

Радиоактивные, вредные и токсичные отходы, образующиеся при утилизации многоцелевых АПЛ, и обеспечение экологической безопасности в Северо-западном регионе России

А. П. Васильев

Международный Центр по экологической безопасности Минатома России

1. Введение

Снятие с эксплуатации и утилизация таких больших и сложных объектов как атомная подводная лодка (АПЛ), несомненно, связаны с дополнительными экологическими рисками. Традиционно вызывали опасение и оценивались радиационные риски. Однако при утилизации АПЛ выделяется много вредных для здоровья химических веществ (ВХВ) и образуется значительное количество химических отходов, представляющих опасность для людей и окружающей среды.

Поэтому в 2002 г. по заданию Управления вывода из эксплуатации ядерных объектов была впервые проведена комплексная оценка и сравнение радиационных и химических рисков при утилизации АПЛ как в штатном режиме, так и при некоторых возможных аварийных ситуациях.

В работе участвовали специалисты предприятий Минатома (НИКИЭТ, ОКБМ, МЦЭБ), Россудоостроения (НИПТБ «Онега», СРЗ «Нерпа», ЦНИИ им. А. Н. Крылова), РНЦ «Курчатовский институт», ИБРАЭ РАН, НИИПММ и РЭСцентр.

Координация работ была поручена Международному Центру экологической безопасности Минатома (МЦЭБ), имеющему опыт исследования комплексных экологических рисков при различных способах производства электроэнергии.

Результаты этой работы были использованы при подготовке доклада.

При оценке рисков необходимо учитывать климатические и топографические факторы, расположение городов и поселков вблизи от места проведения работ и численность их населения.

Данные оценки были выполнены для условий СРЗ «Нерпа» и г. Снежногорска с населением 15300 чел., расположенного на расстоянии 2,7 км от завода. Основные выводы будут справедливы и для других заводов, но для каждого из них требуется уточнение параметров риска, т.к. они зависят от условий работы, применяемых технологий, расположения объектов воздействия и т.д.

Воздействие на персонал, население и окружающую среду факторов различной природы приводит к необходимости многофакторной оценки риска. Для сравнения рисков от различных факторов необходимо выбрать единый показатель.

В качестве такого универсального показателя был выбран, как это принято в последние годы, ущерб здоровью человека – безразмерная величина, выраженная в потерянной доле года жизни **R**, как следствие пребывания человека под воздействием источника риска в течение года. Он рассчитывается следующим образом:

$$R_i = r \cdot g_i,$$

где **r** – вредное воздействие в течение года, **g_i** – потерянная доля года жизни от единицы воздействия.

Этот показатель очень нагляден. Так, если по расчетам получаем $R=0,1$, то это означает, что воздействие рассматриваемого вредного фактора в течение 10 лет приводит к потере человеком одного года жизни, т.е. 10 %.

Для оценок использованы значения коэффициентов риска из [1-3]; в т.ч. для воздействия радиации $g_p = 1$ чел. год/чел. Зв.

Для оценок ущерба здоровью персонала и населения необходимо знать структуру отходов, образующихся при утилизации АПЛ, их количество, степень опасности и пути воздействия как при штатных технологических, так и при возможных аварийных ситуациях.

Для радиоактивных материалов это, в первую очередь, отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), в котором содержится до 95% общей радиоактивности АПЛ (~ 1 МКи). Все процессы обращения с ним являются ядерно- и радиационно-опасными.

Следующими по степени опасности являются жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), их общее количество, включая I и III контуры – до 100 м^3 .

Твердые радиоактивные отходы (ТРО) состоят из загрязненного оборудования, инструмента и спецодежды, использовавшихся при выгрузке ОЯТ, а также из отходов, образовавшихся при разделке корпусов.

Среди химических отходов наиболее опасны для персонала вредные химические вещества (ВХВ), выделяющиеся в количестве до 2 т при разделке АПЛ в виде газов и аэрозолей, в т.ч. высокотоксичные, относящиеся по ГОСТ к 1 и 2 классу опасности.

Ко второму классу относится и значительная часть жидких токсичных отходов (ЖРО), таких как горюче-смазочные материалы и электролит аккумуляторов (60-80 т).

Основную массу химических отходов (~ 600 т) составляют твердые токсичные отходы (ТТО), представляющие опасность из-за отсутствия безопасных технологий обращения с ними.

