

Ю. ТАРАСЕНКО

ПЕПЕЛ ЧЕРНОБЫЛЯ

СЛИЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ
В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО
ЗАРАЖЕНИЯ ПОСЛЕ
ВЗРЫВА ЧЕТВЕРТОГО БЛОКА ЧАЭС

25-й годовщине катастрофы
на четвертом энергоблоке
ЧАЭС посвящается



ТЕХНОСФЕРА

Ю. Тарасенко

ПЕПЕЛ ЧЕРНОБЫЛЯ

Сличения средств измерений
ионизирующих излучений
в зонах радиоактивного заражения
после взрыва четвертого блока ЧАЭС

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2011

УДК 623.454.862

ББК 31.42

Т 19

Рецензент:

Лотонов М.А.

академик Метрологической академии РФ,
доктор технических наук, профессор

Тарасенко Ю.Н.

Т 19 Пепел Чернобыля

Сличения средств измерений ионизирующих излучений в зонах радиоактивного заражения после взрыва четвертого блока ЧАЭС

Москва: Техносфера, 2011. — 232 с. + 4 с. цв. вкл.

ISBN 978-5-94836-274-8

Монография посвящена сличениям показаний эталонов — переносчиков единиц измерений ионизирующих излучений (ИИ), отечественных и зарубежных средств измерений ИИ на стационарных вторичных эталонах единиц измерений ИИ и в зонах радиоактивного заражения после взрыва четвертого блока ЧАЭС в 1986 г.

Предназначена для специалистов, занимающихся метрологическим обеспечением измерений ИИ в сфере обороны и безопасности, разработчиков средств измерений ИИ в целях обеспечения единства измерений существующими средствами измерений и учета выработанных рекомендаций при создании новых средств измерений, а также для ликвидаторов катастрофы на четвертом энергоблоке ЧАЭС и их потомков.

Книга будет полезна студентам высших учебных заведений при изучении курса метрологии, слушателям факультетов повышения квалификации и курсов по переподготовке кадров.

УДК 623.454.862

ББК 31.42

© 2011, Тарасенко Ю.Н.

© 2011, ЗАО «РИЦ «Техносфера», оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-274-8

Содержание

Предисловие	6
Введение	8
Глава 1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАТАСТРОФЫ НА ЧЕТВЕРТОМ БЛОКЕ ЧАЭС	9
Глава 2. ПОДГОТОВКА К СЛИЧЕНИЯМ ПОКАЗАНИЙ ЭТАЛОНОВ-ПЕРЕНОСЧИКОВ В ЧЕРНОБЫЛЕ	17
2.1. Результаты метрологических исследований приборов ИД-1 и ИД-11	20
2.2. Результаты аттестации и поверки СИ ИИ на эталонном комплексе фотонного излучения и поглощенной дозы бета-излучения	26
2.2.1. Краткая характеристика фантомов и методики обработки результатов измерений	37
2.2.1.1. Краткая характеристика фантомов	37
2.2.2. Методики калибровки и обработки результатов измерений СИ ИИ на ВЭ и в районе ЧАЭС	38
2.2.2.1. Методики калибровки ТЛД	38
2.2.2.2. Обработка результатов измерений дозиметров с ТЛД	39
Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЯ И СЛИЧЕНИЯ ПОКАЗАНИЙ СИ ИИ В РАЙОНЕ РАЗВАЛА ЧЕТВЕРТОГО БЛОКА ЧАЭС И В ПРЕДЕЛАХ 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ	41
3.1. Подготовка приборов и оборудования для размещения на территории ЧАЭС и рабочем месте в г. Чернобыле. Радиационная разведка территории ЧАЭС с целью выбора площадки с требуемыми уровнями излучений	41
3.2. Проверка технического состояния измерительных пультов дозиметров ИД-11	50
3.3. Исследования и сличение показаний СИ ИИ в районе развала четвертого блока ЧАЭС и в пределах 30-километровой зоны	53

3.3.1. Исследования и сличение показаний СИ ИИ в районе развала четвертого блока ЧАЭС	53
3.3.2. Исследования и сличение показаний СИ ИИ в пределах 30-километровой зоны	78
3.3.2.1. Измерения в точке № 1 (в приемке на площади у районного дома культуры Чернобыля)	81
3.3.2.2. Измерения в точке № 2	82
3.3.2.3. Измерения на сцене районного дома культуры г. Чернобыль на экспериментальной проверочной установке	84
3.3.2.4. Сличения показаний дозиметров ДПГ-03 и рентгенметра ДП-5В в точке № 4	86
3.3.2.5. Сличения показаний измерителей мощности экспозиционной дозы ДП-5В и панорамного дозиметра Victoreen-470A 5.08—7.08.86 г. в зоне ЧАЭС и прилегающих районах	90

Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ ЗА ЗАЩИТНЫМ СЛОЕМ ПОГЛОТИТЕЛЯ

4.1. Определение энергии гамма- и бета-излучения	96
4.2. Результаты исследований радионуклидного состава продуктов выброса аварийного четвертого блока ЧАЭС	112

Глава 5. МЕДИКОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДОЗИМЕТРАМ ВНЕШНЕГО БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ И К ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

5.1. Медикобиологические требования к дозиметрам внешнего бета-излучения	121
5.2. Исследование дозовых распределений поглощенной дозы бета-излучения	134

Глава 6. ВОЗМОЖНОСТИ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА НАСЕЛЕНИЕ И ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ ЧЕТВЕРТОГО БЛОКА ЧАЭС

