отражателя. При этом перегруженная ураном нижняя часть сферы перешла через критическое состояние, что сопровождалось световой вспышкой, тепловой волной и срабатыванием аварийного сброса нижней части стенда. Поняв, что произошла самопроизвольная цепная реакция, экспериментатор быстро (за 5–10 с) покинул зал и закрыл защитные двери зала, изолировав его тем самым от смежных помещений. О происшедшем он тут же известил руководство, и был срочно госпитализирован. Несмотря на все усилия врачей, жизнь экспериментатора спасти не удалось.

20 февраля 1999 г. в г. Янанго на гидроэлектростанции, которая располагается в джунглях округа Сан Рамон примерно в 300 км от г. Лима (Перу), произошла тяжелая радиационная авария [4]. Утром этого дня сварщик с помощником приступили к восстановлению трубы диаметром 2 м. Около 15-ти часов сварочные работы были закончены, и через час рентгенолог-дефектоскопист приступил к инспекции сварных швов. Но оказалось, что установка не работает, капсула с источником ^{192}Ir отсутствует в радиографической камере. Вскоре, уже в отсутствие дефектоскописта, капсула была найдена, и примерно в 16 часов сварщик подобрал ее и положил в задний правый карман брюк. После этого он продолжил работу, проведя много времени в трубе. При этом точное положение капсулы было не известно. В 22-00 он покинул рабочее место и отправился домой. Приехав домой примерно в 22-30, он снял брюки и пожаловался жене на боли в области ягодиц. Вскоре к нему домой пришел его начальник и, обнаружив пропавший источник, срочно отправил сварщика в поликлинику г. Лима.

Облучение оказалось крайне неравномерным, при этом, в основном, пострадала нижняя часть тела. Благодаря здоровому организму жизнь сварщика удалось спасти, но правую ногу все же пришлось ампутировать.

24 июля 1996 г. произошел несчастный случай на электростанции г. Гилан в Иране [5]. Рабочий обнаружил потерянный радиоактивный источник ^{192}Ir , который использовался, как и в предыдущем инциденте, для контроля сварных швов. Примерно два часа он носил его во внутреннем нагрудном кармане, после чего почувствовал острую боль в груди и, вернув источник на место, отправился домой. Облучение оказалось неравномерным и, более того, не походит на воздействие почти точечного источника (рис. 3). Рабочий потерял большую часть кожи на правой стороне туловища, но выжил.

По всем трем авариям учеными разных стран проводились дозиметрические исследования. Однако во многих случаях были получены лишь самые общие интегральные величины (например, средняя поглощенная доза в теле). Для реконструкции доз при описанных авариях авторы считают целесообразным использовать воксельный фантом тела человека и транспортный код (например, MCNP [6], позволяющий получить характеристики поля излучения методом Монте-Карло) для дифференциальной оценки доз в органах и тканях пострадавших. Следует ожидать, что воксельный подход в анализе радиационных аварий позволит не только скорректировать дозовые нагрузки на органы и ткани, но и даст возможность уточнить причины возникновения конкретных лучевых осложнений, в том числе летального исхода. Можно надеяться, что дифференцированная по органам и тканям дозовая нагрузка облегчит назначение необходимого лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Воксельный фантом

Воксельный фантом тела человека (или его части) есть отображение физического фантома в специально организованном тексте, доступном для восприятия компьютером. Типичный воксельный фантом – «сборка» из одинаковых по форме и размерам малых элементов (кубиков, параллелепипедов), моделирующих орган или ткань посредством заполнения соответствующим материалом. Если «сборка» моделирует тело человека целиком, этот фантом называется антропоморфным. В развитых странах создано около полутора десятков антропоморфных фантомов (мужчин и женщин, взрослых и детей), которые активно используются в прикладных областях. При этом предполагается применение (наряду с фантомом) программного кода для получения характеристик полей излучений. В упрощенном представлении воксельный фантом есть часть (обычно основная) файла входных данных для программы расчета характеристик поля излучения. Изготовление сколько-нибудь информативного фантома – весьма трудоемкое занятие, по сложности вполне сопоставимое с созданием развитого программного обеспечения. Области применения антропоморфных фантомов – дозиметрические задачи при лучевой и радионуклидной терапии и диагностике, контроле профессионального облучения и т.д. В нашей стране воксельные фантомы практически не используются, отечественных фантомов не существует.