При расчетах рисков принимали, что все работы ведутся строго, в соответствии с «Концепцией комплексной утилизации АПЛ и надводных кораблей с ядерными энергетическими установками».

Для радиационных рисков рассмотрены наиболее опасные аварийные ситуации, вызванные нарушениями технологических процессов или внешними причинами.

Для аналогичных оценок химических рисков требуется проведение дополнительных исследований.

2. Радиационные риски

После вывода АПЛ из эксплуатации наибольшая радиоактивность сосредоточена в ОЯТ реакторов. В зависимости от их мощности, продолжительности кампании и режима работы в активной зоне накапливается ~1 МКи, что составляет до 95% общей радиоактивности АПЛ.

Поэтому основная радиационная опасность связана с операцией по выгрузке ОЯТ. В качестве возможной аварии рассматривалось падение ОТВС при выгрузке и вызванное этим ее повреждение. Как видно из таблицы 1, именно это событие дает основной вклад в ущерб для персонала и населения (с учетом дозозатрат при ликвидации последствий аварии).

Наиболее тяжелые последствия при выгрузке ОЯТ могут быть при возникновении самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР) в результате ошибочных действий персонала и нарушения технологического регламента. После аварии в бухте Чажма [4] были приняты меры для исключения самой возможности такой аварии, в том числе обязательный слив теплоносителя перед подрывом крышки реактора.

Как запроектная авария была рассмотрена ситуация с падением летательного аппарата и вызванным им пожаром в реакторном отсеке.

При выгрузке ОЯТ и утилизации АПЛ образуется до 100 м³ ЖРО с суммарной активностью 1-10 Ки (в зависимости от степени повреждения оболочек тепловыделяющих элементов) и ~10 м³ ТРО с активностью ~0,3-0,5 Ки.

Таблица 1

Основные показатели радиационного риска для персонала и населения при утилизации АПЛ

№ п/п	Возможные аварии (исходные события)	Частота, 1/год	Индивидуальный риск смерти $\Gamma_{см}$, 1/год		Индивидуальный годовой ущерб R (потерянная доля года жизни/год воздействия источника риска)	
			Персонал	Население	Персонал	Население
Нормальные условия утилизации			2,8E-13	3,7E-15	5,0E-12	5,0E-14
Аварии						
1	Повреждение ОТВС при выгрузке	6,0E-3	3,4E-5	4,4E-6	6,0E-4	6,0E-5
2	Пожар на АПЛ	1,4E-2	3,1E-11	4,1E-12	5,6E-10	5,6E-11
3	Отказ системы вентиляции производственных помещений	3,2E-2	9,0E-12	1,2E-12	1,6E-10	1,6E-11
4	Разлив ЖРО	4,8E-3	2,7E-12	1,1E-12	4,8E-11	1,4E-11
5	Затопление блока РО в пункте хранения	8,4E-3	1,4E-15	1,8E-16	2,5E-14	2,5E-15
6	Затопление блока РО при транспортировке	5,1E-3	8,6E-16	1,1E-16	1,5E-14	1,5E-15
7	Падение летательного аппарата с последующим пожаром в РО	5,0E-8	5,6E-11	8,0E-12	1,0E-9	1,0E-10
Итого:			3,4E-5	4,4E-6	6,1E-4	6,0E-5

При оценке рисков от радиоактивных отходов предполагалось, что образующиеся ЖРО собираются и перерабатываются на имеющихся установках, а ТРО размещаются на длительное хранение внутри реакторного отсека утилизируемой АПЛ.

Расчеты показали, что при строгом соблюдении технологии и регламента работ при утилизации АПЛ радиационный риск для персонала и тем более для населения пренебрежимо мал.

Для оценки ущерба от возможных аварий были рассмотрены 32 первопричины исходных событий, приводящих к аварии. Среди них наибольший вклад дали, помимо упомянутых ранее аварий, связанных с выгрузкой ОЯТ, аварии, причинами которых были:

- разлив ЖРО в результате ошибок персонала или повреждения шлангов;

- отказ системы вентиляции производственных помещений контролируемой зоны без очистки на фильтрах;
- пожар на АПЛ (максимальная проектная авария);
- затопление трехотсечного блока при транспортировке или в пункте временного хранения.

Наибольший вклад в суммарную частоту возникновения всех аварий вносят человеческие ошибки (41 %) и зависимые отказы технических средств (32 %).