6.1. Определение радиационных нагрузок по результатам измерений различными дозиметрами	165
6.2. Методика ориентировочной оценки радиационных нагрузок от внутреннего облучения радионуклидов	185
6.3. К вопросу о технических требованиях к средствам контроля радиационных нагрузок и системе их метрологического обеспечения	209

Глава 7. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В СМЕШАННЫХ ПОЛЯХ ИИ	211
Выводы	214
Заключение	217
Литература	218
Приложение 1	222
Приложение 2	224
Приложение 3. ПРО ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ САРКОФАГ СЕГОДНЯ И... ЗАВТРА УТРОМ!	225

ГЛАВА I

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАТАСТРОФЫ НА ЧЕТВЕРТОМ БЛОКЕ ЧАЭС

Взрыв четвертого блока Чернобыльской АЭС им. В.И. Ленина с реактором типа РБМК-1000 произошел 26 апреля 1986 г. в 1 ч 23 мин при плановой остановке энергетического агрегата. По официальной версии причиной взрыва стали ошибочные действия операторов, хотя часть специалистов добавляет к этому и недостатки конструкции самого реактора [2]—[7], [8]. В книге Г.У. Медведева «Чернобыльская хроника» [8] приведены подробная хроника событий развития ядерной энергетики, аварий на зарубежных (12 аварий в США в течение 1951—1986 гг.) и отечественных (более 11 аварий с 1957 по 1985 гг.) атомных электростанциях, их причины и последствия. Как за рубежом, так и в СССР, причины и последствия аварий даже от специалистов скрывались. Компетентность руководящих специалистов ядерной энергетики не соответствовала требованиям по обеспечению радиационной безопасности работ с радиационно-опасными объектами [8]. Грубейшие нарушения, заложенные в программу и допущенные работниками смены в процессе подготовки и проведения испытаний на четвертом блоке ЧАЭС, а также недостатки самой конструкции реактора типа РБМК привели к его взрыву. Первая авария на ЧАЭС была на первом блоке в сентябре 1982 г. [8].

Несколько секунд длилась вторая авария на ЧАЭС, 10 суток продолжались взрывы и радиоактивные выбросы, десятки месяцев заняла работа по ликвидации последствий случившегося, и еще долго будут страдать облученные люди и их потомки.

В результате взрыва ядерный реактор Чернобыльской АЭС выбросил в атмосферу 70 т ядерного топлива, а еще 50 т топлива и 800 т реакторного графита остались выгорать и выгорели в разрушенной конструкции. Взорвавшийся реактор создавал мощность экспозиционной дозы фотонного излучения 30 кР/ч [2]. Суммарная активность радионуклида ^{137}Cs , выброшенного в окружающую среду, оценивается специалистами в 2 млн Ки (для сравнения указывалось, что взрыв атомной бомбы в Хиросиме

привел к образованию «только» 4,5 т радиоактивных веществ) [2]. Общая активность радиоактивных веществ четвертого блока эквивалентна взрыву 27 атомных бомб в Хиросиме. Выброшенную часть активной зоны взрывом гремучей смеси на большую высоту унесло ветром в северо-западном направлении, через Белоруссию и республики Прибалтики за пределы границ СССР. Радиоактивное облако передвигалось на высоте от одного до одиннадцати километров [8]. В районе аварийного энергоблока мощность экспозиционной дозы составляла от тысячи до двадцати тысяч Р/ч. В Припяти на улицах в день 26 апреля и нескольких последующих дней она составляла 0,5—1,0 Р/ч [8]. Рыбалка во время взрывов в районе четвертого блока описана в книге Г.У. Медведева [8]:

«...Расстояние от места рыбалки до четвертого энергоблока около двух километров. Радиационный фон достигал здесь полурентген в час. Большинство рыбачивших, услышав взрывы и увидев пожар, остались ловить до утра, иные, ощутив непонятную тревогу, внезапную сухость в горле и жжение в глазах, вернулись в Припять. Пушечные удары при срабатывании предохранительных клапанов, похожие на взрывы, приучили людей не обращать на подобные шумы внимания...

...В момент взрыва в двухстах сорока метрах от четвертого блока, как раз напротив машинного зала, сидели еще два рыбака на берегу подводящего канала и ловили мальков. Они слышали вначале два глухих, словно подземных, взрыва внутри блока. Ощутимо тряхнуло почву, потом мощный паровой взрыв, и только потом, с ослепляющим выбросом пламени, взрыв реактора с фейерверком из кусков раскаленного топлива и графита... Они продолжали ловить мальков... У них на глазах развернули свои пожарные расчеты Правик и Кибенок... Рыбаки схватили по 400 рентген каждый, ближе к утру стало неудержимо тошнить, очень плохо стало обоим. Жаром, огнем будто обжигает внутри грудь, режет веки, голова дурная, как после дикой похмельюги. И рвота, непрерывная, изматывающая. За ночь они загорели до черноты, будто в Сочи месяц на солнце жарились. Это и есть ядерный загар.

...Заметили тут, уже рассвело, что и ребята с крыши сползают вроде одурелые, и тоже выворачивает их...» [8].

На пресс-конференции 6 мая 1986 г. в Москве зампред Совмина СССР, первый председатель Правительственной комиссии по ликвидации последствий ядерной катастрофы в Чернобыле Б.Е. Щербина, председатель Госкомгидромета Ю.А. Израэль и

его заместитель Ю.С. Седунов заверили, что «радиоактивность» в районе аварийного энергоблока ЧАЭС составляет 0,015 Р/ч [8].

