

# Серия докладов по безопасности № 21

## Оптимизация радиационной защиты при контроле облучения персонала



**IAEA**

Международное агентство по атомной энергии

# ПУБЛИКАЦИИ МАГАТЭ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ

## НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

В соответствии со статьей III своего Устава Агентство уполномочено устанавливать нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и обеспечивать применение этих норм в мирной деятельности в ядерной области.

Связанные с регулирующей деятельностью публикации, посредством которых МАГАТЭ устанавливает нормы и меры безопасности, выпускаются в **Серии норм безопасности МАГАТЭ**. Эта серия охватывает ядерную безопасность, радиационную безопасность, безопасность транспортировки и безопасность отходов, и также общие принципы безопасности (т. е. имеет отношение к двум или более этих четырех областей), и категории публикаций в ней включают - **Основы безопасности, Требования безопасности и Руководства по безопасности**.

**Основы безопасности** (синий шрифт) содержат основные цели, концепции и принципы обеспечения безопасности и защиты в освоении и применении ядерной энергии для мирных целей.

**Требования безопасности** (красный шрифт) устанавливают требования, которые необходимо выполнять для обеспечения безопасности. Эти требования, для выражения которых применяется формулировка “должен, должна, должно, должны”, определяются целями и принципами, изложенными в Основах безопасности.

**Руководства по безопасности** (зеленый шрифт) рекомендуют меры, условия или процедуры выполнения требований безопасности. Для рекомендаций в Руководствах по безопасности применяется формулировка “следует”, которая означает, что для выполнения требований необходимо принимать рекомендуемые или эквивалентные альтернативные меры.

Нормы безопасности МАГАТЭ не имеют юридически обязательной силы для государств-членов, но они могут приниматься ими по их собственному усмотрению для использования в национальных регулирующих положениях, касающихся их собственной деятельности. Эти нормы обязательны для МАГАТЭ в отношении его собственной работы и для государств в отношении операций, в которых МАГАТЭ оказывает помощь.

Информацию о программе норм безопасности МАГАТЭ (включая информацию об изданиях на других языках, помимо английского) можно получить на сайте МАГАТЭ в Интернете

[www-ns.iaea.org/standards/](http://www-ns.iaea.org/standards/)

или по запросу, который следует направлять в Секцию координации деятельности по обеспечению безопасности МАГАТЭ по адресу: IAEA, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.

## ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ

В соответствии со статьями III и VIII.C своего Устава МАГАТЭ предоставляет сведения и способствует обмену информацией, касающейся мирной деятельности в ядерной области, и служит в этом посредником между своими государствами-членами.

Доклады по вопросам обеспечения безопасности и защиты в ядерной деятельности выпускаются в другой серии, в частности, в **Серии докладов МАГАТЭ по безопасности**, в качестве информационных публикаций. Доклады по безопасности могут содержать описание образцовой практики, а также практических примеров и детальных методов, которые могут использоваться для выполнения требований безопасности. Они не устанавливают требования или не содержат рекомендации.

Другие серии изданий МАГАТЭ, которые включают публикации по вопросам безопасности - это **Серия технических докладов, Серия докладов по радиологическим оценкам, Серия ИНСАГ, Серия TECDOC, Серия временных норм безопасности, Серия учебных курсов, Серия услуг МАГАТЭ и Серия компьютерных руководств**, а также **Практические руководства по радиационной безопасности и Практические технические руководства по излучениям**. МАГАТЭ выпускает также доклады по радиационным авариям и другие специальные публикации.

