

*Посвящается памяти ушедших из жизни
коллег дозиметристов, участвовавших
в ЛПА на ЧАЭС в 1986 году*

Обеспечение радиационной безопасности при сооружении «Саркофага» (объекта «Укрытие») на 4-м блоке Чернобыльской АЭС в мае–ноябре 1986 года

В этом году исполняется 35 лет событиям, связанным с ликвидацией последствий аварии (ЛПА) на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) и их важнейшим этапом – закрытием разрушенного 4-го энергоблока специальным сооружением, которое вначале называлось «Саркофагом» (позже объектом «Укрытие»). В данной статье представлена информация о периоде май–ноябрь 1986 года в аспекте вопросов обеспечения радиационной безопасности строителей этого уникального объекта.

Ключевые слова:

35-летие ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, радиационная обстановка при сооружении объекта «Укрытие», радиационное воздействие на персонал Управления строительства № 605, отдел дозиметрического контроля УС-605, аппаратно-методическое обеспечение радиационного контроля, результаты индивидуального дозиметрического контроля.

Л.Ф.Беловодский

(ВНИИА им. Духова, г. Москва)

А.П.Панфилов

(Служба генерального инспектора Госкорпорации «Росатом», г. Москва)

В Российской Федерации в память о трагических событиях, произошедших 26 апреля 1986 года на Чернобыльской АЭС, ежегодно отмечается День памяти погибших в радиационных авариях и катастрофах. Эта печальная дата широко освещается в СМИ и известна населению нашей страны.

Но есть и другая, менее «раскрученная» СМИ дата – 30 ноября – День участников ликвидации последствий радиационных аварий и катастроф и памяти жертв этих аварий, другое название – День ликвидатора. В этот день в 1986 году официально было объявлено о сдаче в эксплуатацию «Саркофага» – объекта «Укрытие» над разрушенным реактором Чернобыльской атомной станции. Фактически это был день победы над «мирным атомом». Общероссийское общественное объединение «Союз Чернобыль России» предложил этот день внести в перечень памятных дат Российской Федерации.

Именно день 30 ноября ежегодно торжественно отмечается в «Большом доме» – в главном здании Госкорпорации «Росатом» (ранее Минсредмаша СССР, затем Минатома России) на Большой Ордынке. Конечно, главные «победители» – строители и монтажники атомной отрасли, но их успех был бы невозможен без профессионального дозиметрического обеспечения их работы в экстремальных условиях на площадке ЧАЭС, когда вопросы обеспечения радиационной безопасности строителей безусловно были первостепенными.

Сейчас, спустя 35 лет после событий мая–ноября 1986 года, когда с нами уже нет многих участников ликвидации последствий Чернобыльской аварии, которые выполнили крайне сложные и уникальные работы по укрытию разрушенного 4-го блока, важно вспомнить как это было.

За прошедшие годы публикаций по тематике ЛПА на ЧАЭС было сделано достаточно много, в том числе вышли книги непосредственных участников ЛПА [1-2]. Однако информации, посвященной вопросам обеспечения радиационной безопасности строителей «Саркофага», было мало – она содержалась лишь в ряде докладов и пу-

бликаций, относящихся к периоду 1988–1996 гг. [3-9].

Предыстория вопроса

15 мая 1986 г. после решения первоочередных задач на начальных этапах ЛПА (ликвидация пожара, забрасывание реактора с вертолетов соединениями бора, доломитом, песком, бетоном и свинцом) Правительственная комиссия приняла решение о долговременной консервации 4-го блока ЧАЭС с тем, чтобы предотвратить дальнейший выход в окружающую среду радиоактивных веществ и защитить персонал на территории АЭС от проникающего излучения. Постановлением Правительства СССР № 634-188 сооружение объекта «Укрытие» было поручено Министерству среднего машиностроения (МСМ) СССР, имевшему высококвалифицированный персонал, необходимые технические средства и большой опыт строительства объектов атомной промышленности СССР. Задача захоронения разрушенного энергоблока была сложна и уникальна, так как не имела аналогов в мировой инженерной практике. Ее предстояло решать в весьма сжатые сроки в условиях высоких уровней радиации. Это было связано с тем, что высшее руководство страны поставило задачу запустить энергоблоки

№ 1 и № 2 ЧАЭС в октябре–ноябре 1986 г., а энергоблок № 3 – в 1987 г.

Для сооружения объекта «Укрытие» 20 мая 1986 г. приказом Министра среднего машиностроения СССР Е.П.Славского № 211 было создано специализированное Управление строительства УС-605 – крупная комплексная строительная организация, состоявшая из нескольких строительных и монтажных подразделений (районов), бетонных заводов, а также различных подразделений и служб обеспечения, включая Отдел дозиметрического контроля (ОДК). Важно отметить, что уже 23 мая Е.П.Славский утвердил Первоочередные мероприятия по 4 блоку Чернобыльской АЭС, связанные с ликвидацией аварии, которые включали подготовку структуры и положения о дозиметрической службе УС-605, а также обеспечение приборами и оборудованием для дозиметрических измерений [1].

В состав УС-605 входили управления механизации и автотранспорта, энергоснабжения, производственно-технической комплектации, службы материально-технического и санитарно-бытового обеспечения, рабочего снабжения, включая столовые, а также базы проживания персонала. Подразделения

УС-605 дислоцировались непосредственно на территории ЧАЭС, в г. Чернобыле (примерно в 20 км от ЧАЭС) и в других пунктах на различных расстояниях от ЧАЭС. Базы проживания персонала и вспомогательные службы УС-605 размещались на расстоянии 50–100 км от места проведения работ. С учетом сложной радиационной обстановки и необходимости соблюдения норм и правил радиационной безопасности был установлен вахтовый метод работы персонала с продолжительностью вахты два месяца. Численность одной вахты достигала 10 тыс. человек, на территории ЧАЭС персонал работал круглосуточно в четыре смены. УС-605 был оснащен необходимой техникой, механизмами и материалами.

