

УДК 624,69:658.545 (045)

А.Г. Ревук, И.И. Куленович

ЗАЩИТА ЛЮДЕЙ ОТ ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Проведен анализ проблем, которые возникнут перед строительными организациями при решении вопросов, связанных с преобразованием объекта "Укрытие" в экологически чистую зону. Проанализированы недостатки существующей методики оценки доз облучения строительного персонала при проведении работ в зоне повышенного радиоактивного фона. Рассмотрен и проанализирован опыт применения биозащитной техники в первые месяцы после аварии на 4-м блоке ЧАЭС. Проанализирована перспектива использования телевидения при проведении строительных работ в зоне повышенного радиоактивного фона.

Академией наук Украины в 1992 году был объявлен международный конкурс по разработке эффективного решения защиты специалистов и окружающей среды от последствий радиационно опасных аварий [1]. Для решения этой же задачи в апреле 1994 года был сформирован консорциум "Альянс", который представляет собой объединенную международную строительную компанию, состоящую из ведущих европейских строительных организаций, принимавших участие в конкурсе. В состав его вошли, фирмы "Кампенон Бернар", "АЕА Технолоджи", "Бойгюс", "СЖН", "Тайвуд Инжиниринг", "Вальтер-Бау", а также ряд российских и украинских строительных и проектных организаций и учреждений. Таким образом, для решения поставленных задач был собран "альянс" мастерства и идей всего мира. Предстояло решить ряд фундаментальных вопросов, связанных с хранилищем, содержащим несколько тысяч кубометров радиоактивных и высокотоксичных отходов. В этом объекте сейчас выявляются неотвратимые признаки несовершенства (дефекты), обусловленные работой конструкции в экстремальных радиологических условиях и той быстротой, с которой он был возведен. Реализацией такого объема работ еще никто в мире не занимался: предстояло отсортировать, обработать и захоронить радиоактивные отходы без ущерба для окружающей среды, а также соорудить новую защитную оболочку - "Укрытие II" [2,3]. В процессе работы тендера различными учреждениями было предложено большое количество различных вариантов построения "Укрытия-II". Одним из ведущих критериев оценки эффективности предложенных вариантов для Академии наук являлась коллективная доза облучения. Которая определяет потребность в трудовых ресурсах для реализации предложения. Поэтому украинской стороной предварительная работа была приостановлена. Причина замораживания работ - очень высокие рассчитанные коллективные дозы облучения. Из-за несовершенства методик расчета конечные результаты оказались завышенными, следовательно, потребности в трудовых ресурсах оказались также очень высокими [4]. Существует несколько причин отсутствия методики расчета доз облучения:

- неэффективность средств защиты от γ -излучений;
- нет опыта применения специальных биозащитных машин и механизмов для работы в высоких полях γ -излучения.

Поскольку надежных средств индивидуальной защиты от проникающего γ -излучения на сегодняшний день не существует, все работы в условиях высоких ионизирующих полей следует производить с помощью специальных машин и механизмов, которые помимо защи-

ты от общестроительных вредных и опасных вредных факторов должны обеспечивать надежную защиту от γ -излучения, т.е. они должны обеспечивать допустимый уровень облучения применяемого радиоэлектронного оборудования и операторских мест.

С этой позиции были обобщены и проанализированы сведения о применении биозащитной техники в первые четыре месяца после аварии.