В работе используется воксельный фантом VIP-Map [7] с размерами вокселя $4 \times 4 \times 4$ мм³. Высота фантома составляет 186 см, масса 110 кг. Выбор данного фантома является не случайным: несмотря на относительно большой объем вокселя, фантом VIP-Map состоит из 62-х органов и тканей и полностью описывает тело взрослого человека. Существуют некоторые расхождения в росте и весе пострадавших в радиационной аварии людей и модели фантома (фантом выше и тяжелее), однако предполагается, что эти расхождения не внесут существенной ошибки в расчет.

Расположение рук фантома вдоль тела не позволяет провести расчет поглощенных доз на руки для первого случая (облучение на критической сборке). Для ускорения расчета (скорость счета существенно зависит от количества вокселей в фантоме) исходный фантом был несколько изменен – область тела от середины бедра до пяток была удалена (рис. 1).

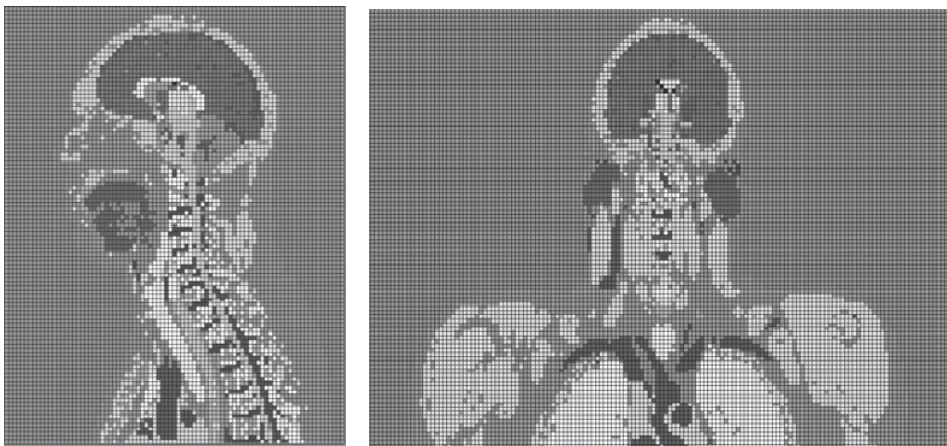


Рис. 1. Воксельный фантом VIP-Map (фрагмент). Изображения получены визуализатором MCNP

Источники облучения

В первом случае источником облучения (нейтронного и фотонного) явилась сфера урана, однако в литературе приводится энергетический спектр излучения, в котором уже учтены конечные размеры сферы, а также альбеда [1]. Упрощенная модель источника, представленная в [1], позволила по достаточно простой методике оценить значения доз при радиационной аварии. По этой причине вместо сферы неопределенных геометрических размеров авторы использовали редуцированный в [1] точечный изотропный источник с заданными характеристиками. Спектры излучения сферы представлены в табл. 1, 2.

Количество делений в сборке оценено величиной $(5.05 \pm 0.85) \cdot 10^{16}$. Расстояние от центра сборки до пострадавшего – 53 см. Относительная биологическая эффективность нейтронов такой энергии и при такой дозе мало отличается от единицы, и обобщенная эквивалентная доза фактически равна поглощенной дозе. Далее в тексте рассчитанные значения поглощенных доз для краткости фигурируют как «значения доз» без определения «поглощенных».

В двух других случаях

имеет место облучение гамма-квантами. В Янанго и Гилане капсулы, содержащие ^{192}Ir , имеют малые размеры (рис. 2). Спектр фотонов ^{192}Ir приведен в табл. 3.

Капсула с радиоактивным источником ^{192}Ir находилась в кармане брюк перуанского сварщика в течение около семи часов. Находясь в заднем кармане джинсов, капсула с источником располагалась на расстоянии 2 см от бедра сварщика. Активность источника на момент облучения составляла 1.37 ТБк.