Характеристика обстановки, сложившейся к началу работ по сооружению «Саркофага»

Взрыв на 4-м энергоблоке ЧАЭС 26 апреля 1986 г. привел к разрушению активной зоны реакторной установки и части здания. В результате этого в окружающую среду было выброшено значительное количество радиоактивных веществ, накопившихся в реакторе за время его эксплуатации, а на площадке ЧАЭС вблизи аварийного блока были

разбросаны высокоактивные осколки топливных элементов и куски графита из реактора. По расчетам, в результате аварии основное количество топлива (до 95%) было сосредоточено в шахте реактора. В помещениях реакторного блока находилось около 1% ядерного топлива, такое же количество – в завале. До 3% горючего было рассеяно по поверхностям крыш, территории промплощадки и за ее пределами. Во время протекания активной стадии аварии на обширной территории, стенах и кровлях зданий оседала радиоактивная пыль – топливные частицы. В районе ЧАЭС создавалась сложная радиационная обстановка, характеризовавшаяся высокими уровнями радиоактивного загрязнения поверхностей и мощности дозы гамма-излучения. Четвертый блок представлял собой труднодоступный и мощный источник проникающего излучения и аэрозольного загрязнения. На подступах к нему уровни гамма-излучения превышали 400 Р/ч, а в центре разрушенного реактора – 10^4 Р/час. О разрушениях 4-го энергоблока можно судить по фотографиям, сделанным до начала сооружения объекта «Укрытие» (рис. 1).

Данные радиационных разведок, полученные в подготовительный период (в конце мая – начале июня 1986 г.)

показали, что в районе разрушенного блока основным фактором, определявшим радиационную обстановку, являлось γ -излучение, мощность дозы которого находилась в пределах от сотен мР/ч до сотен Р/ч, а в отдельных местах, где находились обломки элементов активной зоны реактора, до нескольких тысяч Р/ч. Загрязнение поверхностей территории и зданий АЭС составляло от 10^4 до 10^8 β -частиц/(см²·мин) и от 10^2 до 10^5 α -частиц/(см²·мин). Загрязнение воздушной среды радиоактивными аэрозолями в местах проведения работ достигало 1–10 допустимых концентраций для различных радионуклидов, установленных Нормами радиационной безопасности НРБ-76 [10].

Назначение объекта «Укрытие» и основные проблемы его создания

Основные проблемы, которые предстояло решить при выборе проектов объекта «Укрытие», сводились к следующему:

1. Объект по своему назначению не являлся ни могильником радиоактивных отходов, ни хранилищем ядерного топлива, а должен был быть обслуживаемым объектом, где контролируются и исключаются:

- возникновение цепной реакции деления;

- нарушение теплосъема с остатков топлива, которое привело бы к их плавлению;
- образование взрывоопасной концентрации радиолизного водорода.

2. Необходимо было свести к минимуму время строительства для уменьшения влияния разрушенного реактора на окружающую среду и площадку АЭС, что позволило бы в короткие сроки возобновить эксплуатацию остановленных энергоблоков.

3. Сооружение объекта должно было производиться

с минимальным пребыванием строительного и монтажного персонала в радиационно-опасных условиях с целью уменьшения индивидуальных и коллективных доз облучения.

4. Предстояло обеспечить достаточную прочность строительных конструкций при использовании, по возможности, уцелевших элементов здания энергоблока и сохранение функций объекта при воздействии различных природных явлений.

С учетом перечисленных выше проблем проектанты было проработано 18 вариан-

тов проекта объекта «Укрытие», из которых был выбран один, в котором максимально использовались в качестве опор сохранившиеся и частично разрушенные конструкции энергоблока. Это решение позволяло значительно сократить сроки строительства и уменьшить расход строительных материалов. Выбранный проект представлял собой оригинальную объемно-пространственную структуру, образованную:

- со стороны основного завала (северной) тремя каскадно поднимающимися блоками высотой до 12 м;

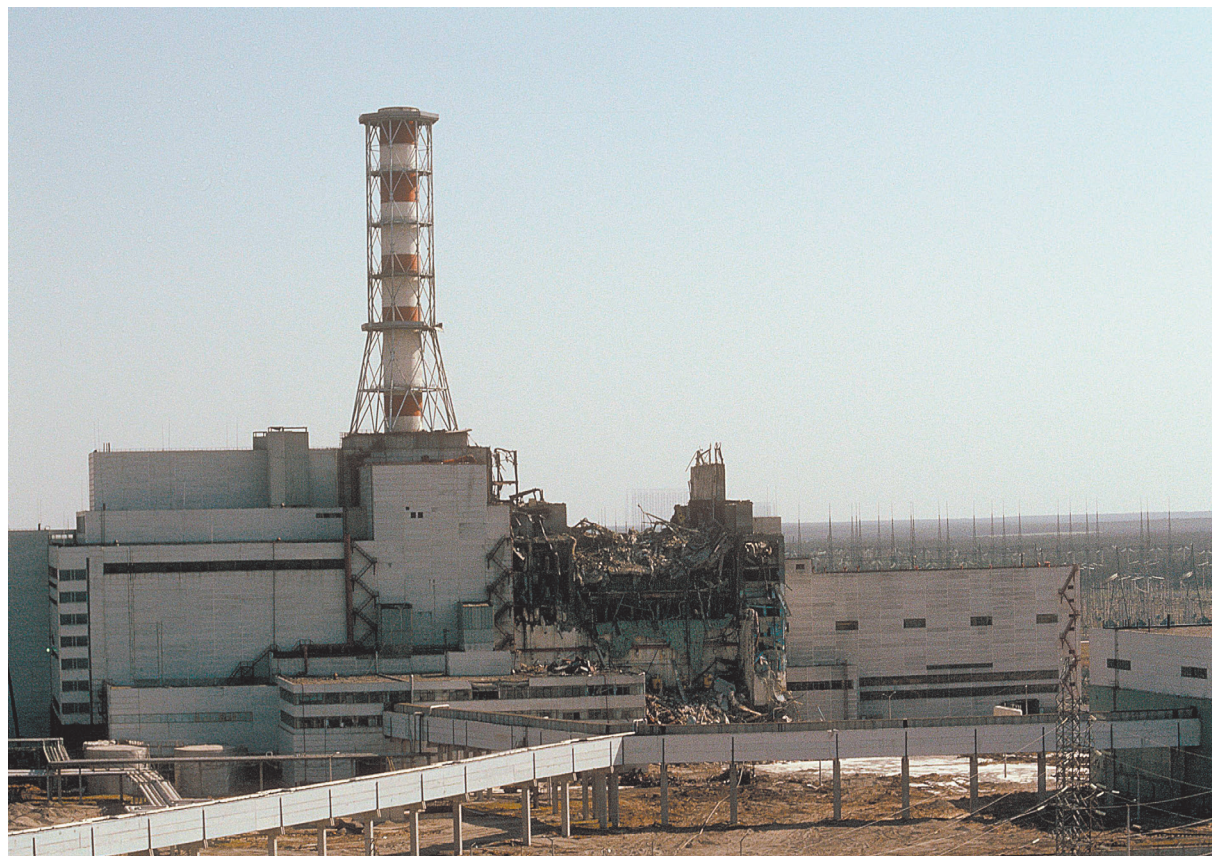


Рис.1. Вид 4-го энергоблока ЧАЭС со стороны основного завала.