Жесткая радиационная ситуация, в условиях которой проводилась ликвидация последствий аварии, сделали необходимым использование разнообразных приспособлений и механизмов, исключающих присутствие людей в опасных зонах. В тех случаях, когда использование дистанционно-управляемой техники по каким-либо соображениям исключалось или не представлялось возможным и избежать присутствия человека в опасной зоне не удавалось, применялись всевозможные меры для защиты людей от радиации: защищались кабины водителей, операторов, машинистов от проникающих излучений и радиоактивной пыли. При производстве работ по разведке и дезактивации территории вокруг разрушенного блока, при строительстве объекта "Укрытие" применялись машины и механизмы, защищенные свинцовыми пластинами, герметичные, с подачей дыхательного воздуха через фильтровальные установки со свинцовистыми смотровыми специальными стеклами. Состав и область применения этой техники разнообразен: кабины кранов "Демаг", автокранов, тракторов, трубоукладчиков, вертолетов, грейферов, военных инженерных разградительных машин. Всего использовалось при разведке и создании объекта "Укрытие" двадцать пять единиц биозащищенных машин и кабин.

Для работы вокруг разрушенного блока использовались два бульдозера Т-130М, защита которых была также различной. От радиации кабины бульдозеров были защищены свинцовыми листами, толщиной, включая крышу кабины, - 100 мм. Минимальной была защита пола кабины - 60 мм. Это объяснялось тем, что дополнительно, кроме свинца, пол кабины защищен стальной рамой и ниже расположенными системами и механизмами. Толщина переднего защитного стекла составляла 440 мм, заднего - 200 мм. Для защиты органов дыхания от радиоактивной пыли воздух в кабины нагнетался фильтровентиляционными установками ФВУА-100-Н24. Оба бульдозера были оснащены средствами дозиметрического контроля. Кратность ослабления излучения кабины одного бульдозера составляла 2500 ед. при энергии излучения 1,25 МэВ, а другого 50, при той же энергии излучения. При одинаковых габаритах (1,34x1,34x1,735 м) масса первой кабины составлял 12 т, второй - 9 т. Из-за значительной дополнительной массы кабин радиус поворота тракторов был увеличен. Дозиметрические расчеты показывают, что применение дополнительной защиты позволило «сэкономить» свыше 10000 чел/Бер.

Биозащитные кабины крана ЛТ-1300 выполнялись подобным образом. Кабины водителя и крановщика облицовывались свинцовыми листами толщиной 50 мм. Толщина свинцовистых стекол ТФ-5 составляла 150 мм, кратность ослабления излучения - 25 ед. при энергии излучения 1,25 МэВ. Масса каждой кабины составляла 5,5 т.

Кабины кранов ДЭК-251 № 4890 и 4889 имели такую же биозащиту, с той лишь разницей, что кабины крановщиков облицовывались свинцовыми листами толщиной 23 мм, с толщиной свинцового пола 30 мм. Воздух в кабины нагнетался фильтровентиляционной установкой ФВУА-100-Н12. Кратность ослабления γ -излучения этих кабин составляла 30 ед.

Пассажирский салон бронетранспортера БТР-70 (завод. № ИО7ЛТ 1825) закрывался листами свинца толщиной 10 мм, а кабина водителя и командира - (20 мм). Толщина стекол ТФ-5 была 75 мм. Воздух в кабины подавался искусственно очищенным. Кратность ослабления излучения в салоне составляла 20 ед., кратность ослабления излучения кабин водителя и командира - 25 ед. Биологическая защита БТР-70 создала дополнительную перегрузку до 5 т.

Защита кабин крана СМК-7, выполненного на базе шасси автомобиля МАЗ, состояла из свинцовых плит толщиной 20 мм и свинцовистых стекол. Эффективность защиты – 15-кратное ослабление γ -излучения.

Для управления мостовым краном КМ-125УД, который был установлен в машинном зале, была изготовлена биозащитная кабина. Ее защита аналогична описанным выше. Кабину можно было крепить к балке мостового крана (при этом электропитание подавалось от штатной кабины крана) или устанавливать на полу и переставлять по мере необходимости тем же краном. Управление краном осуществлялось дистанционно посредством кабеля. При массе кабины 18 т кратность ослабления излучения составляла 300 ед.

