

Исследование факторов, влияющих на формирование радиационной обстановки при утилизации атомных объектов морской техники

А.В. Иванченко, С.В. Натха, А.А. Шаяхметова, Д.В. Арефьева

Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины
Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург

В статье изложены результаты исследований радиационной обстановки при выполнении работ по утилизации атомных объектов морской техники на предприятиях атомного судостроения и судоремонта Мурманской и Архангельской областей. На основании исследований установлены основные радиационные факторы, определяющие условия труда персонала предприятий. При разделке конструкций атомных объектов морской техники уровни радиоактивного загрязнения поверхностей и объемная активность аэрозолей в целом не превышают допустимых значений, установленных в НРБ-99/2009, и зависят от вида работ, выполняемых на утилизируемых объектах. Определяющим радиационным фактором для классификации условий труда на предприятиях является мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, значения которой лежат в диапазоне 0,5–8700,0 мкЗв/ч.

Ключевые слова: атомный объект морской техники (АОМТ), атомная подводная лодка (АПЛ), мощность эквивалентной дозы (МЭД), облученное ядерное топливо (ОЯТ), отработавшие тепловыделяющие сборки (ОТВС), предприятие атомного судостроения и судоремонта (ПАСС), плавучая техническая база (ПТБ), судно атомного технологического обслуживания (САТО), радиоактивные отходы (РАО), ядерная энергетическая установка (ЯЭУ).

Введение

Применение ядерных реакторов в качестве энергетических установок на кораблях и судах России вызвало необходимость создания специализированной обслуживающей структуры, позволяющей обеспечить выполнение технических и медико-санитарных требований к строительству, эксплуатации, ремонту и утилизации АОМТ. К таким объектам относятся корабли и суда с ЯЭУ – АПЛ, надводные корабли, ледоколы, лихтеровоз, а также САТО, использующиеся для операций по перегрузке активных зон ЯЭУ кораблей и судов, приёму, переработке и транспортировке РАО к пунктам их постоянного или временного хранения.

Для обеспечения АОМТ на всем протяжении их жизненного цикла используется комплекс объектов, включающий пункты базирования судов и кораблей, ПАСС, а также пункты хранения РАО и ОЯТ. Накопленный опыт эксплуатации данного комплекса и развитие технологий позволили достичь высокого уровня ядерной, радиационной и экологической безопасности АОМТ. При этом справедливо считается, что наиболее опасным в ядерном и радиационном отношении является этап утилизации АОМТ, включающий в себя операции по выгрузке ОЯТ, удалению теплоносителя, демонтажу загрязненного оборудования, вырезке реакторного отсека и др.

Цель исследования – совершенствование системы радиационной безопасности персонала на предприятиях, выполняющих работы по утилизации АОМТ.

Для достижения поставленной в рамках комплексной научно-исследовательской работы цели решены следующие задачи:

- разработаны программы-методики исследования условий труда;
- проведены измерения радиационных показателей на предприятиях в условиях, наиболее характерных для работ по утилизации АОМТ;
- установлены этапы работ, дающие наибольший вклад в индивидуальную эквивалентную дозу персонала.

Материалы и методы

При разработке программы исследования радиационных факторов рабочей среды учитывались особенности технологического процесса утилизации АОМТ, влияющие на формирование радиационной обстановки при выполнении работ. В дальнейшем были выделены следующие этапы, для каждого из которых выполнялись измерения радиационных показателей:

- вывод АОМТ из эксплуатации, временное хранение на плаву и подготовка к утилизации;
 - выгрузка ОЯТ и РАО с выполнением сопутствующих работ, транспортирование ОЯТ и РАО;
 - вырезка реакторного блока, подготовка его к хранению;
 - разрезка и разделка корпуса и корпусных конструкций оконечностей, переработка оборудования;
 - подготовка к транспортировке и транспортировка на долговременное хранение реакторного блока.
- В соответствии с разработанными программами-методиками контроля [1, 2] были выполнены измерения следующих радиационных факторов на рабочих местах для различных этапов утилизации АОМТ:
- МЭД гамма-излучения;
 - уровни снимаемого радиоактивного загрязнения поверхностей и оборудования;

– объемная активность аэрозолей.