По утверждению рабочего из Ирана, радиоактивный источник находился у него в кармане в течение двух часов. Активность источника, по словам руководителей электростанции, составляла 185 ГБк. Источник располагался в нагрудном карма-

Таблица 1

Энергетическое распределение нейтронов утечки, нормированное на одно деление в сборке

Диапазон энергии, МэВ	Флюенс нейтронов/деление $\times 10^{-2}$
0 – 0.1	4.484
0.1 – 0.16	5.203
0.16 – 0.3	5.615
0.3 – 0.36	5.812
0.36 – 0.425	6.262
0.425 – 0.5	6.754
0.5 – 0.575	6.233
0.575 – 0.66	6.534
0.66 – 0.76	7.003
0.76 – 0.88	7.642
0.88 – 1	6.533
1 – 1.2	9.361
1.2 – 1.4	7.742

Таблица 2

Энергетическое распределение гамма-квантов утечки, нормированное на одно деление в сборке

Диапазон энергии, МэВ	Флюенс, гамма-квант/деление
0 – 0.05	0
0.05 – 0.1	4.56E-04
0.1 – 0.5	9.55E-02
0.5 – 0.7	5.08E-02
0.7 – 1.0	6.27E-02
1.0 – 5.0	1.41E-01
5.0 – 7.0	1.75E-03
7.0 – 10.0	1.81E-04

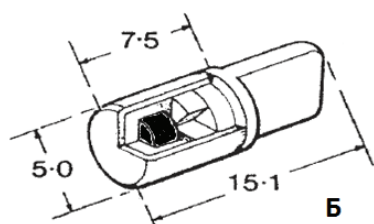


Рис. 2. А – фото источника ^{192}Ir , облучившего сварщика из Перу, Б – схема источника ^{192}Ir , облучившего рабочего в Иране (приведены габариты в миллиметрах)



Рис. 3. Радиационный ожог пострадавшего (Иран)

не рабочего комбинезона, однако характер лучевого ожога (рис. 3) говорит о том что, скорее всего, источник постоянно менял свое положение, перемещаясь в пределах кармана. Принимая во внимание этот факт, авторами были выбраны шесть точек на расстоянии 10 см от тела пострадавшего. Для каждой точки были получены значения доз, а итоговые результаты явились усреднением по всем точкам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Авария на критическом стенде в Сарове

Индикаторами качества расчета были следующие величины (табл. 4):

- доза нейтронов в области расположения дозиметра ГНЕЙС;

- средняя доза нейтронов (усреднение по всему телу);
- доза фотонов в области расположения дозиметра ГНЕЙС;
- доза фотонов в зубах.

Средняя доза нейтронов в теле в пределах погрешности согласуется с показаниями дозиметра. Доза фотонов в зубах также в пределах погрешности согласуется с результатами измерений. Доза фотонов в области расположения дозиметра оказалась выше показаний дозиметра. В целом можно считать, что выбранная модель расчета вполне адекватно описывает условия аварийного облучения. Опираясь на совпадения расчетных величин доз нейтронного и фотонного излучения, авторы получили оценки доз в остальных органах и тканях (табл. 5).

Таблица 3

Спектр излучения фотонов ^{192}Ir

Энергия, кэВ	Квантовый выход, %
62	1.218
63	2.103
65	2.67
67	4.57
76	1.99
206	3.34
296	28.72
308	29.68
317	82.71
468	47.81
484	3.187
589	4.517

Таблица 4

Сравнение рассчитанных доз с полученными показаниями дозиметров исследователя [1]

Доза, Гр	Литературные данные [1]	Расчетные значения
Грудь (нейтроны)	45 ± 5	44 ± 7
Грудь (фотоны)	3.5 ± 0.3	6 ± 1
Тело (нейтроны)	8 ч 11	11 ± 2
Зубы (фотоны)	4.5 ± 0.4	4.0 ± 0.7

Таблица 5

Поглощенные дозы нейтронов и фотонов (числитель – нейтроны, знаменатель – фотоны)*