ОПТИМИЗАЦИЯ  
РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ  
ПРИ КОНТРОЛЕ  
ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ	ЙЕМЕН	РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
АВСТРИЯ	КАЗАХСТАН	РУМЫНИЯ
АЗЕРБАЙДЖАН	КАМБОДЖА	САЛЬВАДОР
АЛБАНИЯ	КАМЕРУН	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
АЛЖИР	КАНАДА	СВЯТЕЙШИЙ ПРЕСТОЛ
АНГОЛА	КАТАР	СЕНЕГАЛ
АРГЕНТИНА	КЕНИЯ	СИНГАПУР
АРМЕНИЯ	КИПР	СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ
АФГАНИСТАН	КИТАЙ	РЕСПУБЛИКА
БАНГЛАДЕШ	КОЛУМБИЯ	СЛОВАКИЯ
БЕЛАРУСЬ	КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	СЛОВЕНИЯ
БЕЛЬГИЯ	КОСТА-РИКА	СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО
БЕНИН	КОТ-ДИВУАР	ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ
БОЛГАРИЯ	КУБА	ИРЛАНДИИ
БОЛИВИЯ	КУВЕЙТ	СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА	ЛАТВИЯ	АМЕРИКИ
БОТСВАНА	ЛИБЕРИЯ	СУДАН
БРАЗИЛИЯ	ЛИВАН	СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
БУРКИНА-ФАСО	ЛИВИЙСКАЯ АРАБСКАЯ	ТАДЖИКИСТАН
БЫВШАЯ ЮГОСЛ. РЕСП. МАКЕДОНИЯ	ДЖАМАХИРИЯ	ТАИЛАНД
ВЕНГРИЯ	ЛИТВА	ТУНИС
ВЕНЕСУЭЛА	ЛИХТЕНШТЕЙН	ТУРЦИЯ
ВЬЕТНАМ	ЛЮКСЕМБУРГ	УГАНДА
ГАБОН	МАВРИКИЙ	УЗБЕКИСТАН
ГАИТИ	МАДАГАСКАР	УКРАИНА
ГАНА	МАЛАЙЗИЯ	УРУГВАЙ
ГВАТЕМАЛА	МАЛИ	ФИЛИППИНЫ
ГЕРМАНИЯ	МАРОККО	ФИНЛЯНДИЯ
ГРЕЦИЯ	МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА	ФРАНЦИЯ
ГРУЗИЯ	МЕКСИКА	ХОРВАТИЯ
ДАНИЯ	МОНАКО	ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО	МОНГОЛИЯ	РЕСПУБЛИКА
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	МЬЯНМА	ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЕГИПЕТ	НАМИБИЯ	ЧИЛИ
ЗАМБИЯ	НИГЕР	ШВЕЙЦАРИЯ
ЗИМБАБВЕ	НИГЕРИЯ	ШВЕЦИЯ
ИЗРАИЛЬ	НИДЕРЛАНДЫ	ШРИ-ЛАНКА
ИНДИЯ	НИКАРАГУА	ЭКВАДОР
ИНДОНЕЗИЯ	НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	ЭСТОНИЯ
ИОРДАНИЯ	НОРВЕГИЯ	ЭФИОПИЯ
ИРАК	ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА	ЮГОСЛАВИЯ
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ТАНЗАНИЯ	ЮЖНАЯ АФРИКА
ИРЛАНДИЯ	ОБЪЕДИНЕННЫЕ	ЯМАЙКА
ИСЛАНДИЯ	АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	ЯПОНИЯ
ИСПАНИЯ	ПАКИСТАН	
ИТАЛИЯ	ПАНАМА	
	ПАРАГВАЙ	
	ПЕРУ	
	ПОЛЬША	
	ПОРТУГАЛИЯ	

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение "более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире".

© МАГАТЭ, 2003

Разрешение на воспроизведение или перевод информации, содержащейся в данной публикации, можно получить, направив запрос в письменном виде по адресу: International Atomic Energy Agency, Wagramerstrasse 5, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.