Чай из Грузии, привезенный самолетом летом 1986 г. с посадкой в Киеве в Ленинград, имел повышенную поверхностную радиоактивную загрязненность.

М.В. Метелев, электромонтажник с Гидроэлектромонтажа, часов в одиннадцать 26 апреля 1986 г. в Припяти полез на крышу и лег там в плавках загорать... От кожи, говорил, паленым запахло... К вечеру началась сильная рвота и его увезли в медсанчасть [8].

Начальник штаба Гражданской обороны ЧАЭС С.С. Воробьев в первые 2 часа после взрыва с помощью единственного «радиометра» со шкалой 250 рентген определил опасную степень радиации и доложил Брюханову: на диапазоне 250 рентген зашкал в районе завала, машинного зала, центрального зала и других местах вокруг блока и внутри [8].

26 апреля 1986 г. в Припяти первый секретарь Припятского горкома партии А.С. Гаманюк докладывал министру энергетики и электрификации СССР А.И. Майорцу: «...Обычная нормальная жизнь выходного дня... Дети играют на улице, проходят спортивные соревнования, идут занятия в школах... Сегодня вот справили шестнадцать комсомольско-молодежных свадеб...». Представитель Минздрава СССР В.Д. Туровский считал: «...Необходима срочная эвакуация... больные в медсанчасти в тяжелом состоянии, дозы, ими полученные, по первым поверхностным оценкам, в три—пять раз превышают летальные. Тяжелейшее внешнее и внутреннее облучение. Этот буро-коричневый ядерный загар...» [8].

27 апреля измерили плотность потока нейтронного излучения. По данным заместителя министра энергетики и электрификации СССР Г.А. Шашарина: «...Ночью 27 апреля доложил В.И. Долгих. Мы уже к этому времени промерили вокруг реактора интенсивность нейтронного потока. Было не более 20 нейтронов в секунду. Со временем стало 17—18 нейтронов. Это говорило о том, что реакции как будто нет. Правда, измерили с расстояния и сквозь бетон. Какова же была подлинная плотность нейтронов — неизвестно. С вертолета не мерили» [8].

Радиационная обстановка на 7 мая в районе бедствия (принято штабом Минэнерго из Чернобыля по ВЧ): вокруг АЭС графит (вплотную) — 2000 Р/ч; топливо — до 15 000 Р/ч. В целом радиационный фон вокруг блока — 1200 Р/ч (со стороны завала). Припять: около 0,5—1,0 Р/ч (воздух). Дороги, асфальт — от 10 до 60 Р/ч. Чернобыль — 15 мР/ч (воздух), земля — 20 Р/ч.

Велихов Е.П. в споре с А.И. Майорцем:

«...Нужно отдавать себе отчет о том, что произошло. Чернобыльский взрыв хуже иных атомных. Хуже Хиросимы. Там одна бомба, а здесь радиоактивных веществ выброшено в десять раз больше. И плюс еще полтонны плутония.

Активность в Киеве и Вышгороде: воздух — 0,5 мР/ч, на поверхности дорог и асфальта — 15—20 мР/ч...»

Результаты измерений Г.У. Медведева 9 мая 1986 г.:

«Чернобыль. Площадь у райкома партии. На земле — 10 Р/ч, воздух — 15 мР/ч.

Припять. Центр города. Мощность дозы 0,7—1 Р/ч. Бок бора — 50 Р/ч. Труп дога — 150 Р/ч».

«Район завала блока... О-о! Да там офицеры тоже... И генерал... Генерал-полковник, — уточнил Володя. — Это, наверное, Пикалов... Они собирают топливо и графит руками. Видишь, ходят с ведрами и собирают. Ссыпают в контейнеры. Вон расставлены железные ящики. Графит валялся и за изгородью, рядом с нашей машиной. Я открыл дверь, подсунил датчик радиометра почти вплотную к графитовому блоку. Две тысячи рентген в час... Солдаты и офицеры, набрав полное ведро, как мне казалось, неспешно шли к металлическим ящикам-контейнерам и высыпали туда содержимое ведер. Лица солдат и офицеров темно-бурые. Ядерный загар...» [8].

Радиоактивному загрязнению подверглась огромная территория бывшего СССР — 150 000 км² с населением 945 000 человек, причем, на территории с уровнем заражения выше допустимого находилось летом 1986 г. 640 населенных пунктов, в которых проживало 230 000 человек [2]. Чернобыльская авария, несомненно, скажется на здоровье целого поколения людей. После катастрофы число больных раком щитовидной железы вследствие йодного удара (мощного выброса короткоживущих изотопов, накапливавшихся в щитовидной железе) в Белоруссии возросло в сотни, а в России и на Украине — в десятки раз. На Украине за 15 прошедших лет 300 000 человек умерло от лучевой болезни. Ученые считают, что по масштабам бедствия, последствиям и тяжести ее устранения — это самая крупная в истории техногенная катастрофа, поскольку она затронула огромную территорию Советского Союза с высокой плотностью проживающего населения [4]. В ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986—1987 гг. оказалось занято 839 000 человек. Среди них за участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльс-

кой АЭС и метрологическое обеспечение данных работ было поощрено 19 сотрудников 32 ГНИИИ МО РФ. В июле—августе 1986 г. в районе разрушенного четвертого блока ЧАЭС и тридцатикилометровой зоны специалисты 32 ГНИИИ МО РФ Ю.Н. Тарасенко, В.И. Бережной и Н.Ю. Новиков проводили исследования и сличения показаний эталонов-переносчиков из состава принятого в 1985 г. НТК Госстандарта СССР комплекса вторичных эталонов ИИ. Комплекс эталонов в 1985 г. был утвержден Госстандартом СССР в количестве семи эталонов ИИ и определен в качестве резерва ГПЭ дозы и мощности дозы бета-, фотонного, нейтронного излучений, плотности потока нейтронов и активности радионуклидов ГЭТ 9—82, ГЭТ 8—82, ГЭТ 38—83, ГЭТ 117—78, ГЭТ 10—81, ГЭТ 6—84.