Для защиты пилотов и оператора вертолета Ми-8 от ионизирующего излучения от поверхности земли пол, кресла и боковые внутренние поверхности кабины обкладывались листами свинца толщиной 6...10 мм. Кратность ослабления 2...4 ед. по источнику излучения Cs-137 с энергией излучения 0,66 МэВ. Масса защиты пилотов 300 кг. Защита оператора вертолета выполнена путем обкладки пола и боковых стен вокруг нижнего люка вертолета листами свинца толщиной 10...20 мм. Кратность ослабления радиоактивного излучения 15 ед. по источнику излучения Cs-137 с энергией излучения 0,66 МэВ. Масса защиты оператора 900 кг.

Используемая при возведении объекта "Укрытие" защитная кабина бетоноукладчика "Creter-Crane" фирмы "Grove" (США), предназначенная для защиты обслуживаемого персонала от ионизирующего излучения выполнена путем обкладки свинцовыми листами (20 мм) внутренней поверхности штатной кабины бетоноукладчика. Защита выполнена из двух свинцовистых листов толщиной 75 мм. Кратность ослабления γ -излучения 10...12 ед. по источнику Co^{137} с энергией излучения 0,66 МэВ. Защита позволяла эксплуатировать бетоноукладчик в зонах с повышенным уровнем радиации. Масса дополнительной защиты 1,5 т.

Биозащитные кабины кранов СС-4000 "Деаг" выполнялись подобным образом. Каждая кабина была снабжена кондиционером и фильтровентиляционной установкой ФВУА-100-Н24. Средства видеоконтроля и управления оборудованием располагались на вспомогательной стреле, что позволяло в случае необходимости эксплуатировать краны дистанционно.

Защита трубоукладчика ТГ-124А имела коэффициент ослабления γ -излучения 50...80 ед. по источнику γ -излучения Co^{60} с энергией излучения 1,25 МэВ. Свинцовые листы, защитные стекла и система жизнеобеспечения позволяли эксплуатировать трубоукладчик, не покидая кабины в зоне производства работ. Для предотвращения опрокидывания использовался противовес массой 2 т.

Второй подобный трубоукладчик ТР-3560М имел кратность ослабления γ -излучения 5000 ед. при том же источнике излучения. Это обеспечивалось свинцовым листом толщиной 100 мм и защитным стеклом ТФ-5 толщиной 440 мм.

Военная инженерная машина разграждения ИМР-2Р предназначалась для проведения радиационной разведки и локализации радиоактивных отходов. Машина оборудовалась телевизионными установками и другими оптическими устройствами, оснащалась дозиметрической системой, дополнительной фильтрующей установкой для жизнеобеспечения экипажа и двигателя. В отличие от других, описанных выше, биозащитных систем машина ИМР-2Р имела два контура защиты. Наружный контур характерен тем, что дополнительно к свинцовому листу толщиной 70 мм на днище устанавливалась стальная плита толщиной 40 мм. Перед машины облицован 100...200-миллиметровым свинцом с засыпкой дробью, образовавшихся полостей. Имел место и внутренний контур защиты водителя и оператора, который состоял из свинцовых плит толщиной 30...70 мм, которыми были облицованы рабочие места. Эффективность защиты – 2500-кратное ослабление γ -излучения.

Использование свинцовой защиты на тягаче ЗиЛ-130 привело к значительной перегрузке передней левой подвески. Дополнительная нагрузка (из свинцовой плиты на полу – 25 мм, на стенках кабины – 20 мм, стекла ТФ-5 – 75 мм и вентиляционной установки ФВУА-100-Н12), составила 1,5 т. Защищалось от излучения только место водителя, пассажирская кабина не использовалась вовсе, отсюда и перегрузка только левой подвески. Эффективность защиты – 15-кратное ослабление излучения.