Основные результаты оценок радиационного риска для персонала СРЗ «Нерпа» и населения г. Снежногорска приведены в табл. 1. Все оценки сделаны в консервативной манере.

Из приведенных данных видно, что подавляющий вклад дает авария с падением ОТВС при выгрузке. Снизить вероятность этой аварии помогут следующие меры:

- диагностирование грузоподъемного оборудования, используемого при выгрузке ОЯТ;
- контроль за проведением выгрузки;
- своевременное переобучение персонала, контроль знаний и тренировки перед проведением операции по выгрузке ОЯТ.

3. Химические риски при утилизации АПЛ

Химические загрязнения образуются как на этапе подготовки к утилизации, так и при проведении непосредственных работ по утилизации.

Схема образования токсичных отходов при утилизации, их структура и распределение по классам опасности согласно ГОСТ приводится на рис. 1, 2, 3.



Рис. 1. Схема образования токсичных отходов при утилизации АПЛ

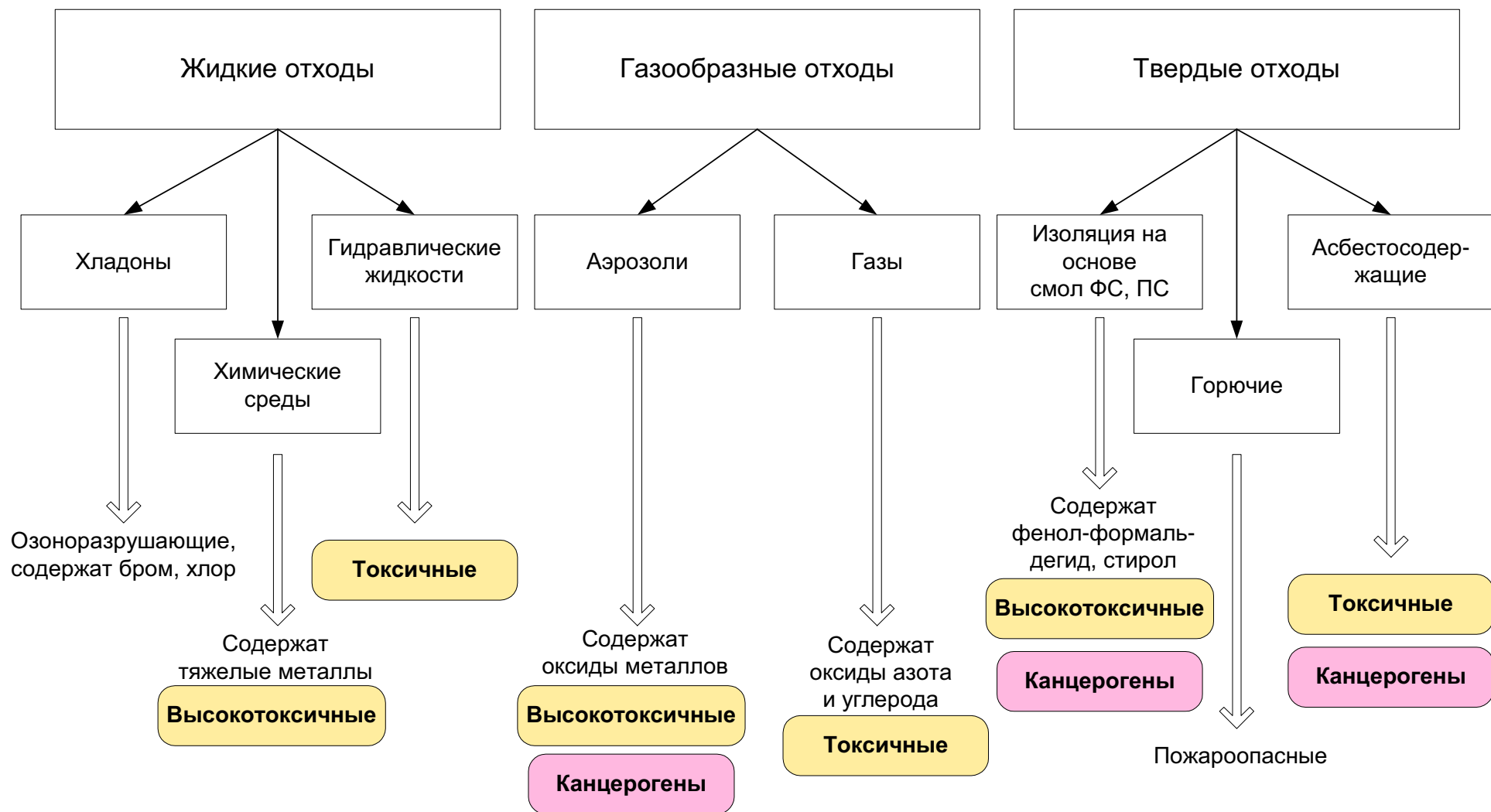


Рис. 2. Структура токсичных отходов, образующихся при утилизации АПЛ.

При утилизации АПЛ в атмосферу выбрасывается около 2 т вредных химических веществ (ВХВ) в виде аэрозолей и газообразных соединений. В их числе высокотоксичные вещества 1 и 2 класса опасности по ГОСТ – окислы хрома, марганца и никеля в количестве от нескольких килограммов до нескольких десятков килограммов и вещества с остронаправленным механизмом действия: оксид азота (~300 кг) и оксид углерода (~400 кг). В результате в рабочей зоне превышение в воздухе предельно допустимых концентраций (ПДК) достигает ~15 для никеля и свинца и ~30 для хрома. Следует отметить также чрезвычайно высокое содержание (превышение ПДК в 8-17 раз) твердой аэрозольной фазы производственной пыли – одного из ведущих факторов в формировании вредных условий труда, влияющих на здоровье рабочих, занятых разделкой АПЛ.

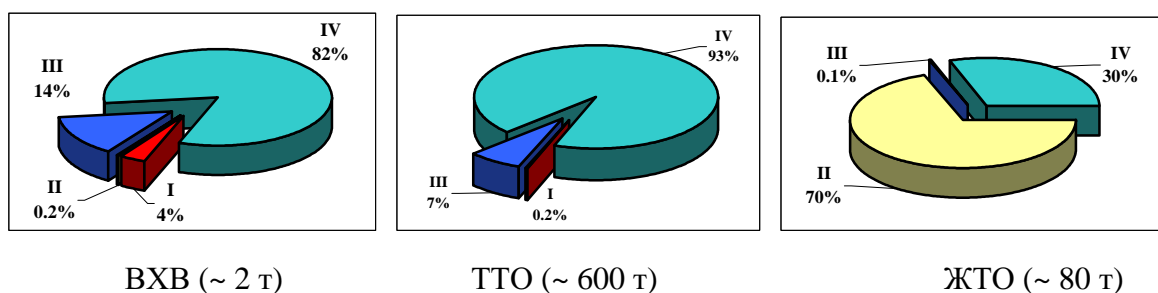


Рис. 3. Виды токсичных отходов и их распределение по классам опасности

ВХВ образуются, в основном, непосредственно при проведении работ, связанных с разделкой АПЛ. К таким работам относятся резка, сварка, шлифовка, зачистка. Используется газовая, плазменная и механическая резка.

Как показывают расчеты и исследования, основным источником выброса вредных химических веществ в атмосферу, а, следовательно, и основным источником опасности для здоровья персонала, является газовая резка (см. рис. 4). Она используется на всех этапах утилизации АПЛ, связанных с резкой, в отличие от плазменной, которая используется только для резки конструкций из цветных металлов и специальных сплавов.



Рис. 4. Газовая резка при утилизации АПЛ

На рис. 5 приводится сравнение величин ущерба от различных видов резки для персонала от воздействия ВХВ, а на рис. 6. – сравнение рисков от разных ВХВ, выделяющихся при утилизации АПЛ.