Орган	Поглощенная доза, Гр	Орган	Поглощенная доза, Гр
Кости	4.2 / 3.1	Почки	4.1 / 4.3
Серое вещество	7.7 / 2.2	Поджелудочная железа	7.8 / 6.5
Белое вещество	7.6 / 2.3	Селезенка	3.2 / 3.7
Кровеносная система	14.1 / 6.2	Мочевой пузырь	4.6 / 3.3
Пищеварительная система	17.2 / 4.2	Сердце	17.1 / 7.2
Эндокринная система	14.4 / 5.4	Надпочечники	4.0 / 4.7
Пищевод	10.7 / 5.7	Мочевая система	4.1 / 3.9
Глаза	29.5 / 3.3	Хрусталик глаза	35.2 / 3.3
Мышцы	9.0 / 3.1	Зрительный нерв	12.7 / 3.3
Нервная система	7.4 / 3.5	Красный костный мозг	6.8 / 3.6
Гонады	11.9 / 2.5	Щитовидная железа	28.8 / 5.7
Предстательная железа	2.3 / 2.5	Легкие	13.1 / 5.1
Респираторная система	20.2 / 5.6	Стенки желудка	13.3 / 7.0
Кожа	17.4 / 2.7	Желчный пузырь	14.3 / 7.2
Верхний отдел толстой кишки	16.3 / 6.7	Печень	9.9 / 6.0
Нижний отдел толстой кишки	6.8 / 4.6	Прямая кишка	1.6 / 2.0
Тимус	24.6 / 6.8	Тонкая кишка	11.5 / 6.1

* – относительная ошибка значений составляет 17%

Литературные данные по аварии в РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров) оказались достаточно точными для адекватной расчетной реконструкции условий облучения; рассчитанные значения дозы соответствуют полученным ранее расчетным и экспериментальным данным.

Несмотря на антропометрические различия пострадавшего и воксельного фантома VIP-Man использование воксельного фантома VIP-Man позволяет получить вполне удовлетворительные результаты расчета доз.

Облучение в Янанго

Дозиметрическое обследование пострадавшего было осуществлено тремя группами исследователей:

- Instituto de Enfermedades Neoplasticas (INEN, Перу);
- Institut de Protection et de Surete Nucleaire (IPSN, Франция);
- REACT/TS (США).

Первые оценки доз были получены с помощью планирующей системы Prowess 3000 [8] в INEN [9]. В таблице 6 представлено сравнение распределений поглощенных доз по глубине, полученных в INEN и в настоящей работе.

Таблица 6

Распределение дозы по глубине

Глубина в ткани, см	Доза (INEN, литературные данные), Гр	Поглощенная доза (расчет, настоящая работа), Гр
1	9966	10101
2	2508	2513
3	1110	1104
4	617	613
5	388	386
6	265	263
7	191	189
8	143	140
9	111	110
10	88	87
18	23	26
20	18	22

Группа из Франции использовала аналитический фантом (т.е. описание средствами аналитической геометрии) совместно с кодом метода Монте-Карло. Исследователи из США провели схожие симуляции, используя компьютерный код Монте-Карло MCNP 4B вместе с аналитическим фантомом MIRD [10]. Сравнение полученных значений доз представлено в табл. 7. В целом дозиметрические характеристики для этого случая должны рассматриваться лишь как весьма приближенные из-за сложности геометрии источник-органы и неопределенности положения капсулы во время облучения [4]. Однако благодаря удовлетворительной согласованности большинства значений доз можно провести прямое сопоставление. Следует заметить, что аналитический фантом MIRD не очень подходит для определения доз в гонадах вследствие значительного экранирования за счет тканей нижних конечностей, поэтому значение дозы гонад получается заниженным.

Таблица 7

Сопоставление доз фотонного излучения (Гр)

Орган	INEN	IPSN	REACT/TS	Данная работа
Кожа	9966	11752	10080	10101
Сигмовидная кишка	–	–	22	5
Гонады	23	28	11	24
Мочевой пузырь	18	21	16	17

Как видно из табл. 7, в работе были представлены значения доз, близкие к ранее полученным расчетным значениям. К сожалению, значение дозы для сигмовидной кишки получено лишь одной группой исследователей, поэтому полноценное сопоставление не представляется возможным. Четырехкратное различие может быть объяснено тем, что фантом MIRD весьма условно описывает нижние конечности и ягодичные мышцы – два усеченных конуса, в то время как фантом VIP имеет анатомически верное описание.

Дозы в других органах и тканях весьма малы (менее 1 Гр) и поэтому их значения не представлены в табл. 8.