Табл.1. Факторы радиационной опасности при работах по ЛПА на ЧАЭС.

Факторы радиационной опасности	Характеристика
В помещениях ЧАЭС и на территории промплощадки:	
Гамма-излучение, создаваемое разрушенным реактором и фрагментами его активной зоны, а также радионуклидами, осевшими на поверхностях	> 10 ⁴ Р/ч – в центре разрушенного реактора > 400 Р/ч – максимальные уровни на рабочих местах [4,5]
Аэрозольное загрязнение воздуха альфа- и бета-активными радионуклидами	До 300 ДКА при «пылящих» работах [4,5]
Альфа- и бета-излучение загрязненных поверхностей	10 ² –10 ⁵ α-част/см ² -мин 10 ⁴ –10 ⁸ β-част/см ² -мин
Нейтронное излучение реактора и его фрагментов	0,4–40 мбэр/ч в машзале
На территории 30-километровой зоны, в местах проживания персонала и в зоне расположения вспомогательных служб УС-605:	
Излучение осевших на поверхностях РВ, высеванных из «облака» и привнесенных с загрязненных территорий	0,5–50 мР/ч, 10–10 ³ β-част/см ² -мин

- с уцелевшей (западной) стороны – монолитной бетонной стеной, усиленной металлическим каркасом с контрфорсами;
- с внутренних сторон (восточной и южной) использовались уцелевшие конструкции с дополнительными опорами на завалах и перекрытие металлическими балками длиной 70 м.

Наибольшую сложность представляло создание перекрытия центрального зала 4-го реактора. Оно было реализовано установкой специальной конструкции в виде моста из двух параллельных металлических балок. Остальная часть объекта «Укрытие» состояла из разделительных стенок: бетонной (между 3-м и 4-м энергоблоками), при максимальном использовании имевшихся стен, и герметичной металлической (между 2-м и 3-м блоками). С южной стороны машинного зала

были предусмотрены дополнительная защитная стенка и дополнительное перекрытие части его крыши.

Перед сооружением «Укрытия» была сформулирована концепция минимизации коллективной дозы внешнего γ-излучения строителей при заданных сроках и объеме строительных работ и при не превышении индивидуального дозового предела облучения в 25 бэр. Формулирование этой концепции радиационной безопасности для персонала УС-605 осуществлялось ОДК. Эта концепция исходила из того факта, что главным и определяющим фактором радиационного воздействия является внешнее излучение, а не облучение от инкорпорированных за счет ингаляции радионуклидов. Вывод о приоритетном характере контроля внешнего облучения в дальнейшем был полностью подтвержден.

Характеристика радиационной обстановки, сложившейся к началу сооружения объекта «Укрытие» в местах проведения работ УС-605 и дислокации его подразделений, представлена в табл.1.

Организация деятельности службы радиационной безопасности УС-605

Организация работы по обеспечению радиационной безопасности строителей объекта «Укрытие» возлагалась на ОДК УС-605. Задачи, поставленные перед ним, включали в себя не только организационно-инженерные решения, но и требовали научных исследований и методических обоснований.

Структура ОДК была выбрана исходя из задач, объемов и методов строительно-монтажных работ, количества привлекаемого к работам персонала и его расстановки.

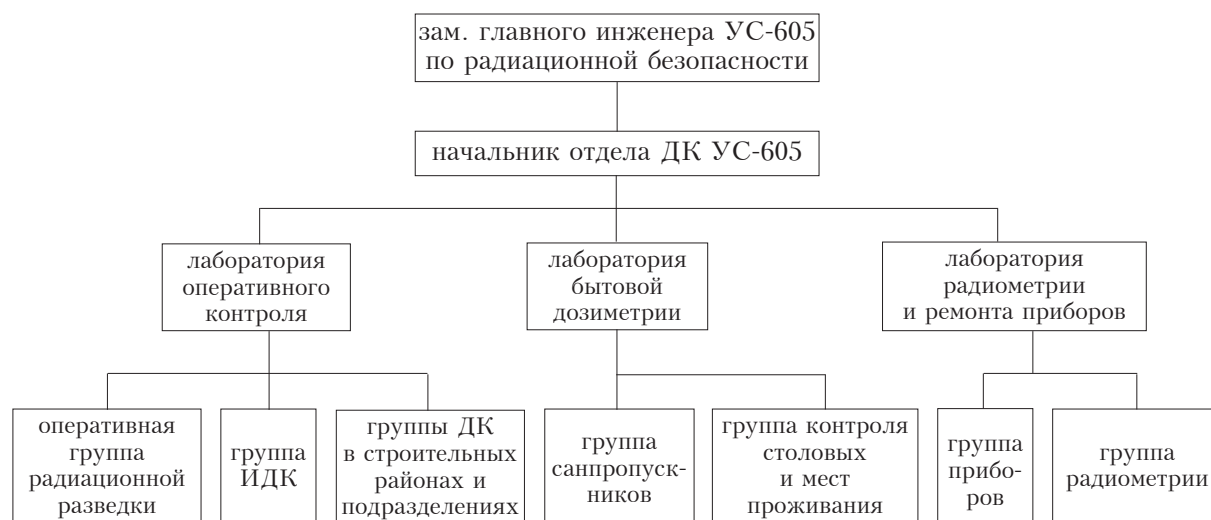


Рис.2. Структура отдела дозиметрического контроля Управления строительства 605 (ОДК УС-605).

Отдел комплектовался из специалистов по дозиметрии и защите от излучений, командированных с предприятий и организаций МСМ СССР, и подчинялся заместителю главного инженера УС-605 по радиационной безопасности. Главными «поставщиками» специалистов в ОДК УС-605 были основные предприятия отрасли, которые направили дозиметристов, имеющих большой практический опыт работы на предприятиях ПО «Маяк», СХК, ГХК, ЧМЗ, ВНИИЭФ, ИФВЭ, ОИЯИ, РИ им. В.Г. Хлопина, СНИИП, ППГХО, ЦГХК и многих других. Следует отметить ключевую роль в работе ОДК УС-605 специалистов, которые ранее многие годы работали в полевых экспедициях на ядерных испытательных полигонах под Семипалатинском и на Новой Земле, прежде всего представителей

ВНИИЭФ и РИ им. В.Г. Хлопина.