Напечатано МАГАТЭ в Австрии  
Октябрь 2003  
STI/PUB/1118

СЕРИЯ ДОКЛАДОВ ПО БЕЗОПАСНОСТИ, № 21

ОПТИМИЗАЦИЯ  
РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ  
ПРИ КОНТРОЛЕ  
ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА, 2003 ГОД

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ  
ПРИ КОНТРОЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА**

**МАГАТЭ, ВЕНА, 2003**

**STI/PUB/1118  
ISBN 92-0-415603-1  
ISSN 1020-6485**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из трех главных принципов, лежащих в основе защиты от ионизирующих излучений, является принцип оптимизации радиологической защиты. Принцип оптимизации защиты был впервые провозглашен Международной комиссией по радиологической защите в 1960-х годах. Основное требование об оптимизации защиты и безопасности включается в Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (Основные нормы безопасности) с первого издания в 1962 году до нынешнего издания (1996 года). Применение на практике принципа оптимизации, заключающегося в том, что предпринимаются все разумные усилия в целях снижения доз (с учетом социальных и экономических факторов), связано со значительными усилиями.

Требование Основных норм безопасности о применении принципа оптимизации относится ко всем категориям облучения: облучения персонала, населения и медицинского облучения. Категории облучения населения и медицинского облучения носят довольно специфический характер и рассматриваются в других публикациях; основное внимание в настоящем докладе по безопасности уделяется применению указанного принципа к категории облучения персонала, которая, по-видимому, является наиболее крупной. В настоящем Докладе по безопасности приводится практическая информация о том, как применять оптимизацию защиты на рабочем месте. Особое внимание в нем уделяется интеграции радиационной защиты в более общую систему управления работами и вовлечению административного руководства и работников в создание системы радиационной защиты и ее осуществление.

Настоящий доклад по безопасности был подготовлен и окончательно доработан в ходе трех совещаний консультантов, проведенных в 1999 и 2000 годах. Проект был разослан для рассмотрения и выработки замечаний ряду экспертов, и были получены ценные замечания специалистов, проводивших рассмотрение, чьи фамилии включены в перечень составителей и рецензентов. Следует особо отметить вклады, внесенные в подготовку настоящего Доклада по безопасности г-ном Дж.Блейки, г-ном К. Шибером и г-ном Дж.А.М. Узббом. Сотрудником МАГАТЭ, отвечавшим за подготовку настоящего Доклада по безопасности, была г-жа М. Густафссон из Отдела радиационной безопасности и безопасности отходов.

## *РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ*

*Хотя всем вопросам обеспечения точности информации, содержащейся в настоящей публикации, было уделено большое внимание, ни МАГАТЭ, ни его государства-члены не принимают на себя какой-либо ответственности за последствия, которые могут возникнуть при ее использовании.*

*Использование конкретных названий стран или территорий не выражает какого-либо суждения со стороны издателя – МАГАТЭ – относительно правового статуса таких стран или территорий, или их компетентных органов, или относительно определения их границ.*

*Упоминание названий конкретных компаний или изделий (независимо от того, указаны ли они как зарегистрированные или нет) не предполагает какого-либо намерения нарушить права собственности и не должно толковаться в качестве одобрения или рекомендации со стороны МАГАТЭ.*



## СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ .....	1
1.1.	История вопроса .....	1
1.2.	Цель .....	2
1.3.	Сфера применения .....	3
1.4.	Структура .....	4
2.	ПРОЦЕСС ОПТИМИЗАЦИИ .....	4
3.	ОЦЕНКА СИТУАЦИЙ ОБЛУЧЕНИЯ .....	12
3.1.	Глобальная оценка ситуации облучения .....	13
3.1.1.	Стадия проектирования .....	13
3.1.1.1.	Пример 1: Индивидуальные граничные дозы и показатели .....	14
3.1.1.2.	Пример 2: Проектирование крупной установки .....	15
3.1.2.	Стадия эксплуатации .....	16
3.1.2.1.	Пример 4: Участие персонала в процессе оценки облучения .....	18
3.2.	Оценка и анализ для конкретных работ .....	18
3.2.1.	Предварительная оценка для всех радиационных работ .....	18
3.2.1.1.	Пример 6: Анализ аналогичных работ, последовательно выполняемых на разных рабочих местах .....	21
3.2.2.	Анализ ситуаций облучения для конкретных работ в контексте проведения детального исследования по оптимизации радиационной защиты .....	22
3.3.	Как получать данные .....	22
3.3.1.	Уровень установок и национальный уровень .....	22
3.3.1.1.	Пример 7: Информационная система МАГАТЭ по регулирующим компетентным органам .....	25
3.3.2.	Международный уровень .....	25
3.3.2.1.	Пример 8: Информационная система по профессиональному облучению .....	26