И.В. Петьков, Н.С. Торопов, Л.Л. Синников принимали участие в работах в зоне после окончания работы МВК. На три месяца в научный центр был откомандирован на партийно-политическую должность замполит И.А. Кобелев.

О произошедшей на Чернобыльской АЭС аварии автор узнал из зарубежных радиопередач в день ее совершения на даче в конце вынужденного «планового отпуска» перед досрочным увольнением в запас по рекомендации «вышестоящих органов». Он был связан с обращением автора в президиум съезда КПСС в феврале 1986 г. по вопросам метрологического обеспечения нейтронных измерений в сфере обороны и безопасности и его неудовлетворительного состояния на уровне «41-го года».

После обращения в президиум съезда КПСС в конце февраля 1986 г. автору в марте было предложено срочно уволиться из рядов Вооруженных сил СССР. Однако после отпуска перед досрочным увольнением в запас при выходе на работу 5 мая 1986 г. после катастрофы 26 апреля 1986 г. на ЧАЭС предложили направиться в Чернобыль для участия в решении вопросов дозиметрического и метрологического обеспечения войск, принимавших участие в ликвидации последствий ядерной катастрофы.

По телефонным данным представителей заказывающего управления химических войск участников ликвидации последствий катастрофы с начала катастрофы (с 29 апреля по 8 мая 1986 г.) автором был сделан вывод о больших разбросах показаний используемых ими дозиметров, причем их хриплые голоса соответствовали сильному поражению голосовых связок, как при острых респираторных заболеваниях или гриппе, по-видимому, от

их ожога при вдыхании альфа- и бета-активных радионуклидов. Этот вывод противоречил выводу о радиационных поражениях после ядерных и термоядерных взрывах, проведенных американцами в Хиросиме, Нагасаки и на атолле Энвиеок Маршалловых островов [28]. При рассмотрении вопросов наибольшего практического значения в условиях массовых поражений при применении ядерного оружия авторы [28] отмечают острую лучевую болезнь от внешнего равномерного пролонгированного гамма-бета-облучения. Однако дозиметры и измерители мощности поглощенной дозы бета-излучения, разработанные в СССР и в России, до настоящего времени серийно не выпускаются.

В работе [28] проведен анализ взрыва термоядерного заряда на атолле Энвиеок и результаты оценки доз внешнего излучения у 267 человек по показаниям полевых радиометров в воздухе на высоте 91,5 см от поверхности земли. Фактическая продолжительность выпадения радиоактивных осадков была неизвестна, поскольку не было точно определено начало выпадения. Оценивались пределы возможных доз общего воздействия гамма-излучения и наиболее вероятные значения доз. Важнейшим фактором кожного поражения считалась аппликация радиоактивных осадков на открытые поверхности тела. Считалось, что один слой хлопчатобумажной ткани (порядка 50 мг/см^2) почти полностью защищал от бета-излучения, так как поражения обнаруживались только на совершенно открытых частях тела, а более длительное время они оставались в области кожных складок (шея, подмышечная и перианальная области). Наблюдавшиеся кожные повреждения вызывались действием бета-излучения от апплицированных на кожу осадков. Воздействие гамма-излучения на кожу было относительно небольшим. Радиоактивные частицы содержали главным образом окись кальция из расплавленных и испарившихся кораллов с сорбированными при остывании продуктами деления. Радиоактивный распад продуктов ядерного взрыва сопровождался испусканием бета-излучения, 50—80 % которого обладали средней энергией около 100 кэВ. Средняя энергия остального бета-излучения составляла около 600 кэВ. Вычисленная на кожу доза, обусловленная радиоактивным загрязнением земли, в группе пострадавших с атолла Ронгелап составляла 20 Гр на уровне стоп, 6 Гр на уровне верхней части бедра и 3 Гр — на уровне головы. Локальное экранирование и передвижение людей вызывали большие вариации в дозах. Доза внешнего бета-излучения от местного облучения кожи при ее загрязнении значи-

тельно превышала дозу от радиоактивного загрязнения почвы. Полагали, что одежда понижала дозу бета-излучения от почвы на 10—20 %.

Одним из важных вопросов отдаленных последствий облучения является возникновение злокачественных новообразований с длительным латентным периодом. Вопрос о дозовой зависимости возникновения злокачественных новообразований и пороговости этого явления чрезвычайно сложен и дискусионен.

По предварительным оценкам на 1 млн человек абсолютный риск развития опухолей на каждые 0,01 Гр/год оказывается ~1,6 для лейкоза, ~1,2 для рака щитовидной железы, ~2,1 для рака молочной железы и ~2,0 для рака легких [28]. Возникновение у переживших атомную бомбардировку рака кожи или саркомы, по мнению автора работы [28], вряд ли обусловлено радиацией, так как дозы, индуцирующие эти опухоли при тотальном облучении, несовместимы с жизнью.