В состав группы радиационно-технической разведки и противорадиационной защиты ОДК были привлечены прикомандированные специалисты по дозиметрии и защите от излучений из Московского инженерно-физического института.

Общая численность ОДК составляла 150–270 человек в различные периоды деятельности УС-605, из которых 40–50% были инженерно-технические работники, остальные – лаборанты-дозиметристы. Деятельность ОДК была регламентирована соответствующим Положением об отделе, планами и графиками радиационного контроля.

В состав ОДК входили три лаборатории: оперативного контроля, радиометрии и ремонта приборов, бытовой дозиметрии. Каждая лабора-

тория состояла из нескольких групп.

От коллектива ОДК УС-605 потребовалось провести научное обоснование, практическое внедрение специализированной системы и методов РК с целью обеспечения радиационной безопасности всех участников строительства объекта «Укрытие». Это повлияло на выбор инженерно-технических и проектных решений и реально способствовало существенному снижению дозовых нагрузок на персонал.

Особенности создания уникальной системы обеспечения радиационной безопасности в процессе строительства объекта «Укрытие» были обусловлены:

- крайне сложной радиационной обстановкой, определявшейся высоким уровнем воздействующих на людей ионизирующих излучений

и неоднородностью радиационных полей;

- необходимостью обеспечения противорадиационной защиты большой численности привлекаемого к строительству-монтажным работам персонала, как правило, не имевшего опыта работы в радиационно-опасных условиях;
- масштабами и объемом работ, а также специфичностью зон их проведения;
- необходимостью создания и использования биологической защиты и защищенных рабочих мест, проведения других специальных противорадиационных мероприятий (например, двухпетлевой схемы движения транспорта);
- необходимостью создания специализированных методик радиационно-технической разведки, а также эффективной аппаратуры радиационного контроля и средств индивидуальной дозиметрии.

Основные решения и мероприятия по обеспечению радиационной защиты персонала при сооружении «Укрытия»

С целью уменьшения пространства радиоактивных веществ и снижения облучаемости персонала строго соблюдалась зональность и поэтапность выполнения

работ от периферии к центру основного источника радиоактивности (разрушенному энергоблоку).

Реализация проектных решений при сооружении объекта «Укрытие» в сложной радиационной обстановке потребовала выполнения комплекса организационно-технических мероприятий для обеспечения радиационной защиты персонала, к которым прежде всего следует отнести следующие:

1. Широкое использование строительной техники и машин с дистанционным управлением. Для управления процессом монтажа был создан центральный оперативный пост с телеэкраном, соединенный системой связи с выносными подвижными телекамерами, смонтированными непосредственно на стрелах грузоподъемных кранов и специальных вышках, установленных в точках максимального обзора. Аналогичным образом с помощью телемониторов и двухсторонней громкоговорящей связи была организована работа на местах с повышенным уровнем излучения (более 10 Р/ч).

2. Применение специальных технологий производства бетонных работ с использованием дистанционной бетононасосной техники и бетонопроводов. Для задержания от растекания бетонной

массы в местах подачи бетона применялись металлические и капроновые сети, мешки с бетоном или щебнем, конструктивные элементы разрушенного здания, которые дистанционно перемещались в необходимые места.

3. Использование различных радиационно-защищенных кабин машин и механизмов и экранов для проведения работ в полях излучения от единиц до сотен Р/ч, которые имели коэффициенты защиты от излучения 5–3000. Разработка и изготовление защитных экранов производились на месте из листового свинца, свинцового стекла. Для выполнения работ или визуального наблюдения за их ходом в местах, где излучение превышало 100 Р/ч, были созданы специальные транспортабельные бронекабины, получившие название «батискафы», которые имели коэффициент защиты до 2000.

4. Использование специальных технологий и технических средств для механической дезактивации территории и сооружений ЧАЭС. Основная часть территории вокруг разрушенного блока дезактивировалась путем удаления разбросанных активных элементов топлива и графита и снятия зараженного поверхностного слоя грунта. В отдельных местах производился пылеотсос.

Подавление локальных источников осуществлялось засыпкой щебнем и бетонированием. Большая часть высокоактивных элементов при очистке территории загружалась в контейнеры и сбрасывалась в развал реактора для захоронения внутри возводимого «Укрытия». Снятый грунт, мусор и другие активные элементы вывозились в специально организованные могильники. Для дезактивационных работ использовались инженерные машины разграждения (ИМР-1) с грейферными захватами на выдвигной стреле и ножом бульдозера, радиоуправляемые бульдозеры ДТ-250 (СССР), «Камацу» (Япония), фронтальные погрузчики производства ПНР и фирмы «Торо» (Финляндия) и другая строительно-дорожная техника, оснащенная защитой от излучения рабочего места оператора, установками фильтрации воздуха, аппаратурой теленаблюдения и радиосвязью. Для дезактивации загрязненных кровель применялись роботизированные дистанционно управляемые механизмы РР, ТР, СТР, «Мобот-4» (СССР) и МФ-2, МФ-3 (ФРГ), а также радиационно-защищенные минитракторы, оснащенные бульдозерными ножами, фрезами или грейферными захватами.

5. Применение для монтажных работ кранов большой грузоподъемности фирм «Демаг» и «Либхерр» (ФРГ), оснащенных телекамерами и позволявших монтировать части конструкций весом до 160 т на вылетах стрел до 50 м. Использование новых методов строповки и расстроповки грузов без участия человека, а также специальных кондукторов для точной «посадки» конструктивных элементов на место при опускании их кранами.

Санитарно-технические мероприятия по обеспечению радиационной безопасности при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС и сооружении «Укрытия»

На период работ по ЛПА на ЧАЭС на основании НРБ-76 [10] и Основных санитарных норм и правил работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений ОСП-72/80 [11] Министерством здравоохранения СССР была установлена суммарная предельная индивидуальная доза внешнего облучения, равная 25 бэр (за время вахты) и предельная доза облучения за одну рабочую смену – 1 бэр. При достижении суммарной предельной индивидуальной дозы внешнего облучения работник освобождался

от работы в зоне ЧАЭС и направлялся на медицинское обследование в медсанчасть. Были установлены также контрольные уровни основных факторов радиационной опасности для производственных и жилых зон УС-605, приведенные в табл.2. [3,5].

