

Обеспечение радиационной безопасности при работах по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Биофизический контроль доз внутреннего облучения персонала

С.Ю. Нечаев, И.А. Лихтарев, В.Б. Берковский, Л.Н. Ковган,
Ю.В. Бончук, Г.Г. Ратиа, П.Б. Арясов

Научно-исследовательский институт радиационной защиты Академии
технологических наук Украины, Киев

В статье сформулирована трактовка основных принципов обеспечения радиационной безопасности применительно к работам на объекте «Укрытие». Приведен анализ факторов радиационной обстановки на объекте «Укрытие». Описана действующая в настоящий момент на объекте «Укрытие» система контроля индивидуальных доз внутреннего облучения персонала, основанная на методах биофизического контроля. Приведен ряд результатов, полученных по итогам выполнения контроля индивидуальных доз внутреннего облучения персонала. Отмечается, что внедрение системы биофизического контроля доз внутреннего облучения при выполнении работ по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему позволило обеспечить адекватный, соответствующий современным требованиям радиационной защиты, уровень контроля индивидуальных доз внутреннего облучения персонала, своевременно разработать рекомендации по выбору средств индивидуальной защиты органов дыхания, обеспечить определение параметров радиоактивного загрязнения воздуха в зонах производства работ и обеспечить оптимальное планирование дозовых нагрузок на персонал.

Ключевые слова: радиационная безопасность, персонал, индивидуальный дозиметрический контроль, трансураниевые элементы, биологические пробы, внутреннее облучение.

Введение

Объект «Укрытие» (ОУ) представляет собой разрушенный за проектной аварией блок № 4 Чернобыльской АЭС, который утратил все функциональные свойства энергоблока, на котором выполнены первоочередные мероприятия для уменьшения последствий аварии, и продолжают работы по обеспечению его ядерной и радиационной безопасности [1]. В соответствии с планом осуществления мероприятий (ПОМ), в настоящий момент на ОУ завершены стабилизационные мероприятия, направленные на усиление существующих строительных конструкций с целью снижения риска их обрушения в процессе выполнения строительно-монтажных, регламентных и других работ на ОУ, а также выполнения работ на стадии подготовки и последующего строительства нового безопасного конфайнмента.

1. Обеспечение радиационной безопасности при работах по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему

Совершенно очевидно, что объект «Укрытие» – единственный источник облучения персонала (и потенциально – населения).

Свойства ОУ, которые обеспечивают ему подобную неординарность:

- 1) В отличие от любых промышленных объектов ОУ не был заранее спроектирован, а возник в результате аварии.
- 2) При любых производственных вмешательствах (работах) на ОУ стационарность гамма-полей и концентраций радиоактивных аэрозолей могут быть нарушены. При этом не исключено возникновение новых полей внешнего облучения и новых источников ингаляционной опасности.
- 3) Оправданность работ на ОУ обосновывается снижением возможного радиационного риска за счет облуче-

ния населения, проживающего на прилегающих к 30-километровой зоне территориях и Украине в целом.

4) Хотя ОУ – порождение радиационной аварии, все проводимые на нем работы (в условиях потенциального облучения) должны классифицироваться как «нормальная практика». Соответственно, стандарты радиационной безопасности на ОУ, согласно НРБУ-97, относятся к радиационно-гигиеническим регламентам первой группы [2, 3].

Основные принципы радиационной безопасности применительно к работам на ОУ должны формулироваться так.

Принцип оправданности – любая практическая деятельность не может считаться оправданной, если приносимая этой деятельностью польза не превосходит тот вред, который она причиняет. Для ОУ это значит, что:

а) на ОУ оправданы только те работы, для которых доказано, что они сопровождаются снижением радиационного риска для населения и окружающей среды;

б) оправданы также те работы, которые приводят к стабилизации сложившейся обстановки на ОУ, то есть снижают (предотвращают) вероятность аварийной ситуации, а значит понижают риск аварийного облучения населения.

Принцип непревышения, требующий, чтобы уровни облучения от всех, попадающих под регулирование, видов практической деятельности не превышали установленных пределов доз. Для ОУ этот принцип реализуется в следующих конкретных формах:

а) все работы на ОУ проводятся в режиме нормальной практики, а дозы облучения персонала лимитируются регламентами первой группы (НРБУ-97) [2];

б) недопустимо планирование аварийного облучения персонала;

в) облучение населения ограничивается значением дозового предела, равного 1 мЗв/год [2].