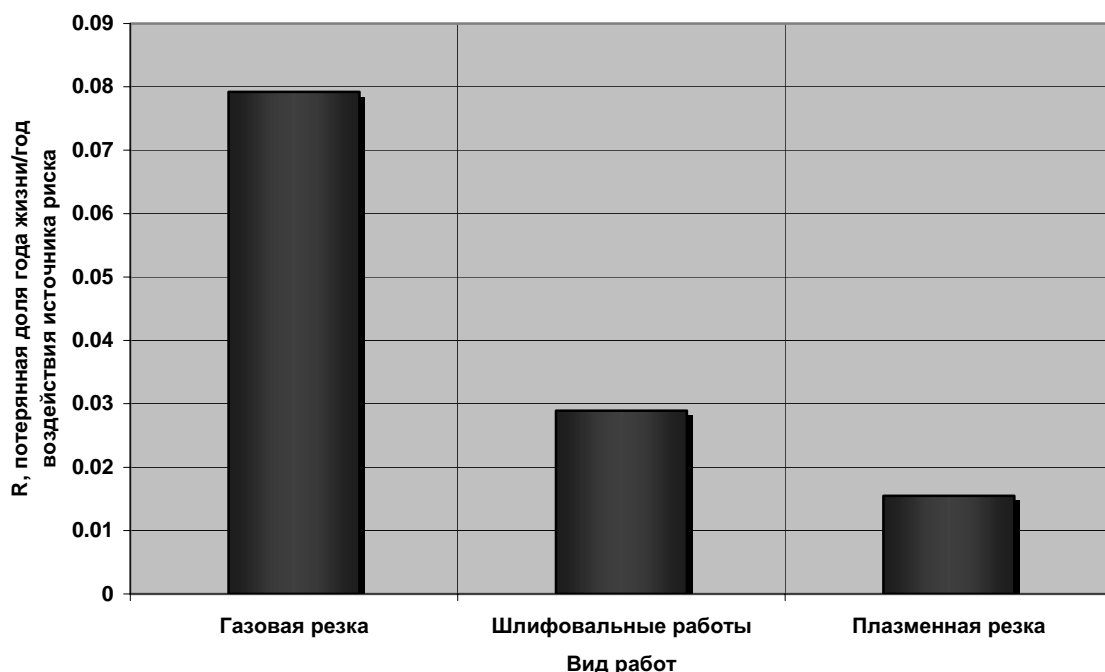


Рис. 5. Сравнительные оценки рисков для основных видов работ при утилизации АПЛ

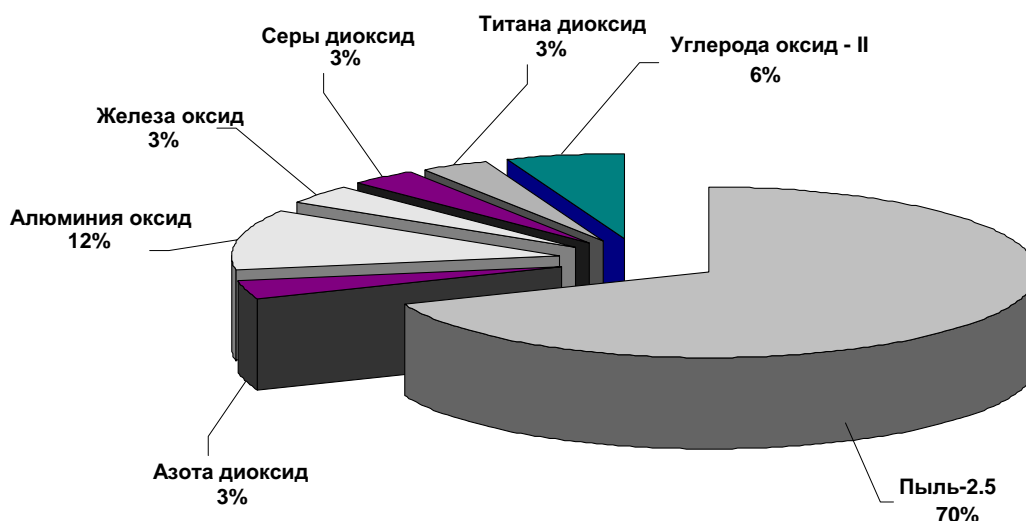


Рис. 6. Доля риска от ВХВ, выделяющихся при утилизации АПЛ

Количество жидких токсичных отходов (без сточных промышленных вод) составляет ~60 т на АПЛ, в том числе отходы 2 класса опасности – отработанный электролит и отходы масел и дизельного топлива. Проблему представляют жидкость ПГВ (парафин-глицерин-вода) и хладон (в сумме ~20 т), которые из-за отсутствия эффективных технологий переработки скапливаются на складах предприятий.

Твердые токсичные отходы (~600 т на АПЛ, в т.ч. ~400 т резиновых покрытий) являются основным источником загрязнения окружающей среды. Проблему представляют отходы на основе смол, включая изоляционные материалы, которые выделяют фенолформальдегид. В настоящее время на предприятии отсутствует необходимое оборудование для переработки таких отходов, они складываются на площадках предприятия.