4.	СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ .....	27
4.1.	Введение .....	27
4.2.	Глобальные средства снижения облучения .....	27
4.2.1.	Планирование и составление графиков работ .....	27
4.2.1.1.	Пример 9: График работ в соответствии с эволюцией мощностей доз .....	28
4.2.2.	Общее обучение работников .....	29
4.2.2.1.	Пример 10: Компьютерная учебная программа – RADIOR .....	29
4.2.3.	Информированность и участие работников .....	30
4.2.3.1.	Пример 11: Передвижные промышленные радиографические установки .....	31
4.2.4.	Связь .....	32
4.2.4.1.	Пример 12: Улучшение связи посредством использования ящиков для предложений .....	32
4.3.	Средства снижения облучения для конкретных работ .....	33
4.3.1.	Проектирование установок и оборудования .....	33
4.3.1.1.	Пример 13: Факторы для оценки при принятии решений относительно необходимости установки постоянной защиты .....	34
4.3.2.	Сокращение времени, проводимого в зонах облучения .....	35
4.3.2.1.	Пример 14: Факторы, увеличивающие время облучения .....	36
4.3.3.	Уменьшение необходимого числа работников .....	37
4.3.4.	Сокращение мощности доз .....	38
4.3.4.1.	Пример 15: Инструмент с длинными рукоятками .....	40
4.3.5.	Специализированная подготовка .....	40
5.	ПОДГОТОВКА И ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПЛАНА АЛАРА .....	41
5.1.	Глобальные компоненты .....	42
5.1.1.	Пример 16: Создание конкретных управленческих структур АЛАРА .....	43
5.2.	Анализ и выбор вариантов снижения доз для конкретных работ .....	44
5.2.1.	Анализ вариантов .....	44
5.2.1.1.	Пример 17: Определение экономии затрат ..	45

5.2.2. Выбор вариантов для осуществления .....	45
5.3. Мониторинг эффективности плана АЛАРА .....	47
6. ВЫВОДЫ .....	49
ЛИТЕРАТУРА .....	50
ПРИЛОЖЕНИЕ I: МЕТОДЫ СОДЕЙСТВИЯ ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ .....	53
I-1. Введение .....	53
I-2. Анализ затрат и результатов .....	54
I-3. Расширенный анализ затрат и результатов .....	55
I-4. Многопризнаковый анализ полезности .....	56
I-5. Многокритериальный анализ важности .....	57
Литература к Приложению I .....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ II: КОНТРОЛЬНЫЕ ПЕРЕЧНИ АЛАРА .....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ III: ДЕНЕЖНАЯ СТОИМОСТЬ ЕДИНИЦЫ КОЛЛЕКТИВНОЙ ДОЗЫ .....	70
III-1. Введение .....	70
III-2. Оценка контрольного значения денежной стоимости человеко-зверта .....	71
III-2.1. Зависимость доза-эффект и денежная стоимость последствий для здоровья человека ....	72
III-2.1.1. Пример III-1.: Расчет денежной стоимости человеко-зверта с использованием подхода, оперирующего понятием “человеческий капитал” .....	72
III-2.2. Как учитывать распределения индивидуальных доз .....	73
III-2.2.1. Пример III-2.: Модель для определения комплекса значений денежной стоимости человеко-зверта в соответствии с уровнем индивидуальных доз .....	73
III-3. Примеры значений денежной стоимости, используемых для единицы коллективной дозы .....	74
Литература к приложению III .....	79
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ .....	81