В соответствии с согласованными на предприятиях картограммами выполнены измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения переносными приборами (МКС-АТ6102), сняты мазки с поверхностей на рабочих местах с измерением вне зоны высоких уровней МЭД гамма-излучения (ДКС-96 с блоками детектирования бета-излучения) и отобраны пробы аэрозолей для дальнейших радиометрических и спектрометрических измерений (гамма-бета-спектрометр МКГБ-01 «РАДЭК» и радиометр для измерения малых активностей УМФ-2000).

Измерения выполнены аккредитованной испытательной лабораторией радиационного контроля ФГУП НИИ ПММ (аттестат аккредитации № САРК RU.001.442001, действителен до 30.09.2016) в соответствии с аккредитованными методиками выполнения измерений.

Результаты и обсуждение

В рамках исследований выполнены измерения радиационных факторов на нескольких ПАСС: ОАО «ЦС “Звездочка”», ОАО «ПО “Севмаш”» и филиал ОАО «ЦС “Звездочка”» «СРЗ “Нерпа”». В связи с особенностями производственного плана предприятий измерения осуществлялись в рабочей среде, сложившейся на момент исследования. Для получения полной картины о радиационных факторах рабочей среды использованы данные, полученные в ходе предыдущих научно-исследовательских работ, выполненных ФГУП НИИ ПММ в период с 2007 по 2010 г. [3]. Полученные результаты измерений представлены в таблице 1.

Анализ результатов измерений на различных этапах работ показывает, что наиболее интенсивное воздей-

ствие ионизирующих излучений на персонал оказывается при проведении работ по выгрузке ОЯТ из утилизируемых АОМТ [5]. При выполнении работ по выгрузке ОЯТ наибольшие уровни МЭД измеряются в следующих случаях:

- при открытом реакторе от момента снятия крышки реактора до установки механизма наведения;
- при открытых отверстиях в верхней плите выемного блока или в плите механизма наведения в процессе выгрузки ОТВС;
- при открытом реакторе после удаления механизма наведения до установки штатной крышки реактора.

В то же время заметного увеличения МЭД в реакторном отсеке при подъеме ОТВС из реактора не происходит, что объясняется большим периодом выдержки от остановки реактора до начала работ по выгрузке ОТВС.

При выгрузке ОЯТ выполняются специальные организационные и технические мероприятия, снижающие индивидуальные дозы облучения персонала. К основным из них следует отнести:

- дистанционное выполнение операций, исключющее прямое воздействие излучения из полости открытого реактора;
- применение экранов и теневой защиты, снижающих МЭД;
- радиационный контроль по специальной программе при выполнении операций на открытом реакторе;
- увеличение сменности (количества персонала) при выполнении наиболее опасных работ.

Применение комплекса защитных мероприятий позволило обеспечить индивидуальные эквивалентные дозы внешнего облучения персонала не более 5,0 мЗв за период утилизации одной единицы АПЛ [4].

Таблица 1

Значения радиационных факторов для ПАСС, расположенных в Мурманской и Архангельской областях

Этап утилизации АОМТ	Наименование предприятия	Значения радиационных показателей		
		МЭД гамма-излучения, мкЗв/ч	Загрязнение поверхностей, β-част./см ² мин	Суммарная объемная активность аэрозолей, Бк/м ³
Вывод из эксплуатации, хранение на плаву и подготовка к утилизации	ОАО «ЦС “Звездочка”» ¹⁾	0,5–14,5	100–2 000	< 0,52)
	ОАО «ПО “Севмаш”» ³⁾	0,4–0,6	< 50	< 0,5
	«СРЗ “Нерпа”»	0,5–8700,0 ⁴⁾	100–10 000 ³⁾	< 0,5
Выгрузка ОЯТ и РАО	ОАО «ЦС “Звездочка”» ⁵⁾	0,5–120,0	50–200	< 0,5
	ОАО «ПО “Севмаш”»	В 2011–2013 гг. работы на предприятии не проводились		
	«СРЗ “Нерпа”»	0,5–8700,0	100–10 000	< 0,5
Вырезка реакторного блока, подготовка к хранению	ОАО «ЦС “Звездочка”»	В 2011–2013 гг. работы на предприятии не проводились		
	ОАО «ПО “Севмаш”»	В 2011–2013 гг. работы на предприятии не проводились		
	«СРЗ “Нерпа”» ⁶⁾	0,5–1400	100–200	< 0,5
Разрезка и разделка корпуса и корпусных конструкций	ОАО «ЦС “Звездочка”»	В 2011–2013 гг. работы на предприятии не проводились		
	ОАО «ПО “Севмаш”»	В 2011–2013 гг. работы на предприятии не проводились		
	«СРЗ “Нерпа”»	0,5–0,8	100–200	< 0,5
Подготовка к транспортировке и транспортировка реакторного блока	ОАО «ЦС “Звездочка”» ⁷⁾	0,15–0,5	100–200	< 0,5
	ОАО «ПО “Севмаш”»	В 2011–2013 гг. работы на предприятии не проводились		
	«СРЗ “Нерпа”» ⁸⁾	0,5–0,8	100–200	< 0,5