Отходы IV класса опасности разрешено вывозить на свалку промышленных отходов, хотя значительную их часть (~10 т) составляют отходы, содержащие асбест, который относится к классу канцерогенов. Процессы вымывания асбеста, смол, разноса и миграции разрушенных от ультрафиолетовых облучений полимерных материалов, таких, как пластикат, линолеум, полиэтилен и др., наносят значительный вред окружающей среде.

Проблемными остаются отходы в виде пыли, которая собирается с общим мусором, что приводит к смешиванию отходов разных классов опасности. Кроме того, часть отходов горюча, что является дополнительным фактором опасности при размещении отходов на территории предприятия и на свалке промышленных отходов.

При обращении с токсичными отходами, образующимися при утилизации АПЛ, возможны аварии с выходом токсичных веществ в окружающую среду. Причинами аварий могут быть отказы технологических средств и оборудования, нарушение технологического процесса, а также внешние причины, главным образом пожары и взрывы, в том числе диверсии. Независимо от первичной причины аварийной ситуации опасность для населения и окружающей среды представляют газоаэрозольные выбросы в атмосферу и сбросы в акваторию токсичных веществ, концентрации которых превышают выбросы и сбросы, осуществляемые при нормальном режиме технологического процесса.

Оценки химических рисков от возможных аварий не проводились из-за недостаточного количества исходных данных.

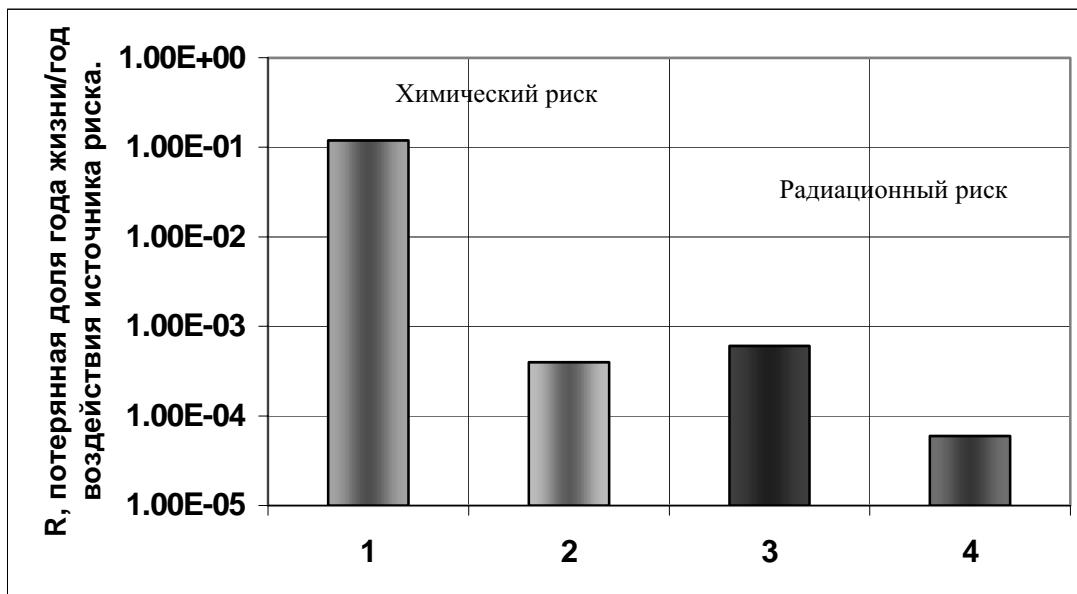
4. Анализ результатов сравнительных оценок риска

Результаты выполненного исследования по оценкам риска при утилизации АПЛ показывают пренебрежимо малые значения радиационных рисков как для персонала, так и для населения. Химические риски при утилизации АПЛ существенно больше, особенно для персонала (см. рис. 7). И это только за счет выбросов ВХВ и без учета возможных аварий, последствия которых могут представлять серьезную опасность для населения и окружающей среды.

Для снижения химических рисков от ВХВ для персонала могут быть полезны:

- использование более эффективного оборудования для принудительной вентиляции и фильтрации воздуха в закрытых помещениях рабочей зоны;
- тщательная очистка поверхностей от лакокрасочных и других покрытий, удаление остатков внешних защитных слоев перед резкой;
- более широкое использование плазменной резки;
- использование «вахтового» метода работы резчиков.