Кабина, которая создавалась не только для самоходных машин, но и для визуального контроля, служила для биологической защиты – управления манипулятором "Форестери". Она предназначалась для размещения органов управления манипулятора и защиты оператора от излучения. Перемещение в необходимое место осуществлялось краном, для чего над кабиной был смонтирован штырь для дистанционной растроповки. Масса кабины 22,0 т. Защита состояла из листов свинца (толщина от 20 до 100 мм) и стального покрытия (20 мм по верх свинцовых плит), свинцовистого стекла ТФ-5 толщиной 150 и 225 мм.

Кроме кабины для "Форестери" была создана еще одна биозащитная кабина – "Батискаф" для производства работ на перекрытиях. Она предназначалась для установки датчиков в проходках перекрытия, резки газовой горелкой, поддержки бетоновода и др. Кабина состояла из каркаса, заполненного свинцом. На передней стенке кабины имелись защитное окно и две пары универсальных проходок – для рук или шаровой опоры с захватом, на боковых стенках по одному защитному окну и по одной паре универсальных проходок. На задней стене имелось окно и две пары универсальных проходок. С наружной стороны задней стенки были расположены по два баллона с кислородом и ацетиленом. На полу имелось защитное окно, одна универсальная проходка и три проходки для рук. Все имеющиеся проходки обычно закрыты пробками. Снизу к кабине приварена рама высотой 400 мм и четыре проушины для крепления оттяжек. Кабина подвешивалась на крюк грузоподъемностью 32 т крана "Демаг" и рассчитана на двух рабочих. Толщина используемой свинцовой защиты: пол – 100 мм, стены – 60 мм, потолок – 20 мм. Дополнительно по всему периметру кабина облицована сталью 20 мм. Защитное стекло ТФ-5 на полу – 225 мм, по стенам 150 мм. Измерения кратности ослабления дозы γ -излучения (мощности дозы) проводились в соответствии с принятой методикой моделирования поверхностного источника излучения (радиоактивное загрязнение). В качестве источника излучения использовался изотоп Кобальт-60. Измерения проводились на месте размещения операторов в кабине. Кратность ослабления при энергии γ -излучения 1,25 МэВ Кобальт-60 для кабины составляет 500 ед. Масса снаряженной кабины 20000 кг.

Следует отметить, для всей биозащитной техники, что в реальной обстановке (например, в очаге радиационного загрязнения) возможно увеличение коэффициента кратности в зависимости от уменьшения энергии излучения. Так, при энергии излучения изотопа Цезия-137, равном 0,66 МэВ, коэффициент кратности ослабления излучения защиты кабины равен 10000 ед. Возможно уменьшение коэффициента кратности за счет дополнительного излучения от высокоактивных аэрозолей со стороны стенок и потолка биозащитных кабин, которые обычно имеют значительно меньшую степень защищенности.

Впервые на основании архивных сведений об интенсивности использования описанной техники были проведены расчеты эффективности использования техники. В качестве критерия эффективности был выбран показатель среднего индивидуального суточного поступления радиоактивного вещества $S_{\text{изм}}$ в организм оператора биозащитной техники. Этот показатель можно рассчитать по следующей формуле:

$$S_{\text{изм}} = \frac{\int_{i=1}^n A_{\text{изм}}^i}{n}.$$

В виду того, что показатель $A_{\text{изм}}$ – активность каждого поступившего в организм вещества учесть невозможно, используют другую формулу:

$$S_{\text{изм}} = \frac{a_k - (a_p k_{\text{сл}} (1 - f_2) + a_{\text{сут}})}{f_1 (1 - f_2)},$$

где a_k – радиоактивное вещество, содержащееся в воздухе в дни работы; a_p – средняя за смену загрязненность рук, расп./мин; $k_{\text{сл}}$ – коэффициент загрязненности рук, зависит от a_p , попадающая ежесуточно в организм; $a_{\text{сут}}$ – суточная активность выдыхаемого воздуха; f_1 – доля радиоактивного вещества, поступающего из дыхательной системы в легкие; f_2 – доля радиоактивного вещества, поступающего в кровь.