¹⁾ – для судна АТО «ПТБ - 124»; ²⁾ – значение соответствует минимальной контролируемой активности применяемой методики выполнения измерения; ³⁾ – для ТАРКР «Адмирал Нахимов»; ⁴⁾ – для ПТБ «Лепсе»; ⁵⁾ – при выполнении работ в хранилище РАО; ⁶⁾ – при выполнении работ с трехотсечными блоками; ⁷⁾ – при выполнении работ на АПЛ зав.№501; ⁸⁾ – для одноотсечных блоков, передаваемых на хранение.

Наибольшие значения радиационных факторов рабочей среды зарегистрированы на филиале ОАО «ЦС «Звездочка»» «СРЗ «Нерпа»». Это обусловлено тем, что на данном предприятии продолжают работы по утилизации АОМТ, в том числе АПЛ и ПТБ «Лепсе». При этом ПТБ «Лепсе» является одним из самых сложных радиационно-опасных объектов, подлежащих утилизации в Северо-Западном федеральном округе.

На ОАО «ПО «Севмаш»» выполняются работы по строительству новых АОМТ и осуществляется хранение на плаву ТАРКР «Адмирал Нахимов», решение об утилизации которого окончательно не принято. За период выполнения исследований на территории предприятия не проводилось работ по обращению с ОЯТ и РАО. Вследствие этого измеренные значения радиационных факторов на предприятии имеют наименьшие значения.

На основании результатов измерений, полученных в ходе текущих и предыдущих исследований, установлена зависимость МЭД гама-излучения от типа и состояния АОМТ [3, 4]. Специфические значения радиационных показателей для утилизируемых АПЛ представлены в таблице 2.

Таблица 2
Значения радиационных показателей для различных поколений утилизируемых АПЛ в зонах сегментов корпуса

Сегмент корпуса	Поколение АПЛ	Значения радиационных показателей	
		МЭД гамма-излучения, мЗв/ч	Загрязнение поверхностей, β-част./см ² мин
Корпус в районе реактора	Первое	5,0–15,0	100–200
	Второе	3,0–10,0	100–200
	Третье	5,0–12,0	100–200
Днище по оси реакторов	Первое	25,0–60,0	100–200
	Второе	10,0–60,0	100–200
	Третье	10,0–75,0	100–200
Реакторный отсек	Первое	0,7–1,0	2000–25000
	Второе	0,5–0,8	500–25000
	Третье	0,2–0,9	500–25000
Отсек смежный с реакторным	Первое	0,015–0,07	Не более 100
	Второе	0,01–0,04	Не более 100
	Третье	0,01–0,05	Не более 100

При утилизации АПЛ в реакторном отсеке не выполняются работ, связанных с демонтажем и выгрузкой активированного и загрязнённого оборудования и конструкций ЯЭУ. Реакторный отсек в виде единого одноотсечного (трёхотсечного) блока вырезается, консервируется и направляется на хранение. Эта особенность существенно снижает индивидуальные эквивалентные дозы облучения персонала. Вместе с тем, в стадии подготовки к утилизации находятся ряд АОМТ, среди которых тяжелые атомные ракетные крейсера проекта 1144, суда АТО (в том числе аварийная ПТБ «Лепсе») и выведенные из эксплуатации атомные ледоколы. Данные АОМТ имеют особенности, связанные с конструкцией корпуса, которые влияют на выполнение работ по утилизации. Это обстоятельство может существенно увеличить коллективную дозу персонала предприятий при выполнении работ по утилизации, однако характер радиационной

обстановки при выполнении работ предположительно не будет существенно отличаться от установленных значений.