Наиболее полные сведения о лейкозах и опухолях, индуцированных облучением у человека, содержатся в работах, посвященных отдаленным последствиям действия излучения у пострадавших при атомных бомбардировках в Японии. Однако эти сведения со временем во многом подвергались переоценке, связанной с оценками поглощенных доз и видами ИИ, полученными пострадавшими.

Проведенный повторно в 1980 г. расчет поглощенных доз показал, что данные 1965 г. не точны. Предварительное определение различий кривых доза-эффект для жителей Хиросимы и Нагасаки, согласно данным 1965 г., объясняли более высоким нейтронным компонентом в Хиросиме. Риск заболевания в целом в обоих городах зависел от дозы облучения, однако степень учащения заболеваний в Хиросиме была выше и при меньших дозах (<0,5 Гр), чем в Нагасаки. На основании расчетов 1980 г., выяснили, что нейтронного компонента вообще не было ни в одном из городов, а доза гамма-излучения была занижена для Хиросимы и завышена для Нагасаки. Эти уточнения нивелировали различия в частоте возникновения лейкемии между жителями двух городов.

Особенности радиационной обстановки, возникшей в результате аварии на ЧАЭС, обусловили развитие своеобразной формы острой лучевой болезни, возникшей в основном от сочетания общего относительно равномерного гамма-облучения с бета-облучением обширных участков кожного покрова и частично с ин-

галяционным поступлением смеси радионуклидов (в основном радиоактивного йода и цезия) [32].

Из персонала, работавшего на ЧАЭС в момент аварии 26.04.86 г., пострадало 237 человек. Главной диагностической задачей в первые дни была оценка степени тяжести костномозгового синдрома по поглощенной дозе внешнего гамма-излучения. Из-за отсутствия у пострадавших «аварийных» дозиметров оценка дозы проводилась путем подсчета числа лимфоцитов периферической крови, числа аббераций хромосом в культуре этих клеток или в препаратах костного мозга.

По данным [32], облучение в коже («ядерный загар» по Г.У. Медведеву [8]) в 10—20 раз превышало дозу облучения костного мозга. Радиационные ожоги охватывали у разных больных от 1 до 100 % поверхности тела. Больные, имевшие относительно ранние (5—6 суток) ожоги II—III степени, были обречены. Из 56 больных 19 погибли с лучевыми ожогами. Примерно у 66 % пострадавших смерть наступила от поражения кожи.

ГЛАВА 2

ПОДГОТОВКА К СЛИЧЕНИЯМ ПОКАЗАНИЙ ЭТАЛОНОВ-ПЕРЕНОСЧИКОВ В ЧЕРНОБЫЛЕ

Находясь в служебной командировке в Институте ядерных исследований (ИЯИ) АН УССР в начале мая 1986 г. в Киеве, автор в инициативном порядке (в городе в это время под угрозой уголовной ответственности запрещались проведения измерений) провел измерения в поезде (при прохождении им участков лесопарковой зоны и открытой местности), в городском транспорте, в местах скопления населения на открытой территории, в лесопарковой зоне и в местах отдыха, в районе ИЯИ и на поверхности красавицы-рябины и елок (средства дозиметрического контроля на входе института были выключены), а также на грузовом транспорте, осуществляющем доставку продовольствия в Чернобыль. Показания дозиметра ДП-5В в штатном режиме и при снятом металлическом экране детекторов колебались от единиц миллирентген/час до единиц рентген/час (на поверхности колес автомобилей, используемых для доставки продовольствия из Киева в Чернобыль). Был сделан предварительный вывод о существенном вкладе бета-излучения в показания прибора при снятом металлическом и полиэтиленовом чехлах. Источники излучения носили объемный характер, особенно в лесопарковой зоне и на деревьях. Максимум излучения находился в районе кроны деревьев и кустарников.

Вышесказанное привело к необходимости тщательной подготовки к проведению сличения дозиметрических приборов в условиях смешанного внешнего ионизирующего излучения продуктов катастрофы на четвертом блоке ЧАЭС.

В период с 30 июня по 30 августа 1986 г. согласно Программе работ по оценке метрологических характеристик дозиметров поглощенной дозы непрерывного и импульсного гамма- и нейтронного (по тепловым нейтронам) излучений ИД-1, ИД-11, экс-

позиционной дозы непрерывного гамма-излучения и измерителей мощности дозы гамма-излучения (далее — приборы) и Плана проведены работы по выполнению первого этапа.

Оценка метрологических характеристик дозиметров согласно Программе проводилась по ранее выполненным исследованиям в 32 ГНИИ МО и приведенным в докладной записке в президиум съезда КПСС.

Работы проводились территориально в 32 ГНИИ МО с 30.06.86 г. по 30.08.86 г.; в районе ЧАЭС, городах Чернобыле, Припяти, местах дислокации воинских частей, выполняющих работы на ЧАЭС, и прилегающих территориях с 25.07 по 08.08. 86 г.

В 32 ГНИИ МО проведены следующие работы:

- получены, проведены на соответствие ТУ и проверены по два комплекта приборов ИД-1, ИД-11, ДП-5В, пять комплектов приборов ДП-5В производства НРБ и пять комплектов приборов ДП-5В производства СССР;
- рассмотрены результаты метрологических исследований приборов ИД-1, ИД-11, проведенных 32 ГНИИ МО РФ;
- проведен анализ единства требований к метрологическим характеристикам в НТД (ТУ, ТО, ИЭ) на приборы ИД-1, ИД-11;
- определена чувствительность и анизотропия чувствительности приборов ИД-1, ИД-11, ДП-5В, ДП-22В в полях гамма- и бета-излучений.