Для большого разового поступления радионуклидов в организм ингаляционным путем дозу облучения можно вычислить следующим образом:

$$S_{\text{изм}} = \frac{a_m - (a_p f_2 k_{\text{сл}} f_{\text{тр}} + a_{\text{нм}})}{(1 - f_1) f_4 f_i (1 - e^{-l})},$$

где a_m – количество радиоактивного вещества, содержащегося в суточном количестве выдыхаемого воздуха; $f_{\text{тр}}$ – доля радиоактивного вещества, определяющая транзитный выход радионуклидов из организма; $a_{\text{нм}}$ – суточная активность выдыхаемого воздуха, обусловленная выведением накопившегося в организме радиоактивного вещества ко времени измерения; f_4 – доля радиоактивного вещества, поступившего из дыхательной системы в кровь;

Точность определения $A_{\text{изм}}$ можно повысить, если величину $a_{\text{нм}}$ определять через несколько дней после того, как работающего выведут из вредных условий.

Динамика формирования дозы облучения (S) в организме определялась следующим отношением

$$S(t) = 51.2 E_{\text{эф}} \int_0^t Q_k(t) dt / m,$$

где $E_{\text{эф}}$ – измеренный уровень радиации, Р/ч, t – время проведенное в очаге радиации; Q_k – трудоемкость работ, чел/ч, m – масса тела человека.

Из-за отсутствия или недостаточности достоверных сведений о радиационной обстановке в зонах проведения работ, особенно в первые два месяца работ, в при проведении расчетов использовались эмпирические коэффициенты. Кроме того, на достоверность результатов расчета повлияло уменьшение коэффициента защиты техники при работе в условиях повышенной влажности. Как известно, дождевые осадки, выпавшие в начале июня 1986 года, повлияли на защитные свойства техники. Для получения достоверных сведений о защитной способности техники было необходимо перед началом работ уточнить истинный коэффициент ослабления излучения путем прямых замеров его в кабине, установленной в зоне производства работ. Результаты расчетов приведены в таблице.

Учитывая, что допустимая доза облучения для человека составляет 5 Беп в год, можно констатировать, что использование перечисленных защитных средств позволило уберечь от облучения 28 800 человек.

В ряде случаев дистанционно-управляемая техника не так эффективна, как биозащитная, поэтому опыт ее использования не стоит забывать. Кроме того, ее производство во много раз дешевле, что немаловажно при нынешней экономической ситуации в Украине.

Параллельно использованию биозащитной техники, а в ряде случаев вместе или вместо нее, можно и нужно использовать телевидение. В 1986 году оно широко использовалось для наблюдения, контроля и управления ходом работ по ликвидации последствий аварии [4, 5]. Например, при разведке завалов, очистке кровли 3-го энергоблока роботизированными ме-

ханизмами, при дистанционном управлении кранами "Демаг", а контроль состояния несущих конструкций и до настоящего момента проводится с ее использованием.

Таблица эффективности использования биозащитной техники

Наименование защиты	Количество, шт.	Сэкономлено, чел/Бер
Бульдозер Т-130М	2	10000 + 25000
Биозащитная кабина крана ЛТ-1300	2	1000 + 1000
Биозащитная кабина крана ДЭК-251	2	800 + 800
Бронетранспортер БТР-70	1	500
Защита кабины крана СМК-7 1000	1	1000
Кабина мостового крана КМ-125УД	1	1500
Кабина бетоноукладчика "Creter-Crane"	1	1000
Биозащитная кабина крана СС-4000 "Демаг"	2	10000
Трубоукладчик ТГ-124А	2	700+25000
Защита вертолета Ми-8	1	500
Военная машина разграждения ИМР-2Р	1	15000
Тягач ЗиЛ-130	1	300
Кабина манипулятора "Форестери"	1	25000
Кабина манипулятора "Батискаф"	1	25000
Итого:		144100

Следует отметить, что вся использовавшаяся при ликвидации аварии телевизионная и видеотехника в большей или меньшей степени проходила специальную доработку. Основная заслуга в разработке и проектировании теле- и видеосистем, которые использовались при ликвидации аварии в 1986-87 годах принадлежит институтам НИКИМТ и МНИТИ (г. Москва). Смотровая техника применялась в различных местах и на различной технике для "ИМР-2Р" (3 шт.), "Бетонопоезда", "Мостового крана", "Демагов", двух "Гидромониторов", манипулятора "Форестери", крана "Либхер".