Принцип оптимизации – уровни индивидуальных доз и/или количество облучаемых лиц по отношению к каждому источнику излучения должны быть настолько низкими, насколько это может быть достигнуто с учетом экономических и социальных факторов.

При планировании любых работ (в том числе строительных) дозы для персонала и населения должны быть оптимизированы.

2. Радиационные факторы и их особенности в период выполнения работ на ОУ

Особенности условий облучения на ОУ обусловлены радиационными факторами, сформировавшимися в результате аварии.

К особенностям условий облучения на ОУ относятся:

- наличие открытых источников излучения;
- стихийно сложившаяся радиационная обстановка;
- недостаточно изученные параметры радиационной обстановки;
- возможное изменение радиоактивной обстановки при проведении работ (как предсказуемое, так и не предсказуемое за счет образования новых источников излучения);
- высокие значения мощности эквивалентной дозы (МЭД);
- наличие радиоактивного загрязнения воздуха полидисперсными аэрозолями неизвестного типа системного поступления, содержащими продукты деления урана (исключая изотопы I) и радиоактивные элементы трансуранового ряда;
- наличие высокого содержания топливной пыли в помещениях и на конструкциях ОУ.

3. Изменение радиационных факторов в период проведения работ

К радиационным факторам, наиболее важным для обеспечения РБ, подверженным изменению в период выполнения работ по ПОМ, относится мощность экспозиционной дозы (МЭД) и концентрация радиоактивных аэрозолей в воздухе.

3.1. Изменение величины МЭД в местах производства работ

Изменение величины МЭД в местах производства работ связано, прежде всего, с вскрытием новых источников излучения, при этом увеличение МЭД по сравнению с величиной МЭД, измеренной до начала работ, может достигать нескольких порядков. Примером может служить проведение работ по укреплению балок Б1, Б2, когда при работах по зачистке бетона были извлечены куски графита и фрагменты активной зоны. При этом МЭД увеличилась с 0,4–1,0 Р/ч до 20–160 Р/ч [4]. Аналогичные случаи были при производстве земляных работ по строительству санпропускника, когда был вскрыт аварийный слой грунта, и значения МЭД увеличились с десятков до сотен миллирентген.

Следовательно, наиболее опасными работами, которые могут вызвать существенное изменение МЭД, являются работы, связанные с нарушением конструкций ОУ и вскрытием аварийного слоя грунта при земляных работах.

3.2. Изменение концентрации радиоактивных аэрозолей в местах производства работ

Как уже было сказано выше, аэрозольное загрязнение при производстве работ по ПОМ характеризуется полидисперсным и полинуклидным составом. Наибольшую

радиологическую опасность представляют изотопы плутония и америций. Даже незначительное ингаляционное поступление данных радионуклидов в организм создает значительные дозы облучения. В настоящий момент исчерпывающих данных о характеристиках радиоактивных аэрозолей в воздухе всех зон производства нет.

К наиболее опасным работам, с точки зрения вторичного загрязнения воздуха, относятся:

– сварочные работы, проводимые на радиоактивно загрязненных поверхностях (увеличение концентрации радиоактивных аэрозолей в воздухе может достигать 100–1300 раз). При этом в воздухе рабочей зоны увеличивается содержание паров радиоактивных веществ и аэрозолей субмикронной фракции [5];

– работы, связанные с нарушением целостности конструкций ОУ (резка болгаркой, зачистка загрязненных поверхностей, работа отбойным молотком и подобные). При данных работах образуются в основном полидисперсные аэрозоли с незначительным вкладом субмикронной фракции [5].

Данные различных исследователей показывают различную кратность увеличения концентрации радиоактивных аэрозолей в воздухе при воздействии на загрязненную поверхность. Результаты собственных исследований параметров радиоактивного загрязнения воздушной среды при проведении работ по ПОМ показывают, что кратность увеличения концентрации радиоактивных аэрозолей в воздухе при воздействии на загрязненную поверхность в зависимости от вида работ может достигать от 100 до 4600 раз [5, 6].