Очевидно, что отсутствие оценок химических рисков при возможных авариях с выбросами токсичных веществ существенно снижает возможности управления химическими рисками при утилизации АПЛ. Необходимо провести анализ возможных аварий и их последствий, рекомендовать технологии по обращению с химическими отходами, экономически эффективные и экологически безопасные. В настоящее время такие исследования начаты для площадки ФГУП «Звездочка», но они должны быть выполнены для всех заводов.



где, 1 – персонал, химический риск, 1,2E-1;
 2 - население, химический риск, 4,0E-4;
 3 - персонал, радиационный риск, 6,1E-4;
 4 - население, радиационный риск, 6,0E-5.

Рис. 7. Сравнительные оценки радиационных и химических рисков при утилизации АПЛ

5. Выводы и предложения

Проведенный анализ и сравнение экологических рисков, возникающих при снятии с эксплуатации АПЛ и их утилизации, показывает, что радиационный риск для персонала пренебрежимо мал и основную опасность представляют вредные химические вещества, выделяющиеся при разделке АПЛ. Концентрации некоторых из них в зоне работ в десятки раз превышают ПДК. Применение более совершенного оборудования для фильтрации воздуха и резки позволит уменьшить этот риск, сделать его более приемлемым для персонала.

Для населения близлежащего города радиационный, и химический риск от ВХВ не представляют какой-либо опасности.

Однако этого нельзя сказать о жидких и твердых токсичных химических отходах, которые в больших количествах образуются и складываются на территории заводов или на близлежащих свалках. Это – потенциальная опасность для населения и окружающей среды и для ее решения необходимо применять такие же энергичные и скоординированные действия, как для обращения с РАО при утилизации АПЛ.

Как известно, на первых порах существовали серьезные проблемы при обращении с ОЯТ, ЖРО и ТРО. Постепенно с помощью наших зарубежных коллег были созданы технологии и установки для переработки ЖРО; компактирования ТРО и их хранения; для выгрузки ОЯТ, их транспортировки и временного хранения. Это позволило существенно повысить безопасность работ с ОЯТ и РАО.

Аналогичные работы необходимо выполнить и для токсичных химических отходов, осознав их опасность в первую очередь для мест утилизации АПЛ. Дальнейшее их хранение в нынешних условиях может привести к серьезным

экологическим последствиям для населения и окружающей среды, в первую очередь для зон развитого рыболовства на Северо-западе России.

На наш взгляд необходимо разработать концепцию обращения с этими отходами, выбрав технологии, наиболее подходящие для их переработки. В разных странах существуют установки, предназначенные для переработки бытовых и промышленных отходов экологически безопасным и экономически эффективным способом. Например, установки с высокотемпературными химическими реакторами для газификации отходов с попутной выработкой электрической энергии и тепла, что очень важно для наших заводов на Северо-западе России.

Для скорейшего и эффективного решения этой проблемы требуется международная поддержка и координация усилий при выборе возможных технологий и их реализации. Первым шагом на этом пути мог бы стать международный проект «Разработка концепции по обращению с токсичными отходами, образующимися при утилизации АПЛ».

Следующий шаг – создание установок для переработки токсичных отходов на заводах, где утилизируют АПЛ, и очистка с их помощью существующих ныне мест хранения этих отходов, в том числе свалок промышленных и бытовых отходов. В этом случае можно будет обеспечить экологическую безопасность в Северо-западном регионе даже в условиях ускоренной утилизации большого количества многоцелевых АПЛ.

6. Перечень сокращений

АПЛ – атомная подводная лодка;
ВХВ – вредные химические вещества;
ЖРО – жидкие радиоактивные отходы;
ЖТО – жидкие токсичные отходы;
ОТВС – отработавшая тепловыделяющая сборка;
ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;
ПДК – предельно допустимая концентрация;
РАО – радиоактивные отходы;
РО – реакторный отсек;
СЦР – самопроизвольная цепная реакция;
ТРО – твердые радиоактивные отходы;
ТТО – твердые токсичные отходы.