Таблица 8

Дозы фотонного излучения, полученные в настоящей работе

Орган	Доза, Гр	Орган	Доза, Гр
Прямая кишка	36.4	Предстательная железа	27.7
Красный костный мозг	7.8	Нервная система	10.6
Тонкая кишка	2.4		

Литературные данные являются достаточными для адекватной расчетной реконструкции геометрии облучения. Рассчитанные дозы фотонного излучения соответствуют полученным ранее литературным данным.

Несмотря на антропометрические различия пострадавшего и воксельного фантома VIP-Map использование воксельного фантома позволяет получить вполне удовлетворительные результаты расчета доз.

Отметим, что при выполнении работы получены дозы фотонного излучения для большого количества органов и тканей, в том числе критических, таких как красный костный мозг.

Облучение в Гилане

По внешним признакам (острая боль в груди и тошнота) можно предположить дозу на тело, примерно равную 2 Гр. Однако исследовательская группа, занимавшаяся расчетами для этого аварийного случая (Institut de Protection et de Surete Nucleaire (IPSN, Франция)), получила верхнюю оценку дозы, равную 600 мГр. В настоящей работе средняя доза на тело составила 200 мГр. Как и у французской группы, у авторов появилось сомнение в достоверности указанной активности источника (185 ГБк).

Кроме того, вызывает сомнение и описание геометрии облучения. Так, например, пострадавший ничего не говорит о точечных ожогах на правом бедре и локте правой руки. Каждый из этих ожогов, как можно визуальнo оценить, соответствует дозе ~ 40 Гр.

Таблица 9

Глубинное распределение дозы за два часа облучения

Глубина, см	Доза (вплотную к телу), Гр	Доза (на расстоянии 10 см от тела), Гр
0.1	245	3.2
1	75	2.7
2	32	2.2
3	18	1.9

С учетом активности источника была получена оценка глубинного распределения доз ^{192}Ir на расстоянии в 10 см от тела и вплотную (табл. 9).

Используя данные табл. 9, можно получить время облучения, необходимое для накопления дозы, равной 40 Гр. Оно составляет примерно 20 минут для источника, расположенного вплотную к телу, и 25 часов – на расстоянии 10 см.

Единственно разумным обоснованием получившегося противоречия является предположение о несоответствии активности источника заявленному значению. По всей видимости, реальная активность источника на момент облучения составляла, по крайней мере, 1.11–1.85 ТБк (т. е. в 6–10 раз больше заявленной).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью модельных расчетов и воксельного фантома VIP-MAN удалось восстановить условия облучения для трех радиационных аварий. Результаты расчетов согласуются с результатами, полученными другими исследовательскими группами, и с показаниями аварийных дозиметров.

В особенности хорошо согласуются результаты, полученные для облучения на критической сборке в г. Сарове. Это обусловлено исчерпывающим по полноте и точности описанием условий облучения (ход аварии, характеристика источника, геометрия облучения и т. п.). При этом авторами были получены дифференциальные дозы в органах и тканях пострадавшего, которые могут быть использованы для лучшего понимания связи клинических проявлений облучения и дозы в конкретном органе и ткани.

К сожалению, при решении третьей задачи (облучение рабочего в Иране) были получены противоречивые результаты. По всей видимости, ошибка кроется в недостоверных данных, касающихся активности радиоактивного источника.

Выполненное расчетное исследование показало целесообразность и продуктивность применения прецизионных методов реконструкции радиационных аварий, сочетающих использование модели антропоморфного воксельного фантома и программу расчета транспорта излучений.