# **I. ВВЕДЕНИЕ**

## **1.1. ИСТОРИЯ ВОПРОСА**

Многие годы оптимизация является одним из трех принципов радиационной защиты. Это понятие введено в публикации категории Основ безопасности “Радиационная защита и безопасное обращение с источниками излучения” [1], и оно является основным элементом Международных основных норм безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (ОНБ) [2]. Руководство по безопасности (Серия изданий по безопасности № 101), “Эксплуатационная радиационная защита: руководство по оптимизации” [3], было опубликовано в 1990 году в качестве источника практических руководящих материалов по применению системы ограничения доз к эксплуатационным ситуациям. Однако это руководство по безопасности было связано с предыдущим вариантом ОНБ и не охватывало применение принципа оптимизации ко всем ситуациям, включая проектирование. Поэтому было принято решение подготовить настоящий Доклад по безопасности, заменяющий Серию изданий по безопасности № 101, в котором содержались бы более практические рекомендации и который охватывал бы весь диапазон применений, связанных с облучением персонала.

Хотя требование относительно оптимизации применимо ко всем категориям облучения – к облучению персонала, медицинскому облучению и облучению населения, – его применение к непрофессиональному облучению в указанных последними двух категориях является довольно специфическим и надлежащим образом отражено в публикациях для этих областей. В случае облучения населения основным аспектом является оптимизация обращения с отходами, особенно в случае выбросов в окружающую среду и захоронения твердых отходов, причем эти вопросы подробно рассматриваются в публикациях Серии изданий по безопасности радиоактивных отходов. Оптимизация мер по вмешательству в целях защиты населения в случае аварии была рассмотрена в Руководстве по безопасности (Серия изданий по безопасности № 109 [4]), в котором выведены общие оптимизированные уровни вмешательства. Другие аспекты облучения населения связаны с облучением, обусловленным естественным радиационным фоном, в частности с радоном, и эти вопросы в целом рассмотрены в ОНБ. Применение оптимизации в случае медицинского облучения рассматривается для диагностических и терапевтических процедур в

специализированном Руководстве по безопасности, посвященном радиологической защите при медицинском радиационном облучении [5], а практические аспекты будут рассмотрены в серии публикаций, подготовку которой организуют совместно МАГАТЭ и четыре другие международные организации. В связи с вышеизложенным было принято решение уделить основное внимание в настоящем Докладе по безопасности первой категории: облучению персонала.

При проведении оптимизационного исследования с точки зрения радиологической защиты следует также помнить о других опасностях, которые могут быть связаны с радиоактивными материалами (например, биологических и химических опасностях) или с технологическими операциями (например, электрических и механических опасностях) и которые могут в действительности повлиять на окончательное решение об оптимальном образе действия.

При подготовке настоящего Доклада по безопасности был учтен опыт разработки рекомендаций Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и особенно те публикации, которые конкретно связаны с оптимизацией [6], [7], а также выпущенный впоследствии доклад [8], посвященный вопросам радиационной защиты работников. Более специализированные публикации Агентства по ядерной энергии ОЭСР (АЯЭ/ОЭСР) [9], Комиссии европейских сообществ [10] и Национального совета по радиационной защите и измерениям США [11] также явились источником некоторых ценных концепций и примеров применения.

В трех взаимосвязанных руководствах по безопасности, совместно подготовленных МАГАТЭ и Международным бюро труда, содержатся руководящие материалы по выполнению требований ОНБ в отношении облучения персонала [12-14]. Руководство по безопасности, в котором излагаются общие сведения о разработке программ радиационной защиты персонала [12], содержит важнейшие элементы процедур оптимизации и послужило основой, дальнейшим развитием которой является настоящий Доклад по безопасности.