4. Организация и осуществление биофизического контроля доз внутреннего облучения персонала, занятого на работах по ПОМ

Как уже было отмечено, одним из основных источников формирования доз облучения персонала на объекте «Укрытие», наряду с внешним облучением, является ингаляционное поступление радионуклидов трансуранового ряда (ТУЭ).

Особую опасность представляют работы в ОУ, выполняемые при наличии радионуклидов трансурановых элементов (плутоний-238, плутоний-239, плутоний-240, плутоний-241, америций-241), а также стронция-90, цезия-137, и возможности их инкорпорации в тело человека. Большинство из перечисленных радионуклидов обладают чрезвычайно высокой радиобиологической токсичностью, при этом детектирование большинства из них (за исключением цезия-137) непосредственно в теле человека практически невозможно. Методика отбора биопроб с последующими измерениями содержания радионуклидов в выделениях (моча, кал) и их интерпретацией является единственной надежной техникой контроля данного вида облучения.

На момент подготовки работ по ПОМ система контроля доз внутреннего облучения от ТУЭ на ОУ отсутствовала, что противоречило основным требованиям Санитарного законодательства Украины и не позволяло на должном уровне обеспечить радиационную безопасность персонала.

С момента начала работ по ПОМ на объекте «Укрытие» внедрена система индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) доз внутреннего облучения, основанная на методах биофизического контроля [7]. Система ИДК внутреннего облучения, основанная на методах биофизического контроля, отвечает требованиям современной нормативной базы Украины и учитывает лучшие достижения международной

практики в области контроля доз внутреннего облучения при работах, связанных с риском инкорпорирования ТУЭ [8–15]. Система биофизического контроля доз внутреннего облучения разработана и осуществляется НИИ РЗ АТН Украины.

При обеспечении биофизического контроля доз внутреннего облучения в ходе работ по ПОМ на ОУ проводятся следующие работы:

Разработка методической и технологической документации для обеспечения биофизического контроля персонала, выполняющего работы по ПОМ

Для целей обеспечения биофизического сопровождения работ по ПОМ разработана методическая и технологическая документация. Методические документы, касающиеся порядка привлечения персонала к процедуре биофизического контроля, измерений на счетчике излучения человека утверждены Министерством здравоохранения Украины. Разработаны инструктивно-методические указания «Индивидуальный дозиметрический контроль внутреннего облучения персонала, привлекаемого к работам на объекте “Укрытие”» и методики определения ТУЭ в биологических пробах, которые прошли соответствующее утверждение и метрологическую аттестацию в регулирующих органах Украины.

Осуществление биофизического контроля

Биофизический контроль персонала ПОМ проводится в соответствии с требованиями документа «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности Украины» [16]. Требования пунктов 14.4.8–14.4.9 данного документа предписывают проведение индивидуального контроля (ИДК) доз внутреннего облучения путем осуществления прямых и непрямых биофизических измерений.

Входной биофизический контроль

Входной биофизический контроль проводится с целью определения входного уровня содержания ТУЭ и Cs-137 в организме кандидатов на работы по ПОМ. Данный вид контроля также предусматривает сбор дозиметрического анамнеза.

Текущий биофизический контроль

При проведении текущего биофизического контроля выполняются следующие задачи:

- периодический сбор проб кала (2-кратный отбор проб кала – 1 проба перед вахтой и 1 проба не ранее 10-го дня с начала вахты при длительности вахты 15 дней);
- первичная обработка и кондиционирование проб кала;
- радиохимическое выделение радионуклидов Pu;
- определение содержания Pu-239+240 в биопробах;
- до- и послесменные парные измерения на содержании Cs-137 в организме персонала на счетчике излучения человека;
- сбор послесменных мазков из носа;
- первичная обработка и кондиционирование мазков из носа;
- радиометрическое измерение суммарной активности бета-излучающих радионуклидов в мазках из носа;
- идентификация персонала, подлежащего специальному биофизическому контролю.

Специальный биофизический контроль

Критерием направления на специальный биофизический контроль является превышение содержания Pu-239 в суточных пробах кала, собранных в рамках текущего биофизического контроля (по сравнению с входным биофизи-

ческим контролем), более чем на величину производного уровня исследования, равную 1,5 МБк/проба. Указанное значение примерно на порядок превышает «глобальное фоновое» содержание Pu-239 в суточных пробах кала (наблюдаемое, в т.ч. по результатам входного биофизического контроля).