В период проведения исследований работы по утилизации АПЛ выполнялись только на «СРЗ «Нерпа»», при этом АПЛ находилась в акватории предприятия, что не позволило измерить значения радиационных факторов на сегментах корпуса АПЛ, указанных в таблице 2. Однако экспериментальные данные, полученные в предыдущий период исследований [3] и при измерениях на перерабатываемых трехотсечных блоках, показывают, что МЭД гамма-излучения в районе реакторного отсека лежит в диапазоне 0,5–8700,0 мкЗв/ч.

Следует также учитывать, что при выполнении комплекса работ по утилизации АОМТ в технологическую цепочку вовлечены различные инфраструктурные объекты предприятий. Результаты измерений радиационных факторов на береговых сооружениях, используемых при работах, показали, что на некоторых объектах складывается довольно сложная радиационная обстановка (см. табл. 3 [5]).

Таблица 3
Радиационная обстановка на вспомогательных объектах судостроительных предприятий

Вспомогательный объект	МЭД гамма-излучения, мкЗв/ч	Загрязнение поверхностей, β-част./см ² мин
Площадка сбора и временного хранения ТРО	0,1–376,5	10–350 (локальные участки – до 2000)
Установка по переработке горючих ТРО	1,0–10,0	10–100
Установка по переработке ЖРО	9,0–160,0	350–5000
Танкер для приема и временного хранения ЖРО	0,2–1,2	350–2·10 ⁴
Плавмастерская	0,1–25,0	10–130
Участок ремонта и временного хранения оборудования ППУ	0,2–3,0	10–1000
Радиохимическая лаборатория	0,1–0,4	100–1000
Участок дезактивации	0,9–3,0	200–10000
Спецпрачечная	0,01–0,5	2–10

Применение при проведении исследований дозиметра-спектрометра МКС-АТ6102 позволило измерить энергетический спектр фотонного излучения на рабочих местах и выполнить частичную идентификацию радионуклидов, определяющих плотность потока фотонов в рабочей среде на предприятиях (выполнено только для «СРЗ «Нерпа»» и ОАО «ЦС «Звездочка»»). Установлено, что энергетический спектр излучения лежит в диапазоне 20–1300 МэВ. В спектрах, как правило, идентифицируется радионуклид ¹³⁷Cs. На площадках хранения РАО в 10% результатов измерения идентифицирован ⁶⁰Co.

На основании результатов контроля радиационных показателей на предприятиях в соответствии с требованиями «Руководства по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» Р 2.2.2006-05, проведены расчеты максимальной потенциальной эффективной дозы персонала. Результаты оценки радиационных факторов рабочей среды, влияющих на персонал предприятий, приведены в таблице 4.

Таблица 4

Оценка радиационных факторов рабочей среды на предприятиях атомного судостроения и судоремонта по гигиеническим критериям

Исследуемый радиационный объект	Максимальное значение потенциальной эффективной дозы, мЗв	Класс условий труда	
Площадки временно-го хранения ТРО	ОАО «ЦС “Звездочка”»	640,05	Опасный
	ОАО «ПО “Севмаш”»	0,42	Допустимый
	«СРЗ “Нерпа”»	374,0	Опасный
АОМТ (корабли с ЯЭУ, АПЛ и суда АТО)	ОАО «ЦС “Звездочка”»	204 ¹⁾ 0,85 ²⁾	Опасный Допустимый
	ОАО «ПО “Севмаш”»	1,020 ³⁾	Допустимый
	«СРЗ “Нерпа”»	1,48·10 ^{4 4)} 2,3·10 ^{3 5)}	Опасный Опасный

¹⁾ – для судна АТО «ПТБ -124»; ²⁾ – при выполнении работ на АПЛ зав. № 501; ³⁾ – для ТАРКР «Адмирал «Нахимов»; ⁴⁾ – для ПТБ «Лепсе»; ⁵⁾ – при выполнении работ с трехотсечными блоками.