## 1.2. ЦЕЛЬ

Основная цель настоящего Доклада по безопасности заключается в том, чтобы дополнить общие принципы и руководящие материалы по оптимизации, предлагаемые МКРЗ и содержащиеся в ОНБ и в руководствах по безопасности, более практической информацией о том, каким образом применять оптимизацию на рабочем месте. В

литературе [12] указывается, что основная ответственность за оптимизацию защиты работников возлагается на руководителей по вопросам эксплуатации в тех организациях, в которых они работают. Поэтому настоящий Доклад по безопасности предназначен главным образом для административных руководителей, несущих ответственность за контроль типов проделанной работы и связанное с этим облучение персонала. В их число входят те, кто непосредственно отвечает за радиационную защиту, например сотрудники по радиационной защите (которых также называют администраторами или сотрудниками дозиметрической службы). Столь же важен он для тех административных руководителей, которые несут ответственность за производственные или другие аспекты работы организации, такие, как финансовое управление, и для которых безопасность также должна быть неотъемлемым учитываемым фактором. Эти лица также должны быть вовлечены в достижение и осуществление результатов решений по оптимизации. Как указывается ниже, успешное применение идей, изложенных в настоящем Докладе по безопасности, зависит также от приверженности и участия защищаемых работников, и поэтому они или их представители являются еще одной важной аудиторией, на которую рассчитан данный доклад. Настоящий Доклад по безопасности должен быть также полезен сотрудникам регулирующих компетентных органов, поскольку в нем разъясняется, каким образом операторы могут выполнять регулирующее требование в отношении оптимизации.

### 1.3. СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящем Докладе по безопасности рассматриваются предпосылки и практические аспекты осуществления программы оптимизации радиационной защиты при контроле облучения персонала. Программу подобного рода зачастую называют программой АЛАРА (разумно достижимого низкого уровня). Термин “облучение персонала” означает “любое облучение работников в процессе их работы, помимо облучения, исключенного из настоящих норм, и облучения, обусловленного практической деятельностью или источниками, освобожденными из-под контроля регулирующего органа” (литература [2], глоссарий). Он применяется ко всем видам деятельности, связанной с установками, включая проектирование, эксплуатацию и снятие с эксплуатации. Он охватывает все типы облучения персонала, включая облучение, связанное с медицинским и промышленным использованием излучений, и облучение от естественных источников

излучения на работе, а также облучение в ядерно-энергетической промышленности. Хотя в принципе он охватывает также снижение потенциального облучения и в некоторых приводимых в настоящем Докладе по безопасности примерах указываются меры по снижению вероятности получения, а также величины доз, более формальные методы оптимизации еще не в полной мере применимы к компромиссам между снижением дозы и снижением риска. Как отмечено выше, оптимизация в аварийных ситуациях рассматривается в других публикациях и поэтому не является частью сферы применения настоящего Доклада по безопасности.

#### 1.4. СТРУКТУРА

Общий процесс оптимизации радиационной защиты изложен в разделе 2. Для осуществления этого процесса требуется несколько этапов, изложенных в разделах 3-6. Стартовой точкой является оценка исходной ситуации, будь то новый проект или выполняемая в настоящее время операция, как изложено в разделе 3. В разделе 4 рассмотрены различные возможные методы и подходы, которые могут быть предприняты в целях снижения доз. В разделе 5 рассматриваются оценка возможных направлений действий, ведущих к разработке плана АЛАРА, и осуществление этого плана. В разделе 6 представлены некоторые краткие выводы. Во всем настоящем Докладе по безопасности приведены примеры применения процедур. Хотя предполагалось использовать примеры из всех областей применения излучений, большинство исследований, о которых имеется информация, относится к ядерно-энергетической промышленности, и поэтому большинство примеров также связано с этим сектором.