Литература

1. *Punin V.T., Smirnov I.G., Zikov S.A.* Failure on the stand of a critical assembly in the Russian Federal Nuclear Centre VNIIEF (Information)//Atom. Energy. – 1997. – V. 8. P. 154-156 (in Russian).
2. *Khodalev G.F., Tarasov E.Yu., Zhitnik A.K.*, Exposure of a victim in an accident with a critical assembly in the Russian Federal Nuclear Centre VNIIEF//J. Atom. Energy. 1998. – V. 8. – P. 153-158 (in Russian).
3. The criticality accident in Sarov, IAEA, VIENNA, 2001, ISBN 92-0-100101-0.
4. Follow-up of delayed health consequences of acute accidental radiation exposure, Part 4, IAEA, VIENNA, 2002, ISBN 92-0-133202-5.
5. The radiological accident in Gilan, VIENNA, 2002, ISBN 92-0-110502-9.
6. *Briesmeister Ju.F.* MCNP (A General Monte Carlo N-Particle Transport Code) Users Manual, Los Alamos National Laboratory Report, LA-13709-M, Version 4C UC 700 (April 10, 2000).
7. *Xu X.G., Chao T.C. and Bozkurt A.* VIP-Man: An image-based whole-body adult male model constructed from color photographs of the Visible Human Project for multi-particle Monte Carlo calculations, Health Phys, 78, 476, 2000.
8. <http://www.prowess.com>
9. <http://www.inen.sld.pe>
10. *Snyder W.S., Ford M.R. and Warner G.G.* MIRD Pamphlet No. 5, Revised Estimates of specific absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom, New York: Society of Nuclear Medicine, 1978.

Поступила в редакцию 21.11.2012

УДК 621.039.534

Effect of Pre-Treatment on the Oxidation Rate Steel in the Lead-Bismuth Coolant \P.N. Martynov, K.D. Ivanov, O.V. Lavrova, S.-A.S. Niasov, V.M. Shelemetev, V.V. Ulyanov, R.P. Sadovnichy, A.S. Fomin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2012. – 8 pages, 6 illustrations. – References, 82 titles.

Comparative tests on the oxidation of the samples austenitic stainless steel (18% Cr and 8% Ni) as received and after mechanical polishing in gases (technical argon and water vapor) and the coolant Pb-Bi. By conducting metallophysical studies have shown that mechanical polishing significantly reduces the rate of oxidation of the sample surface. This effect is particularly noticeable in the oxidation of steel in heavy coolant.

УДК 621.039.53

Chemical Synthesis of Neutron-Detecting Ultrathin Optical Materials \V.V. Sakharov, P.B. Baskov, I.V. Mosyagina, N.N. Frolov, I.I. Kurbatkin, T.I. Muravyeva, E.V. Torskaya, O.V. Ivkina, M.A. Sharipova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2012. – 13 pages, 2 tables, 9 illustrations. – References, 7 titles.

The results of problem-oriented research on innovative low-temperature chemical thermodecompositional surface modification technology for new radiation photonics materials (radiation fluorescent nanolayer oxide coatings) development are shown. Basic nanoscale multicomponent oxide coatings structural types are determined and carefully studied using an atomic force microscope. The formation of globular structures in the two-layer coating with copper oxide surface layer is revealed. The main principles of oxide coatings structure formation are given. The ability of chemical-structural modification technology for modified objects surface micro and nano-relief smoothening is found. The elastic moduli of nanoscale oxide coatings are obtained using the two-layer body model.

УДК 621.039.7

Researches of Crystallization Processes under Hardening of Clamp Material Based on the Magnesium Oxide \V.J. Suhonosov, V.A. Chernov, N.J. Bogdanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2012. – 9 pages, 2 tables, 7 illustrations. – References, 5 titles.

Experimental researches of crystallization processes under hardening of clamp material received by mixing liquid alumophosphate binding with magnesium oxide powder are conducted. It is shown that a primary stage of structurization of a clamp material is the structure of amorphous particles of magnesium hydroxide. The crystal structure of hard material is formed in an amorphous phase. The process of crystal phases accumulation is shown.

The investigated clamp materia is a porous material. The amorphous porous structure is penetrated by the crystal structure, including both separate crystals, and congestions of spatial crystal structures.

УДК 621.039.586

Radiation Accidents Analysis with the use of Anthropomorphic Voxel Phantom \D.N. Moiseenko, Yu.A. Kurachenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2012. – 10 pages, 9 tables, 3 illustrations. – References, 10 titles.

In the paper, the new approach using the anthropomorphic voxel phantom for dose reconstruction at radiation accidents is proposed. This approach permits to differentiate correctly the tissue or organ doses for victims of accidents, and allows not only specifying the epicrisis, but has also obvious prognostic value. As an example, three severe radiation accidents of the recent past are chosen. Calculated data for these accidents are, as a whole, in good agreement with these ones received by the world community. In cases of doses discrepancy with reference data, the possible reasons of divergences are offered.