В целях сокращения разноса радиоактивных веществ транспортом и людьми весь район отчуждения вокруг ЧАЭС был разделен на три зоны: I – территория, ограниченная снаружи условной окружностью радиусом ~30 км от ЧАЭС, в которую входил г. Чернобыль, где размещались центры управления работами по ЛПА, вспомогательные службы, столовые; II – с границей на расстоянии около 15 км от ЧАЭС, где размещались основные производственные подразделения для подготовки строительных конструкций, готовились материалы, в т. ч. бетон, и механизмы перед производством работ непосредственно на ЧАЭС; III – промплощадка ЧАЭС с радиусом 3–4 км от станции.

Весь транспорт на выездах из «грязных» зон в более «чистые» подвергался обязательному контролю за уровнем радиоактивного загрязнения, и если он превышал контрольную величину, то направлялся на специальные пункты санитарной обработки.

Табл.2. Контрольные уровни основных факторов радиационной опасности для работников УС-605 при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

N п/п	Наименование контролируемой величины и объекта контроля	Единицы измерения	Промышленные зоны			30-километровая зона	Жилая зона
			III	II	I		
1	Эквивалентная доза внешнего облучения						
1.1	За все время работы	бэр	25	25	-	-	-
1.2	За день работы	бэр	1,0	1,0	-	-	-
2	Радиоактивное загрязнение						
2.1	Кожные покровы, нательное белье	мР/ч	2,0	1,0	0,5	0,1	-
		β-част/(см ² ·мин)	-	-	-	-	150
2.2	Постельные принадлежности, личная одежда, обувь, внутренние поверхности жилых помещений и столовых	мР/ч	-	-	-	0,1	-
		β-част/(см ² ·мин)	-	-	-	-	150
2.3	Спецодежда, средства индивидуальной защиты	мР/ч	5,0	3,0	-	-	-
2.4	Рабочая одежда и обувь	β-част/(см ² ·мин)					1000
2.5	Поверхности помещений постоянного пребывания персонала, внутренние поверхности транспортных средств, кабин машин и механизмов	мР/ч	5,0	3,0	1,0	0,2	-
		β-част/(см ² ·мин)					1000
2.6	Наружные поверхности транспортных средств, механизмов, покрытия дорог	мР/ч	20,0	5,0	1,5	0,3	-
		β-част/(см ² ·мин)					3000

Автобусы, осуществлявшие перевозку людей, были закреплены за соответствующими зонами, пересадка людей производилась на специальных площадках около пунктов санобработки транспорта. На границе II и III зон осуществлялась перегрузка бетона на специальной эстакаде из «чистых» бетоновозов-миксеров в «грязные», осуществлявшие перевозку бетона на территорию станции.

Все работники, принимавшие участие в ЛПА на ЧАЭС, в обязательном порядке проходили медицинское освидетельствование и инструктаж по вопросам радиационной безопасности, мерам личной гигиены,

способам защиты и правилам использования СИЗ. Работники обеспечивались основной спецодеждой, обувью и СИЗ органов дыхания – респираторами «Лепесток-200». Кроме того, в зависимости от характера и условий работы, они оснащались дополнительными средствами защиты: освинцованными фартуками, поясами, очками, а также плечеными фартуками, наруканниками, перчатками, бахилами, фильтрующими противогазами, изолирующими дыхательными аппаратами и костюмами.

Спецодежда, белье, обувь и другие индивидуальные средства защиты при радиоактивном загрязнении до 30 мР/ч,

или 100 мР/ч от мешка со спецодеждой на расстоянии 3–10 см при загрязнении выше указанных величин рассматривались как радиоактивные отходы и направлялись на пункты захоронения.

В зоне отчуждения ЧАЭС был установлен санитарно-пропускной режим, предусматривавший переодевание, обмыв и принудительный радиационный контроль персонала при выходе из «грязных» зон в «чистые».

При входе в столовые и жилые зоны постоянно функционировали дозиметрические посты, где контролировалось загрязнение рук, одежды, обуви, и были установлены умывальники и устройства

для обмыва обуви. Проход в столовые и жилые помещения при наличии загрязнений свыше установленных контрольных уровней был запрещен. Радиоактивное загрязнение посуды в столовых не допускалось.

Все работы в районе аварийного энергоблока проводились только после контроля радиационной обстановки, определения основных источников излучения и безопасных регламентов работ. На наиболее опасных участках, где мощность дозы гамма-излучения превышала 10 Р/ч, работы осуществлялись по допускам и с пооперационным дозиметрическим контролем.

Снижение дозы облучения персонала достигалось ограничением времени пребывания в радиационно-опасных условиях, дистанционным выполнением технологических операций и использованием защитных экранов и укрытий. Кроме дистанционно-управляемых механизмов широко использовались инструменты и приспособления, отдаляющие человека от локальных источников излучения (захваты, манипуляторы, удлиненные рукоятки). В качестве защитных экранов применялись стенки из мешков с песком, железобетонных плит, свинцовых кирпичей и временных щтор из листового свинца на переносных каркасах.

На работах, связанных с образованием пыли, принимались меры по пылеподавлению (полив водой дорог, орошение территории, участка работ, увлажнение грунта и т. п.).

По возможности сокращалось время доставки персонала к месту работы путем использования лифтов, подъемников. Для перевозки работников по территории ЧАЭС использовались автобусы с экранами из листового свинца (с коэффициентом защиты, равным 3) и с очисткой поступающего в салон воздуха через фильтры. Часть автобусов имела кондиционеры.

Радиационная обстановка при сооружении «Укрытия» и некоторые аспекты аппаратурно-методического обеспечения радиационного контроля

Радиационная обстановка при сооружении «Укрытия» была сложной и весьма опасной. Положение усугублялось необходимостью определения пространственно-углового распределения γ -излучения и отыскания локальных источников излучения. Эти измерения проводились с использованием стандартной аппаратуры (ДП-5В, СРП-68) или дозиметров (ИКС-А, ДПГ-0.3) с набором различных коллиматоров,

разработанных в ОДК. При проведении радиационной разведки в качестве простейшего «коллиматора» использовался бронетранспортер, на гранях которого (перед-зад, левый-правый борт, верх-низ) укреплялись дозиметры ИКС-А. Стальной корпус бронетранспортера и дополнительная свинцовая защита обеспечивали со стороны каждой из шести граней измерение интегральной дозы от соответствующего полупространства. Это позволяло с угловым разрешением 2π выделять направления на основные группы источников и оценивать их относительный вклад в мощность дозы.

Измерения показали, что 75–80% МЭД излучения обусловлено топливом, разбросанным на территории, а не «прострелами» из развалов реактора, как предполагалось первоначально. В связи с этим ОДК было предложено создать защитный экран на территории, примыкающей к разрушенному блоку, путем засыпки ее щебнем (~0,3 м) с последующей заливкой слоем бетона (~0,3 м). Реализация этого предложения привела к снижению МЭД в 7–20 раз.