## 2. ПРОЦЕСС ОПТИМИЗАЦИИ

Нынешний характер структуры радиационной защиты, включая концепцию оптимизации радиологической защиты<sup>1</sup>, связан с публикацией МКРЗ, изданной в 1965 году, однако он был изложен в публикации № 26 в 1977 году [15] в таком виде, который был сохранен в похожей форме в публикации № 60 1991 года [16] и в ОНБ. В ОНБ использована следующая формулировка:

“В отношении облучения от любого конкретного источника в рамках какой-либо практической деятельности, за исключением терапевтического медицинского облучения, защита и безопасность оптимизируются, с тем чтобы уровень индивидуальных доз, число людей, подвергающихся облучению, и вероятность облучения сохранялись на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических и социальных факторов при том понимании, что дозы, получаемые отдельными лицами от этого источника, обусловлены граничными дозами” (литература [2], пункт 2.24.)

Оптимизация является необходимо важной частью и практически наиболее важной частью системы ограничения доз, поскольку применения пределов дозы не достаточно для достижения приемлемого уровня защиты. Пределы дозы представляют нижнюю границу области неприемлемых доз и рисков. Поэтому дозы несколько ниже пределов могут быть допустимы только в том случае, если невозможно принять какие-либо разумные меры по их снижению. Однако в большинстве ситуаций могут быть приняты определенные меры в целях их снижения, и защита в этом случае входит в режим оптимизации, являющейся предметом настоящего Доклада по безопасности.

Как отмечено выше, пределы дозы обычно слишком высоки для того, чтобы быть полезным уровнем при определении верхней границы в конкретном исследовании по оптимизации. И действительно, в большинстве ситуаций облучения персонала предел дозы в большинстве случаев оказывается неактуальным. В целях введения границы для оптимизации МКРЗ ввела понятие граничных доз, которые так же, как и пределы дозы выражаются в виде индивидуальных доз, но которые представляют собой связанное с источником ограничение диапазона вариантов, рассматриваемых при оптимизации защиты для данного конкретного источника. Граничные дозы необходимо использовать с учетом перспективы при оптимизации защиты в рамках планирования и выполнения заданий и при проектировании установок или оборудования. Поэтому их следует устанавливать на индивидуальной основе с учетом общих тенденций, но в соответствии с конкретными характеристиками ситуации облучения и предпочтительно, чтобы их устанавливало административное руководство в консультации с соответствующими работниками. Полезной основой может явиться анализ распределений доз при операциях определенного типа, когда, как представляется, обеспечивается высококачественное управление. Граничная доза может быть установлена в районе верхней границы такого распределения доз. В недавно опубликованном исследовании по установлению граничных доз [17] сделан вывод о том, что, по-видимому, существуют определенные



области работ, в которых установление граничных доз вряд ли целесообразно ввиду либо низкого уровня доз, либо проблем с применением самой концепции. Однако исследование, проведенное АЯЭ/ОЭСР, показало, что они полезны во многих ситуациях [18]. В ядерном секторе использование граничных доз, пожалуй, наиболее целесообразно при планировании новых установок, когда существует четко определенная стадия планирования и имеется достаточная информация о распределениях доз, позволяющая произвести выбор граничных доз. Сказанное относится также к медицинскому сектору для случаев планирования радиотерапии, включая брахитерапию, ядерную медицину и рентгенографические установки, а также к определенным промышленным операциям, таким, как использование стационарных радиографических установок.

В противоположность использованию граничных доз, являющихся параметром перспективного характера, зачастую существует необходимость иметь некоторого рода показатели характеристик при эксплуатации. Для этих целей не подходит предел дозы или граничная доза, и поэтому используют термин “уровень расследования”. Уровни расследования должны быть специфическими для соответствующих установок или операций, и поэтому обычно они устанавливаются местным административным руководством с учетом результатов проведенного оптимизационного исследования. Уровни расследования следует устанавливать в виде таких поддающихся измерению величин, как индивидуальные дозы, уровни поступления в организм, мощности дозы или уровни загрязнения. Уровни расследования зачастую будут являться компонентом плана АЛАРА. В случае превышения уровня расследования, следует безотлагательно провести рассмотрение ситуации с целью определения причин и, если необходимо, принятия дальнейших мер по контролю облучения.