Выводы

1. Основными технологическими процессами, при которых достигаются максимальные значения радиационных факторов рабочей среды при утилизации АОМТ, являются работы по выгрузке ядерного топлива и обращению с твердыми радиоактивными отходами. При выполнении работ по разделке конструкций АПЛ значения радиационных факторов существенно ниже.

2. Измеренные на момент выполнения исследования значения объемной активности аэрозолей на всех обследованных предприятиях не превышают уровней минимальной измеряемой активности для примененной методики выполнения измерений.

3. Уровни «снимаемого» радиоактивного загрязнения поверхностей рабочих помещений не превышают значений для помещений постоянного пребывания, приведенных в НРБ-99/2009.

4. Основным дозообразующим радионуклидом в исследованных рабочих условиях на ПАСС является радионуклид ¹³⁷Cs.

5. Максимальная потенциальная эффективная доза (расчет выполнен на основании представленных в таблицах 1, 2, 3 данных) формируется при выполнении работ по обращению с РАО.

6. Организация работ по утилизации АОМТ на предприятиях атомного судостроения и судоремонта соответствует требованиям санитарных правил.

7. Установленные технологические операции, при выполнении которых формируются наибольшие значения радиационных факторов производственной среды, позволили обосновать состав организационных и технических мероприятий по оптимизации радиационной защиты при утилизации АОМТ.

Литература

1. Исследование производственных радиационных факторов влияющих на персонал ОАО «Производственное объединение “Севмаш”» при повседневной деятельности : программа-методика. – СПб.: ФГУП НИИПММ, 2013 – 44 с.
2. Исследование производственных радиационных факторов влияющих на персонал ОАО «ЦС “Звездочка”» при повседневной деятельности : программа-методика. – СПб.: ФГУП НИИПММ, 2011. – 42 с.
3. Разработка системы санитарно-гигиенических мероприятий по обеспечению безопасности труда персонала объектов атомного судостроения : отчет о НИР (заключительный) / С.В. Натха [и др.]. – СПб. : ФГУП НИИПММ, 2008. – 88 с.
4. Обоснование путей повышения эффективности защиты персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта от воздействия производственных факторов радиационной природы и совершенствования системы обеспечения безопасности водлазных работ в условиях воздействия ионизирующих излучений. Разработка методологии радиационно-гигиенического мониторинга производственных факторов и безопасности водлазных работ в условиях воздействия ионизирующих излучений : отчет о НИР (заключительный) / С.В. Натха [и др.]. – СПб.: ФГУП НИИПММ, 2011. – 134 с.
5. Обоснование путей повышения эффективности защиты персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта от воздействия производственных факторов радиационной природы и совершенствования системы обеспечения безопасности водлазных работ в условиях воздействия ионизирующих излучений. оценка производственных факторов, определяющих условия труда персонала на предприятиях атомного судостроения и судоремонта : отчет о НИР (заключительный) / С.В. Натха [и др.]. – СПб.: ФГУП НИИПММ, 2012. – 121 с.

A.V. Ivanchenko, S.V. Natkha, A.A. Shayakhmetova, D.V. Arefieva

Investigation of factors influencing on radiation situation forming during utilization of nuclear objects of marine equipment

Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of Federal Bio-Medical Agency, Saint-Petersburg

The article contains the results of the radiation situation investigation during fulfilling operations of utilization of nuclear objects of marine equipment in the facilities of nuclear shipbuilding and ship repair of Murmansk and Archangelsk regions. The results of research had revealed main radiation indices, which determine the facilities staff working conditions. During the cutting of constructions of nuclear objects of marine equipment the levels of radioactive contamination of the surfaces and aerosols volumetric activity in a whole do not exceed permissible levels set in RRS-99/2009 and depend on the types of operations fulfilling in the utilized object. The determining radiation factor for classifying of working conditions in the facilities is the equivalent dose rate of gamma-exposure the values of which are in the range of 0.5 – 8700.0 μSv/h.

Key words: nuclear objects of marine equipment, nuclear submarine, equivalent dose rate, exposed nuclear fuel, spent fuel assemblies, the facilities of nuclear shipbuilding and ship repair, floating technical base, the ship for nuclear technological maintenance, radioactive waste, nuclear power installation.

С.В. Натха
E-mail: niipmm.210@gmail.com

Поступила: 10.07.2013 г.