Проведение радиационной разведки в опасных и труднодоступных местах потребовало некоторой доработки применявшихся приборов:

удлинение (до 15–20 м) кабелей, соединяющих детекторы с измерительным пультом, уменьшение постоянной времени установления стрелки прибора (для сокращения времени измерения в полях с высокими МЭД), укрепление детекторов на штангах, позволяющих выносить детекторы на 3–4 м. После доработки приборы градуировались с помощью эталонных источников.

На начальном этапе радиационного контроля были отмечены некоторые особенности индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) персонала. Анализ результатов этого контроля показал, что в идентичных условиях облучения на ЧАЭС после аварии показания дозиметров Д-2 (ионизационный дозиметр) и ИКС-А (термолюминесцентный дозиметр из алюмофосфатного стекла) различаются в $1,81 \pm 0,48$ раза. Очевидно было, что причину подобных расхождений следовало искать в энергетической зависимости дозовой чувствительности («ходе с жесткостью») используемых дозиметров. С этой целью определялись спектральные характеристики излучения в различных местах проведения работ. Результаты измерений показали, что реальные спектры γ -излучения существенно

«мягче» (~100 кэВ), чем следовало ожидать от излучения рассеянного топлива (550–700 кэВ).

На основании проведенных измерений были условно определены три характерных типа радиационных полей, различавшихся по «жесткости» спектра γ -излучения:

- *жесткие* ($E \sim 0,5$ МэВ), типичные для рабочих мест, на которых основной вклад в МЭД дает излучение «прямой видимости» от локальных источников;
- *средние* ($E \sim 0,2$ МэВ), типичные для открытых площадок на грунте с объемно распределенными радиоактивными веществами;
- *мягкие* ($E \sim 0,1$ МэВ), типичные для рабочих мест, на которых основной вклад в МЭД дают источники, находящиеся за защитой из легких материалов (щебень, грунт, бетон).

Было проведено сличение различных индивидуальных дозиметров в полях излучений указанных трех типов. При этом в качестве эталонного использовался прибор ДРГЗ-03 с тканеэквивалентным детектором NaI(Tl) и низким энергетическим порогом регистрации ($E_{пор} = 20$ кэВ). На основании полученных результатов для дозиметров Д-2, которые использовались для оперативного дозиметрического

контроля, были введены соответствующие корректирующие коэффициенты.

По мере сооружения «Укрытия» изменялись характеристики полей γ -излучения, влияющие на показания дозиметров. Поэтому проводилось периодическое сличение дозиметров с целью уточнения коэффициентов коррекции.

Учет «хода с жесткостью» дозиметров позволил в среднем на 30% продлить время работы квалифицированных строителей. Тем самым не возникло необходимости в привлечении дополнительного числа строителей без опыта строительства объекта «Укрытие». Действия этих пришедших на смену строителей не могли быть, конечно, так эффективны и, следовательно, время их пребывания в радиационных полях необходимо было увеличить. Таким образом, учет хода с жесткостью позволил уменьшить численность наиболее квалифицированной части строителей на 30% и, по крайней мере, на столько же уменьшить коллективную дозу для этой части персонала УС-605.

Непрерывные измерения в помещениях разрушенного блока ЧАЭС (машинный зал) в июне–июле 1986 г. показали, что при МЭД γ -излучения 0,4–0,7 Р/ч уровни нейтрон-

ного излучения составляли $0,0004-0,008$ бэр/ч, то есть вклад нейтронов в полную дозу не превышал 2%. Поэтому при проведении ИДК вклад нейтронов не учитывался.

Одним из радиационных факторов при сооружении «Укрытия» являлось внешнее воздействие β -излучения, для которого критическим органом является кожный покров человека. При сооружении «Укрытия» применявшиеся средства индивидуальной защиты экранировали тело человека от β -излучения. В связи с этим фактическая опасность β -излучения была существенно ниже по сравнению с γ -излучением.

Определение концентрации радионуклидов в воздухе осуществлялось как по суммарной активности фильтров, так и по активности отдельных радионуклидов на фильтрах (спектрометрическим методом). Пробы воздуха для анализа отбирались на территории и в помещениях ЧАЭС в заданных точках. Кроме того, регулярно осуществлялся объезд на бронетранспортере по периметру станции с целью отбора проб воздуха в нескольких точках. Средняя концентрация β -активных нуклидов в воздухе, усредненная по периметру станции за период

с 11.06.86 по 11.07.86 г. составила $3 \cdot 10^{-11}$ Ки/л (от 10^{-12} до $2,5 \cdot 10^{-10}$ Ки/л).

По мере сооружения «Укрытия» снижались концентрации радионуклидов в воздухе. Так, если в июле 1986 г. загрязненность воздуха в местах проведения работ β -активными нуклидами была в пределах от $2,2 \cdot 10^{-12}$ до $8,0 \cdot 10^{-11}$ Ки/л, α -активными нуклидами от $4,1 \cdot 10^{-15}$ до $6,3 \cdot 10^{-14}$ Ки/л, то в ноябре 1986 г. эти пределы составили от $5,0 \cdot 10^{-13}$ до $2,4 \cdot 10^{-12}$ и от $1,2 \cdot 10^{-15}$ до $6,0 \cdot 10^{-15}$ Ки/л соответственно.

Анализ данных о состоянии воздушной среды в зоне работ по сооружению «Укрытия» показал, что концентрация β -активных аэрозолей в 10^2-10^3 раз превышала концентрации α -активных аэрозолей. В ряде помещений разрушенного блока средняя величина отношения β -активности к α -активности в воздухе в июле 1986 г. составляла 600, в то время как это отношение в выброшенных из реактора продуктах на 06.05.86 г. составляло 1100.

Концентрации радиоактивных аэрозолей в зоне работ превышали допустимые (ДК), как правило, не более чем на порядок. Лишь при выполнении отдельных пылящих операций загряз-

нение воздуха достигало 100–300 ДК.

Поскольку уровни γ -излучения по мощности дозы превышали допустимую величину в пределах $100 \div 5 \cdot 10^4$ раз, то опасность внутреннего облучения персонала была существенно меньшей по сравнению с внешним излучением и еще более снижалась вследствие применения СИЗ органов дыхания. Тем не менее, для контроля содержания радионуклидов в организме часть персонала, получившая дозу облучения более 20 бэр, направлялась в лабораторию Минздрава СССР для обследования на счетчике излучения человека (СИЧ) или определения радионуклидов по результатам анализа биосубстратов [8]. Максимальное содержание радионуклидов в организме не превышало 0,3 допустимой величины.