Полученные при проведении специального биофизического контроля результаты привели к выводу, что ингаляционное поступление не могло являться основным источником загрязнения проб кала Pu-239. Указанный вывод косвенно подтверждается отсутствием «сопровождающего» загрязнения организма Cs-137 (в т.ч. отсутствием повышенного содержания в области грудной клетки). Наблюдаемые в рамках текущего биофизического контроля уровни содержания Pu-239 в пробах кала (по крайней мере, для случаев аномально высоких уровней) могли быть сформированы, в основном, либо за счет перорального поступления (заглатывание мелких фрагментов; слизывание загрязнения, пота и/или конденсата в маске СИЗОД), либо за счет внешнего загрязнения проб кала. При этом не исключается принципиальная возможность ингаляционного поступления, однако, как указывалось выше, оно не могло являться основным источником формирования содержания Pu-239 в пробах кала.

Учитывая вышеизложенное, при интерпретации измерений содержания Pu-239 в пробах кала, наряду с ингаляционным путем (как это принято при нормировании доз внутреннего облучения персонала) поступления ТУЭ, учитывался и пероральный путь поступления.

Результаты интерпретации измерений, выполненных в рамках специального контроля, отражаются в соответствующих актах специального медицинского и биофизического контроля персонала. В указанных актах приводятся рекомендации относительно возможности допуска персонала к выполнению работ по ПОМ, а также необходимости дополнительного дозиметрического обследования. Значения эффективных доз внутреннего облучения, полученные работниками при выполнении работ по ПОМ, лежат в диапазоне 0,1–2,0 мЗв.

Операционный биофизический контроль

При проведении операционного биофизического контроля, целью которого является предупреждение переоблучения персонала при выполнении работ на отдельных технологических операциях или рабочих местах, где возможны повышенные уровни внутреннего облучения, выполняются измерения суммарных активностей альфа-излучающих и бета-излучающих радионуклидов в пробах фильтров, отобранных при помощи персональных пробоотборников воздуха, а также проводится отбор проб воздушной среды в зоне дыхания работающих при помощи персональных импакторных пробоотборников [6]. В результате проведения операционного биофизического контроля постоянно уточняются ключевые для расчетов доз внутреннего облучения параметры, такие как радионуклидный состав аэрозолей, медианный по активности аэродинамический диаметр аэрозолей (AMAD), процентный вклад отдельных радионуклидов в радиоактивное загрязнение производственной воздушной среды [5].

Планирование объемов операционного биофизического контроля проводится на основании анализа проектов проведения работ (ППР), при котором выделяются наиболее радиационно опасные работы, требующие проведения контроля.

Осуществление взаимодействия с ЧАЭС

Взаимодействие с ЧАЭС проводится в следующих направлениях:

- организация сбора биопроб у персонала, выполняющего работы по ПОМ на ОУ;
- предоставление дополнительной информации, необходимой для расчета доз внутреннего облучения по результатам специального биофизического контроля;
- планирование объемов и порядок обеспечения операционного биофизического контроля;
- анализ наиболее вероятных путей поступления ТУЭ в организм работающих;
- методология расчета доз внутреннего облучения по результатам текущего и специального биофизического контроля;
- расследование случаев обнаружения повышенного содержания ТУЭ в биопробах персонала, принимающего участие в работах по ПОМ.

Осуществление взаимодействия с Подрядчиками ПОМ

Взаимодействие с Подрядчиками, выполняющими работы по ПОМ, проводится в следующих направлениях:

- порядок планирования и предоставления персонала для проведения различных видов биофизического контроля;
- анализ наиболее вероятных путей поступления ТУЭ в организм работающих;
- расследование случаев обнаружения повышенного содержания ТУЭ в биопробах персонала, принимающего участие в работах по ПОМ.

Выводы

Внедрение системы биофизического контроля доз внутреннего облучения при выполнении работ по преобразованию ОУ в экологически безопасную систему позволило обеспечить адекватный, соответствующий современным требованиям радиационной защиты, уровень ИДК доз внутреннего облучения персонала Подрядчиков ПОМ.

Список использованной литературы

1. Закон України «Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблоку на екологічно безпечну систему» [Текст]: [№309-ХІУ от 11.12.98].