Приведенный список лишь еще раз подтверждает возможность и необходимость использования промышленной теле- и видеотехники при проектировании работ в условиях радиации. Тем более в наше время нет большой проблемы в создании телесистемы любой степени сложности. Опыт создания передающих теле и видео камер в радиационно стойком и дезактивируемом исполнении с достаточно большим радиационным ресурсом (10Е6...10Е7 Рентген) имеют многие киевские институты.

Технологам и конструкторам еще предстоит оценить достоинства и недостатки того или иного метода защиты людей от поражающей радиации, выбрать наиболее удачное решение. Для принятия ими верного решения авторами статьи была просчитана эффективность ее использования.

Список литературы

1. Оценка риска обрушения конструкций объекта "Укрытие" Чернобыльской АЭС на основе численно-аналитического метода потенциала и метода конечных элементов. / Ю.В. Верюжский, В.Л. Бродовой, Б.П. Иващенко, Н.Г. Ищенко, С.К. Никитин, Ю.И. Рубежанский, А.В. Шимановский, А.Н. Снитко / Докл. на XV Международ. конф. "Математические модели, методы потенциала и конечных элементов в механике деформируемых тел". - Санкт-Петербург, 1996г. - 24 с.

2. *Климов Ю.И.* Снятие АЭС с эксплуатации - разрешимая проблема // Атомная техника за рубежом. – № 4,1988. – С.16
3. *Пиляев А.С., Тищенко В.А.* Аварийные ситуации на АЭС в США в 1985–1986гг // Атомная техника за рубежом. – № 4,1988.– С.22
4. *Гаурилов С.Д.* Мобильные робототехнические устройства для ядерных установок.// Атомная техника за рубежом. –№ 3,1988. – С.11
5. *Кейв Л.* Работа по уточнению критериев безопасности в США// Атомная техника за рубежом. – № 3,1988. – С.25
6. *Люцко А.М.* Фон Чернобыля. – Минск: "Белорусская Советская Энциклопедия", 1990. – 67с.
7. *Санитарные* правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций / СПАЭС-79.:– М.: Энергоиздат,1981. – 40 с.

Стаття надійшла до редакції 12 травня 1999 року.

Олексій Григорович Ревук (1934) закінчив Київський Державний Університет ім. Т.Г. Шевченка в 1963 році за фахом радіофізик (квантова електроніка) – інженер-дослідник. Доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського міжнародного університету цивільної авіації. Профіль наукового напрямку – розвиток системи управління охороною праці на засадах математичного моделювання, обчислювальної техніки та моніторингу.

Alexyi G. Revuk (b. 1931) graduated from Shevtchenko Kyiv State University (1963) in speciality radiophysist-engineer-researcher. DSc (Eng), professor of Labour and Environment Protection Department of Kyiv International University of Civil Aviation. Author of more than 150 scientific works. Main scientific profile – development of management system, of occupational safety on a basis of mathematical modeling, computering and monitoring.

Іван Іванович Куленович (1968) закінчив Київський інститут цивільної авіації у 1993 році, аспірантуру Київського Міжнародного університету цивільної авіації у 1996 році. Займається проблемами захисту персоналу від іонізуючого випромінювання.

Ivan I. Kulenovich (b.1968) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1993) and post graduate of Kyiv International University of Civil Aviation (1996) Specializes in the problems of personal protection from ionizing radiation.