На основании полученных в лабораториях Минздрава СССР данных был сделан вывод, что на работах УС-605 по ликвидации последствий аварии внутреннее облучение персонала было незначительным (примерно в 100 раз ниже внешнего облучения). Принятые меры по защите от поступления радионуклидов в организм можно считать вполне достаточными.

Результаты индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) персонала УС-605

Индивидуальному дозиметрическому контролю подвергалось в течение 1986 г. более 21,5 тыс. человек. Было проведено около 90 тыс. измерений с помощью дозиметров суммарной дозы и свыше 700 тыс. измерений с помощью дозиметров Д-2. При проведении ИДК руководствовались значениями допустимой дозы 25 бэр (Р) за период работы 2 месяца и контрольного уровня 1 бэр за смену [4]. Результаты ИДК персонала УС-605 в обобщенном виде приведены в табл.3.

Облучаемость персонала в период работ по сооружению «Укрытия» была неравномерной во времени, о чем свидетельствуют данные табл.4.

Наибольшему облучению персонал подвергался в октябре–ноябре, когда проводились работы по монтажу перекрытия 4 блока ЧАЭС (средняя доза – 10,4 бэр). На этот же период приходит-

ся и наибольшее количество случаев повышенного (более 25 бэр) облучения. При этом превышение над 25 бэр в большинстве случаев составляло 1–3 бэр.

Основной причиной повышенного облучения являлось привлечение добровольцев из числа высококвалифицированного персонала с накопленной дозой на уровне 20 бэр к выполнению «аккордных» разовых работ.

Максимальная доза внешнего облучения зафиксирована на уровне 49,2 бэр. Причиной повышенного облучения явилось несвоевременное снятие показаний с дозиметра-накопителя. Такая ситуация возникла вследствие неоднократного получения работником «разовых» доз, превышающих верхний предел измерения дозиметров Д-2 (2 Р), использовавшихся для оперативного дозиметрического контроля.

Следует отметить, что, несмотря на установленный порядок отслеживания хода накопления дозы облучения

и принятые меры по непревышению у персонала допустимой дозы, равной 25 бэр, в течение 1986 г. (в основном, в сентябре–ноябре) было зафиксировано свыше 1000 случаев «ложного превышения», когда суммарная доза по дозиметрам длительного ношения оказывалась выше контрольной.

При этом на основании расследований, проводившихся в таких случаях, было установлено, что фактическая доза облучения у работников в 90% случаев была ниже 25 бэр.

Основной причиной, приводившей к повышенным показаниям дозиметров, а в некоторых случаях и к фактическому переоблучению персонала, можно считать применение положения о выплате денежной компенсации при дозах облучения 25 бэр и выше. Это приводило к тому, что в некоторых случаях работники, с целью получения компенсации, преднамеренно облучали индивидуальные дозиметры в повы-

Табл.3. Облучаемость персонала УС-605 в 1986 г. [4].

Количество контролируемых лиц	Средняя доза, бэр	Коллективная доза, чел-бэр	Количество лиц, облученных дозами в пределах, бэр					
			0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	более 25
21511 100%	8,57 -	184451 -	10890 50,6%	3039 14,1%	2474 11,5%	2627 12,3%	2320 10,8%	155 0,7%

Табл.4. Средние значения доз внешнего облучения персонала в различные периоды работ по ЛПА [6].

Дата увольнения (1986 г.)	31.08	30.09	31.10	31.11	31.12
Доза, бэр	5,5	9,1	9,7	10,4	6,5

шенных полях излучения или шли на иные уловки.

По каждому случаю повышенного облучения проводились специальные расследования. Сотрудники, у которых суммарные показания дозиметров превышали 25 бэр, направлялись на медицинское обследование, при котором определялось также содержание радионуклидов в организме. Основными причинами облучения персонала дозами свыше 25 бэр, помимо рассмотренной выше, являлись:

- участие в «дозозатратных» работах работников, имеющих дозу облучения близкую к предельной, в связи с производственной необходимостью в течение 2–5 дней (до прибытия замены);
- привлечение к аккордным работам некоторых лиц из персонала с накопленной дозой 20 бэр и несколько выше (разовая доза при аккордных работах составляла 2–4 бэр, в отдельных случаях 5–7 бэр);
- несвоевременная замена и измерение интегральных дозиметров;
- случайное, зачастую не по производственной необходимости, попадание в поля с большой мощностью дозы гамма-излучения.

Позднее экспертами Института биофизики МЗ СССР качество дозиметрического

контроля персонала УС-605 (гражданского и военного) было оценено как высокое [2].

В ОДК УС-605 была разработана система радиационного контроля (РК), включающая проведение РТР (радиационно-технической разведки – определение пространственного расположения источников γ -излучения на месте проведения работ), оперативный анализ ее результатов и их представление для принятия решения о выполнении конкретных работ.

Разработанный в ОДК комплекс методик состоял из методики предварительной разведки для выявления главных источников, формирующих радиационную обстановку на участках выполнения работ, методики поиска локальных источников и методик необходимых защитных мероприятий (физическая защита, защита за счет оптимальной организации порядка работ и т. д.). Расчетные оценки показывают, что по сравнению с «прямолинейным» подходом к строительству объекта «Укрытие», в результате разработанных и реализованных ОДК мер, дозы внешнего облучения персонала удалось снизить примерно в 4 раза.

Выводы и заключение

Результаты радиационного контроля при сооружении «Укрытия» свидетельствуют

о том, что принятые комплексные меры по обеспечению радиационной безопасности персонала УС-605 позволили свести к минимуму его дозы облучения, несмотря на сложную, экстремальную радиационную обстановку, крупные масштабы и высокие темпы работ.

Средняя доза облучения персонала УС-605 составила 8,6 бэр, доля работников, получивших облучение до 5 бэр, составила 50,6%. Превышение облучения свыше допустимой дозы (25 бэр) было у 0,7% работников (155 чел.), причем, в основном это превышение составило 1–3 бэр, максимальная доза – 49,2 бэр, коллективная доза – 184451 чел.бэр.

У 90% обследованных лиц из персонала УС-605 (всего 350 чел.) содержание радионуклидов в организме (цирконий-95, ниобий-95, рутений-103, цезий-134, цезий-137) не превышало 0,1 ДСА, максимальное содержание не превышало 0,3 ДСА.