2. Державні гігієнічні нормативи (ДГН 6.6.1.-6.5.001-98) [Текст]: Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97).- Київ, 1998. – 135 с.
3. Державні гігієнічні нормативи. (ДГН 6.6.1. – 6.5.061-2000) [Текст]: Норми радіаційної безпеки України доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000).- Київ, 2000. – 84 с.
4. Анализ безопасности при выполнении работ по проекту стабилизации балок Б 1 и Б 2 [Текст].- Чернобыльская АЭС, 1999. – Инв. № 532. – 23 с.
5. Aryasov, P. Aerosol Monitoring During Work inside the «Object Shelter»: Analysis of Dispersion and Concentration for Different Work Types [Текст] / P. Aryasov, S. Nechaev, N. Tsygankov [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. 2007. – № 444-445. – P. 483-485.
6. Aryasov, P. Aerosol monitoring using personal impactors during works inside the Object Shelter [Текст] / P. Aryasov, S. Nechaev, N. Tsygankov: Conference Proceeding (June 2006) // Health Physics. – V. 90, No. 6. – P. 144-145.
7. Бебешко, В.Г. Програма медичного і біофізичного контролю персоналу, який бере участь у роботах по перетворенню об'єкту «Укриття» Чорнобильської АЕС в безпечну систему [Текст] / В.Г.Бебешко, В.А.Сушко, І.А.Ліхтарьов, С.Ю. Нечаєв, Ю.В.Бончук та ін.// Медичні наслідки аварії на Чорнобильській атомній електростанції. – Київ: ДІА, 2007. – С. 687-697.
8. Code of Federal Regulations (DOE G 441.3-1) [Текст]: Occupational Radiation Protection. Internal Dosimetry Program. – Title 10. – Part 835.
9. DOE Standard «Internal Dosimetry» [Текст] // DOE-STD-1121, 1998.
10. An American National Standard «Performance Criteria for Radiobioassay» [Текст] // HPS, 1996. – № 13.30.
11. An American National Standard «Design of Internal Dosimetry Programs» [Текст] // ANSI/HPS, 2001. – № 13.39.
12. PNL-MA-552 [Текст] // Hanford Internal Dosimetry Project Manual.
13. PNNL-MA-860 [Текст] // Methods and Models of the Hanford Internal Dosimetry Program.
14. WSRC-IM-90139 [Текст] The Savannah River Site. Internal Dosimetry. Technical Basis Manual (U).
15. U.S. Department of Energy. Environmental Measurements Laboratory [Текст] // HASL – 300 p.
16. Державні гігієнічні нормативи (ДСП 6.177-2005-09-02) [Текст]: Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПЗРБУ-2005). – Київ, 2005. – 127 с.

S.Yu. Nechaev, I.A. Likhtarev, V.B. Berkovski, L.N. Kovgan, Yu.V. Bonchuk, G.G. Ratia, P.B. Aryasov

Ensuring of radiation protection during works on transformation of the object “Shelter” into ecologically safe system. Biophysical monitoring of the personnel internal exposure doses

Radiation Protection Institute of Ukraine Academy of Technological Science of Ukraine, Kiev

Abstract. Given paper, states the ensuring of the interpretation of the basic radiation protection principles, relative to the works at the Object “Shelter”. Analysis of the factors of radiation situation at the Object “Shelter” is figured out. Functioning at the present time individual dose monitoring system at the Object “Shelter” is described. The system is based on the methods of biophysical monitoring. A series of the results, obtained during internal exposure individual dose monitoring of the personnel is presented. It is mentioned, that implementation of the internal exposure dose biophysical monitoring system (during the works on transformation of the Object “Shelter” into ecologically safe system) allows: to provide adequate level of the individual dose monitoring of the internal exposure dose (the level is corresponds to the present day requirements of the radiation protection); to develop the recommendations on selection of individual means of protection of respiratory tract; to ensure determination of the parameters of radioactive air contamination in the work areas; and to provide the optimal planning of dose load to the personnel.

Key words: radiation protection, personnel, individual dosimetric control, transuranium elements, biological samples, internal exposure.

С.Ю. Нечаев
Тел. +38(044) 599-6583 E-mail: stas@rpi.kiev.ua