Исследована способность приборов ИД-1, ИД-11, ДКП-50 суммировать и хранить дозу при облучении на вторичных эталонах ВЭ-28, ВЭК-19 в полях гамма-, бета-излучения и смешанного гамма-бета-излучения:

- подготовлены и аттестованы на вторичных эталонах эталоны-переносчики шести типов;
- по предложению и рекомендациям МВК в 32 ГНИИ МО РФ разработаны эскизы и изготовлены 12 планшетов, 10 кубов-фантомов, три фантома человека, два из которых заполнены парафином и один водой, изготовлены соответствующие подставки и приспособления;
- проведена проверка метрологических характеристик приборов ИД-1, ИД-11, ДКП-50, размещенных на фантомах всех типов на вторичных эталонах перед поездкой в г. Чернобыль.

С 25 июля по 8 августа 1986 г. проведены:

- трижды радиационная разведка территории ЧАЭС с целью выбора площадки с требуемыми уровнями излучений;

- подготовка приборов и оборудования для размещения на территории ЧАЭС и рабочем месте в г. Чернобыле;
- подготовка дозиметров к облучению в условиях ЧАЭС;
- доставка оборудования и фантомов с испытуемыми изделиями в район ЧАЭС, их сборка и размещение, измерения в контрольных точках с учетом размещения дозиметров на фантомах;
- ежедневные снятия показаний испытуемых дозиметров и контроль радиационной обстановки на рабочей площадке на территории ЧАЭС;
- организованы выезды группы МВК с целью проверки технического состояния измерительных пультов приборов ИД-11 и выдачи рекомендаций по правильному их использованию;
- оценка основных метрологических характеристик прибора ДП-5В в условиях на ЧАЭС, городах Чернобыль, Припять, местах дислокации ликвидаторов в штатном и измененном (без металлического чехла) вариантах;
- изготовлена экспериментальная поверочная установка с использованием проб земли, взятых в месте размещения фантома-человека на площадке ЧАЭС;
- проведены дополнительные измерения уровней ионизирующих излучений в местах наибольшего скопления участников ликвидации последствий аварии четвертого блока ЧАЭС;
- проверка технического состояния 11 приборов ДП-5В.

В качестве компаратора использовался прибор ДП-5В зав. № Е1604068, поверенный на ВЭК-19 в 32 ГНИИ МО РФ: для оценки радиационной нагрузки на человека дополнительно проведено исследование зависимости мощности экспозиционной дозы на открытой местности от высоты на уровне земли; проведена аттестация и сличение показаний различных типов дозиметров, расположенных на фантоме человека и фантомах-кубах.

Для оценки единства измерений и оценок радиационных нагрузок при внешнем и внутреннем облучениях проведены измерения характеристик проб земли, расчеты удельных характеристик гамма- и бета-излучения, а также обобщены результаты дозиметрических обследований участников ликвидации последствий аварии.

В порядке научного сотрудничества результаты измерений приборами ДП-5В и детекторами ДПГ-03 на территории ЧАЭС у

напорного бассейна (южная сторона), проведенные Институтом биофизики, для оформления протокола с целью обобщения сличения измерений различными приборами.

2.1. Результаты метрологических исследований приборов ИД-1 и ИД-11

В период с февраля 1985 г. по март 1986 г. на вторичных эталонах ВЭ-19ЭДФ, ВЭ-19ППН и на тепловой колонне Ф-1 ИАЭ им. И.В. Курчатова проводились исследования чувствительности индивидуальных дозиметров ИД-02, ИД-1, ИД-11 и термолюминесцентных дозиметров (ТЛД) на основе CaF_2 к фотонному излучению, тепловым и быстрым нейтронам. ТЛД помещались в корпусах типа ДПГ-02. Обработка результатов измерений проводилась с использованием пульта типа 2800 фирмы Victoreen (США).

При градуировке на ВЭ-19ЭДФ определялся коэффициент чувствительности K_ϕ к гамма-излучению с использованием выражения:

$$K_\phi = \frac{\Delta L_\phi}{P_\phi t_{\text{обл}}}, \text{ рад/Р}, \quad (2.1)$$

где ΔL_ϕ — изменение показаний ИД или измерительного устройства за время облучения $t_{\text{обл}}$; P_ϕ — образцовое значение МЭД в точке размещения ИД, рад/с.

Определение чувствительности ИД к быстрым нейтронам проводилось на эталоне ВЭ-19ППН с использованием источников нейтронов ИНК-10, ИНК-5 и ИБН-8-7 в 4π-геометрии с использованием выражения:

$$K_{\text{бн}} = \frac{\Delta L_{\text{бн}} - \Delta L_{\text{бн} \gamma}}{N_{\text{бн}} t_{\text{обл}}}, \text{ (рад/нейтр.)}/\text{см}^2, \quad (2.2)$$

где $\Delta L_{\text{бн}}$, $\Delta L_{\text{бн} \gamma}$ — изменение показаний ИД (набор дозы) и измерительного устройства с ТЛД на основе CaF_2 , рад, за время облучения $t_{\text{обл}}$, с; $N_{\text{бн}}$ — образцовое значение плотности потока нейтронов в точке размещения ИД, нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1})$ за время облучения $t_{\text{обл}}$, с.