30 ноября 1986 г. объект «Укрытие» был принят государственной комиссией и передан для долговременного обслуживания (рис.3). Разрушенный 4-й энергоблок ЧАЭС был надежно законсервирован с необходимой защитой помещений смежного 3-го энергоблока и прилегающей территории. Тем самым, были



Рис.3. Внешний вид объекта «Укрытие» после завершения его строительства.

созданы условия для технического обслуживания аварийного блока и ввода в эксплуатацию трех остановленных энергоблоков.

Сооружение «Укрытия» стало возможным благодаря успешному решению проектных и организационно-технических проблем, выполнению крупномасштабных строительно-монтажных работ при реализации комплекса мероприятий по обеспечению радиационной безопасности в процессе аварийно-восстановительных работ.

Опыт сооружения «Укрытия» аварийного блока на ЧАЭС позволяет сделать вывод о возможности аварийных работ в условиях экстремальной радиационной обстановки

и о необходимости совершенствования технического оснащения и степени подготовки сил и средств к действиям в аварийных и послеаварийных условиях.

Следует отметить важный элемент успешной работы УС-605 по обеспечению радиационной безопасности персонала (гражданского и военного) то, что к этому были привлечены лучшие специалисты отрасли упомянутых выше предприятий и институтов, а также то, что было обеспечено постоянное взаимодействие с профильными организациями других ведомств, таких как Институт биофизики МЗ СССР, ВНИИФТРИ Госстандарта СССР и другие. Вся деятель-

ность координировалась соответствующими оперативными группами этих ведомств при Правительственной комиссии по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

Послесловие

В данной статье представлена информация об обеспечении радиационной безопасности при сооружении объекта «Укрытие» на Чернобыльской АЭС, которая содержалась в ряде докладов и публикаций, выполненных в 1988–1996 гг. [3-9], и основывалась на материалах отчета о научно-технической работе, выполненного группой ведущих специалистов Отдела дозиметрического контроля ВНИИЭФ под руководством В.И. Гришмановского. Следует отметить, что именно эти специалисты сыграли ключевую роль в формировании и последующей успешной деятельности ОДК УС-605 в крайне сложной обстановке важного периода ЛПА на Чернобыльской АЭС в мае–ноябре 1986 года.

Выражаем персональную благодарность О.А. Кочеткову, Б.В. Поленову, К.Г. Бочарову, В.Ю. Усольцеву и Е.Д. Паличеву за помощь и советы при подготовке статьи.

Литература

1. Беляев И.А. Бетон марки «Средмаш», М.: ИздАТ, 1996.
2. Крючков В.П., Кочетков О.А., Цовьянов А.Г. Радиационно-дозиметрические аспекты ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. М.: ИздАТ, 2011.
3. Панфилов А.П., Беловодский Л.Ф., Гришмановский В.И. Обеспечение радиационной безопасности при сооружении объекта «Укрытие» на Чернобыльской АЭС. Доклад на международном симпозиуме по восстановительным работам в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации. Вена, Австрия, 6–10 ноября 1989. С. 87-104.
4. Беловодский Л.Ф., Андреев И.И., Болотов Ю.А., Панфилов А.П. и др. Радиационный контроль при сооружении «Укрытия» четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС. Доклад на международном симпозиуме по восстановительным работам в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации. Вена, Австрия, 6–10 ноября 1989. С. 105-123.
5. Беловодский Л.Ф., Гришмановский В.И., Панфилов А.П. Обеспечение радиационной безопасности в экстремальных ситуациях. Доклад на международном симпозиуме «Proceedings of an International Symposium on Radiation Protection Infrastructure», Munich, 7–11 May 1990. P. 421-438.
6. A. Panfilov. Individual monitoring during construction of the «Ukrytie» at the Chernobyl Nuclear Power Plant. Problems of Reconstruction of Individual Radiation Doses as a Result of Large – Scale Radiation Accidents and Estimations of Radiation Risks. Доклад на международном симпозиуме «Russian – Japan Symposium with participation of CIS states». Moscow, 20–21 October 1994.
7. Беловодский Л.Ф., Панфилов А.П. Организационно-технические проблемы обеспечения радиационной безопасности при сооружении объекта «Укрытие». Доклад на всероссийской конференции «Радиоэкологические, медицинские и социально-экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Реабилитация территорий и населения». М., 21–25 мая 1995.
8. Беловодский Л.Ф., Панфилов А.П. Разработка системы обеспечения радиационной безопасности при сооружении объекта «Укрытие». Доклад на 2-й Международной научно-технической конференции, посвященной 10-й годовщине завершения работ по строительству объекта «Укрытие». Славутич, 26–28 ноября 1996.
9. Беловодский Л.Ф., Панфилов А.П. Проблемы обеспечения радиационной безопасности при сооружении объекта «Укрытие» и восстановлении 3-го энергоблока Чернобыльской АЭС. Доклад на международной конференции «Десятилетие после Чернобыля: оценка радиологических последствий аварии». Вена, Австрия, 8–12 апреля 1996.
10. Нормы радиационной безопасности НРБ-76 № 141-76 от 07.06.1976. М.: Атомиздат, 1978.
11. Основные санитарные нормы и правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений ОСП-72/80 № 2120-80 от 18.01.1980. М.: Атомиздат, 1981.

Radiation Safety During the Construction of the «Sarcophagus» («Shelter» object) at the 4-th Unit of the Chernobyl Nuclear Power Plant in May–November 1986

Belovodsky Lev (Federal State Unitary Enterprise Dukhov Automatics Research Institute, Moscow, Russia)

Panfilov Alexander (Service Inspectorate General State Atomic Energy Corporation «Rosatom», Moscow, Russia)

Abstract. This year marks the 35-th anniversary of the events related to the liquidation of the consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant (Chernobyl NPP) and their most important stage - the closure of the destroyed 4-th power unit with a special structure, which was initially called the «Sarcophagus» (later the «Shelter» object). This article presents information about the period May–November 1986 in the aspect of radiation safety of the builders of this unique facility.

Key words: 35-th anniversary of the liquidation of the consequences of the Chernobyl accident, the radiation situation during the construction of the «Shelter» object, radiation exposure to the personnel of the Construction Department No.605, Department of dosimetric control CD-605, hardware and methodological support of radiation monitoring, the results of individual dosimetric control.

Л.Ф.Беловодский (профессор, д.т.н., гл.н.с.) – ВНИИА им. Духова, г. Москва.

А.П.Панфилов (к.т.н., советник) – Служба генерального инспектора Госкорпорации «Росатом», г. Москва.

Контакты: тел. +7 (499) 949-26-26; e-mail: APPanfilov@rosatom.ru.