7. Литература

1. Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 190, Публикация 60, ч. 1, 2. М. Энергоатомиздат, 1994.
2. А.Я.Блехер, Н.Л.Кучин. Анализ радиационного риска на этапах вывода из эксплуатации и комплексной утилизации АПЛ. Материалы конференции МОРИНТЕХ – 2001, Санкт-Петербург, 2, 251 – 254.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Минздрав России, Москва, 1999.
4. Ю.В.Сивинцев, В.Л.Высоцкий, В.А.Данилян «Радиоэкологические последствия радиационной аварии на АПЛ в бухте Чажма». Атомная энергия, т. 76, в. 2, 1994.

Разработка концепции по обращению с токсичными отходами, образующимися при утилизации АПЛ

При утилизации АПЛ всех типов образуется значительное количество нерадиоактивных отходов, представляющих экологическую опасность для здоровья персонала, населения близлежащих городов и поселков и окружающей среды.

Для персонала наибольшую опасность представляют вредные химические вещества (ВХВ), которые образуются (до 2 т на АПЛ) в виде газов и аэрозолей, содержащих десятки килограммов высокотоксичных веществ 1 и 2 классов опасности (окислы хрома, марганца, никеля, свинца и др.), а также сотни килограммов оксидов углерода и азота. Большой вред для здоровья персонала представляет также высокое содержание в воздухе рабочей зоны твердой аэрозольной фазы производственной пыли и аэрозоли конденсации при сварке.

Используемые в настоящее время респираторы и фильтры очистки воздуха снижают вредное воздействие ВХВ, но недостаточно. По оценкам для персонала, занятого на резке ВХВ, потерянное время жизни составляет около 12 % от времени работы. Т.е. воздействие ВХВ за 100 часов работы укорачивает жизнь рабочего на 12 часов.

Совершенствование системы индивидуальной защиты и системы очистки воздуха, а, главное, использование более экологически чистых технологий разделки конструкций позволит существенно снизить вред для здоровья персонала.

Риск для персонала и населения от других видов отходов существенно ниже, хотя их количество намного выше. При утилизации АПЛ образуется ~ 60-80 т жидких токсичных отходов (горюче-смазочные материалы, отработанный электролит и др.) и ~ 600 т твердых отходов. Часть из них сжигается, часть утилизируется, но основная доля отходов складывается на заводских площадках или вывозится на промышленные свалки.

Большие проблемы создают отходы третьего класса опасности (несколько десятков тонн) в виде изоляционных материалов, выделяющих при хранении фенолформальдегид и другие токсичные соединения. Технология их переработки в настоящее время отсутствует и эти отходы складывают на территории предприятий.

Отходы четвертого класса опасности, а они составляют основную массу (~ 600 т) твердых токсичных отходов, разрешено вывозить на общепромышленные свалки, т.к. отсутствует технология их переработки, направленная на уменьшение объема и предотвращение вымывания из них вредных веществ. В результате происходит загрязнение почвы и грунтовых вод. К тому же часть отходов горюча, что является дополнительным фактором опасности. При пожарах, случайных или умышленных, возникает опасность поражения персонала и населения, загрязнения грунтовых вод, а также попадания токсичных веществ в реки и моря.

Эта опасность будет возрастать по мере увеличения числа утилизируемых многоцелевых АПЛ и исчерпания возможностей для хранения наиболее опасных отходов на территории заводов.

Для предотвращения возможных экологических последствий необходимо как можно быстрее объединить усилия для разработки технологии обращения с токсичными отходами и создания комплексов по их переработке. При этом нужно использовать не только финансовую поддержку зарубежных партнеров, но и их знания, и опыт в решении аналогичных проблем.

В качестве первого шага предлагается международный проект «Разработка концепции обращения с токсичными отходами, образующимися при утилизации АПЛ». Основные этапы выполнения проекта:

- Анализ системы обращения с токсичными отходами на различных заводах России при утилизации АПЛ:
 - структура отходов и их количество, степень их опасности и пути воздействия на здоровье персонала, населения и окружающую среду в штатных и возможных аварийных ситуациях;
 - оценка экологических рисков;
 - технологии и установки, используемые для переработки отходов и их утилизации.
- Анализ технологий, используемых в других странах для обращения с токсичными отходами (переработка, утилизация, хранение или захоронение).
- Анализ возможности использования зарубежного опыта на заводах России. Оценка и сравнение различных технологий и установок с точки зрения экологической эффективности и экологической безопасности.
- Подготовка рекомендаций, проведение технико-экономического исследования и обоснование экологической безопасности выбранной технологии.