Определение чувствительности ИД к тепловым нейтронам $K_{\text{тн}}$ проводилось на эталоне ВЭ-19ППН с использованием источников нейтронов ИНК-10, ИНК-5 и ИБН-8-7 в контейнере-замед-

лителе с использованием кадмиевого экрана (диск из кадмиевой пластины толщиной 1 мм) и выражения:

$$K_{\text{тн}} = \frac{\Delta L_{\text{тн}} - \Delta L_{\text{тнк}} - \Delta L_{\text{тн}\gamma} - \Delta L_{\text{тнк}\gamma}}{N_{\text{тн}} t_{\text{обл}}}, \text{ (рад/нейтр.)}/\text{см}^2, \quad (2.3)$$

где $\Delta L_{\text{тн}}$, $\Delta L_{\text{тнк}}$, $\Delta L_{\text{тн}\gamma}$, $\Delta L_{\text{тнк}\gamma}$ — изменение показаний ИД, измерительного устройства с ТЛД на основе CaF_2 и LiF без и с кадмиевым экраном, рад, за время облучения $t_{\text{обл}}$, с; $N_{\text{тн}}$ — образцовое значение плотности потока тепловых нейтронов в точке размещения ИД, нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1})$ за время облучения $t_{\text{обл}}$, с.

ТЛД на основе LiF использовались для контроля полного перекрытия тепловых нейтронов (менее 5 % от $N_{\text{тн}} t_{\text{обл}}$).

При исследованиях чувствительности дозиметров к тепловым нейтронам на реакторе Ф-1 ИАЭ им. И.В. Курчатова использовались дозиметры ИД-1 (8 шт.), ИД-11 (4 шт.) и термолюминесцентные дозиметры TL-13 (3 шт.), TL-28 (3 шт.) и TL-28C (3 шт.). ТЛД дозиметры помещались в корпусах типа ДПГ-02. Обработка результатов измерений проводилась с использованием пульта типа 2800 фирмы Victoreen (США). Тепловая колонна реактора Ф-1 ИАЭ им. И.В. Курчатова была аттестована в измеряемой точке по плотности тепловых нейтронов $\phi = 1,623 \cdot 10^{11}$ нейтр./ см^2 с погрешностью $t_{c0} S_{c0} = 2\%$ при $P = 0,99$.

Обобщенные результаты измеренных значений чувствительности дозиметров ИД-0,2 (5 шт.), ИД-1 (6 шт.) и ИД-11 (12 шт.) на вторичных эталонах и чувствительности дозиметров ИД-1 (8 шт.) и ИД-11 (4 шт.) к тепловым нейтронам на реакторе Ф-1 ИАЭ им. И.В. Курчатова приведены в табл. 2.1 и 2.2.

Анализ данных, приведенных в табл. 2.1 и 2.2, показывает, что значения коэффициентов чувствительности к тепловым нейтронам, определяющим их пригодность для измерений в условиях равновесного спектра нейтронов ядерного взрыва, расходятся с их значениями, приведенными в технических условиях на дозиметры. Для дозиметров типа ИД-11, ИД-1и ИД-02 они отличаются в 2,16, 2,45 и 3,24 раза соответственно на ВЭ-19ЭДФ и ВЭ-19ППН.

Экспериментальные значения, полученные на реакторе Ф-1 ИАЭ им. И.В. Курчатова для коэффициентов чувствительности к тепловым нейтронам для дозиметров ИД-1, выпускавшихся серийно сотнями тысяч в год до 1981 г., расходятся в 2,1—5,3 раза по сравнению с техническими условиями на них. Дозиметры ИД-1, выпускавшиеся после 1981 г., по чувствительности к тепловым

Таблица 2.1. Обобщенные результаты измеренных значений чувствительности дозиметров ИД-0,2, ИД-1 и ИД-11 на вторичных эталонах

Тип ИД	$(K_{\text{бн}} \pm \Delta K_{\text{бн}}) \cdot 10^{-8}$, нейтр./см ² /рад		$(K_{\text{тн}} \pm \Delta K_{\text{тн}}) \cdot 10^{-8}$, нейтр./см ² /рад (измерения)	$(K_{\text{тн}} \pm \Delta K_{\text{тн}}) \cdot 10^{-8}$, нейтр./см ² /рад (ТУ)	Удельная поглощенная доза нейтронов $(K_{\text{убн}} \pm \Delta K_{\text{убн}}) \cdot 10^{-8}$, нейтр./см ² /рад	
	²⁵² Cf	²³⁹ Pu—Be			²⁵² Cf	²³⁹ Pu—Be
ИД-02	4,36 ± 0,29	2,91 ± 0,14	6,48 ± 0,53	2,0 ± 0,4	3,5 ± 0,35	2,99 ± 0,3
ИД-1	4,08 ± 0,18	—	7,34 ± 0,30	3,0 ± 0,6		
ИД-11	24,06 ± 4,6	—	1,62 ± 0,16	3,5 ± 0,74		

Таблица 2.2. Обобщенные результаты измеренных значений чувствительности дозиметров ИД-1 (8 шт.) и ИД-11 (4 шт.) к тепловым нейтронам на реакторе Ф-1 ИАЭ им. И.В. Курчатова

Тип ИД	$(K_{\text{тн}} \pm \Delta K_{\text{тн}}) \cdot 10^{-8}$, нейтр./см ² /рад (измерения)	$(K_{\text{тн}} \pm \Delta K_{\text{тн}}) \cdot 10^{-8}$, нейтр./см ² /рад (ТУ)
ИД-1, выпуск до 1981 г.	8,67 ± 0,7	3,0 ± 0,6
ИД-11, выпуск после 1981 г.	2,61 ± 0,12	3,0 ± 0,6
ИД-11	2,8 ± 0,03	3,5 ± 0,4

нейтронам соответствовали ТУ. Экспериментальные данные по чувствительности к тепловым нейтронам для дозиметров ИД-11 близки к значениям в ТУ, но не соответствуют им.

Дозиметры ИД-1 и ИД-11 с момента выпуска и по настоящее время по чувствительности к тепловым нейтронам не поверяются из-за отсутствия средств метрологического обеспечения.

Отсутствие в технических условиях требований по поверке этих дозиметров на чувствительность к тепловым нейтронам не позволяет сделать оценку их пригодности по прямому назначению.

Соотношение между дозами нейтронов и гамма-излучения в суммарной дозе проникающей радиации зависит от типа, мощности ядерного боеприпаса и расстояния от центра взрыва. На расстояниях, где суммарная доза равна примерно 200—500 бэр при мощности взрыва $0,1\text{--}10^3$ кт вклад дозы нейтронов и гамма-излучения изменяется от 4 до 80 и от 20 до 96 %, соответственно. Причем вклад доз осколочного и вторичного гамма-излучения изменяется от 7 до 56 и от 13 до 40 %, соответственно. При раздельной регистрации доз это должно учитываться при разработке, градуировке и поверке дозиметров.

Основной вклад в дозу нейтронов при взрыве нейтронных боеприпасов вносят быстрые нейтроны с энергией от 12 до 14 МэВ. При этом значения мощности дозы, создаваемые ими на расстояниях до 900 м от эпицентра взрыва, будут превышать мощности дозы, создаваемые спектром нейтронов при атомном взрыве в 1000 и более раз (до $10^9\text{--}10^{11}$ сГр/с).

В зависимости от вида термоядерного взрыва (наземный, воздушный) значения дозы на расстояниях от эпицентра взрыва от 200 до 1400 м за время от $2,5 \cdot 10^{-6}$ до $1,6 \cdot 10^{-5}$ с будут в 3—6 раз больше, чем при атомном взрыве.

Известно, что в зависимости от координат центра взрыва и спектра выходящих из боеприпаса нейтронов отношение поглощенной дозы нейтронов к флюенсу нейтронов изменяется существенно. Только для наземного взрыва ядерного боеприпаса на расстоянии более 300 м отношение постоянно. Эта зона называется равновесной.

Общее количество быстрых нейтронов с энергией $E_n > 0,1$ МэВ в равновесной зоне составляет 25—30 % для атомных и термоядерных боеприпасов и 35—45 % для нейтронных боеприпасов. На долю нейтронов с энергией $E_n < 0,4$ эВ приходится примерно 25 % для точек, расположенных на поверхности земли, 40 % для точек на поверхности воды и 3—4 % для воздушной изотропной среды. Остальная часть приходится на нейтроны промежуточных

энергий $0,1 \text{ МэВ} > E_n > 0,4 \text{ эВ}$ 35—50 % для точек на поверхности земли и около 60—70 % для изотропной среды.

Отношение поглощенной дозы к флюенсу тепловых нейтронов на расстояниях от 100 до 1200 м изменяется в 1,6—61 раз.

Если поверхность земли (грунт) будет изменяться по составу или взрыв будет происходить над водной поверхностью, то это отношение также сильно будет изменяться (в 3—6 раз) на расстоянии более 300 м даже для наземного (подводного) ядерного взрыва. Это накладывает дополнительные условия, которые должны учитываться при разработке, градуировке и поверке нейтронных дозиметров.

При исследованиях возможности использования индивидуальных конденсаторных дозиметров (ИКД) и термолюминесцентных дозиметров в качестве образцовых средств измерений экспозиционной и поглощенной доз фотонного излучения (ЭД и ПД ФИ) использовались ИКД типа ИД-02 (5 шт.), ДК-02 (13 шт.), Victoreen-541L (США) (5 шт.), ДКП-50 (40 шт.), ИД-1 (27 шт.) и РФЛД типа ИД-11.

Обработка результатов измерений проводилась по методике аттестации образцовых дозиметрических приборов и установок на эталонах ВЭ-19ЭДФ и ВЭ-19ПДФ.

Основная погрешность измерений определялась с помощью выражения:

$$\Delta = K \left(\frac{\theta^2}{3} + S^2 \right)^{0,5}, \quad (2.4)$$

где K — коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей, равный 2,2; θ — неисключенная систематическая погрешность эталона; S — оценка среднего квадратического отклонения (СКО) результата измерения дозиметром:

$$S = t_{\alpha}^{-1} \left[\sum \frac{(D_i - D_{\text{ср}})^2}{n(n-1)} \right]^{0,5}, \quad (2.5)$$

где t — коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности и числа n результатов наблюдений, $n = 5$.

Чувствительность к гамма-излучению определялась с помощью выражения:

$$\eta = \frac{D_{\text{д}}}{D_{\text{из}}}, \quad (2.6)$$

где $D_{\text{д}}$ — действительное значение дозы; $D_{\text{из}}$ — измеренное значение дозы.