При эксплуатации используется также другая контрольная величина, называемая целевым уровнем коллективной дозы. Она аналогична уровню расследования в том смысле, что при приближении к ней или при ее превышении проводится расследование, и поэтому она может явиться для руководства полезным показателем, отражающим общее выполнение работы в сравнении с прогнозами оптимизационного исследования или в сравнении с образцовой практикой в других сходных ситуациях. Целевые уровни коллективной дозы будут также зачастую составлять часть плана АЛАРА.

МКРЗ признает, что “сохранение всех облучений на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических и социальных факторов”; “оптимизация защиты” и “АЛАРА” – это идентичные

концепции в рамках системы МКРЗ [19]. Поскольку сокращение АЛАРА общепризнано во всем мире, оно в надлежащих случаях используется в настоящем Докладе по безопасности.

Оптимизация защиты – это концепция широкого применения. На верхнем уровне она охватывает организационную структуру, необходимую для обеспечения правильного распределения обязанностей. Она может использоваться для принятия решений на всех уровнях - от повседневных эксплуатационных проблем до всестороннего анализа различных типов конструкций установок, – и ее следует применять во всех областях радиационной защиты персонала, включая медицинское использование излучения, облучение от естественных источников излучения и в промышленности в целом, а также в возможно более обсуждаемой общественностью области – ядерно-энергетической промышленности. Концепцию оптимизации следует также в принципе применять в отношении процедур, имеющих целью предотвращение или смягчение последствий инцидентов на рабочих местах, которые могут приводить к радиационному облучению. В этих целях необходимо, чтобы она учитывала вероятности таких событий и их последствий, однако, как отмечено выше, соответствующие методы еще не разработаны, и поэтому данные аспекты в настоящем Докладе по безопасности не рассматриваются.

Фундаментальная роль оптимизации заключается в том, чтобы сформировать у всех, кто несет ответственность за контроль радиационного облучения, такой образ мышления, чтобы они постоянно задавали себе вопрос: “Сделал ли я все, что в разумных пределах могу сделать, для снижения этих доз облучения?”. Ясно, что ответ на этот вопрос является делом суждения, поскольку это не тот вопрос, на который можно дать ответ в том смысле, что и на соответствующий вопрос о пределах дозы - “Обеспечил ли я соответствие с пределами дозы?”. Если производится контроль доз, получаемых работниками, и сумма этих доз за указанный период времени меньше предела, то на вопрос о соблюдении предела дозы можно ответить “да”. В случае вопроса об оптимизации, отчасти в связи с тем, что оптимизация в значительной мере представляет собой операцию с точки зрения перспективы, не существует такого четко определенного технического ответа, не требующего применения суждения. Поэтому демонстрация соблюдения требования об оптимизации в регулирующих положениях также должна быть делом суждения. В настоящем Докладе по безопасности разъясняются вопросы, которые необходимо принимать во внимание при формировании такого суждения.

В современной промышленности экономическое давление приводит к тому, что важнейшими соображениями становятся производительность

труда и конкурентоспособность с точки зрения затрат. Поэтому компаниями принят глобальный подход к работе, в котором подчеркивается важность подхода к рабочим заданиям с точки зрения группы специалистов в различных областях, а также полного отслеживания рабочих заданий на стадиях концептуального проектирования, проектирования, планирования, подготовки, осуществления и выполнения последующих мероприятий. Именно такой подход к рабочим заданиям называют в широком смысле управлением работами. Он имеет много общего с систематическим подходом к оптимизации, рекомендованным в Руководстве по безопасности “Радиационная защита персонала” (литература [12], пункт 4.6), в котором говорится:

“Оптимизация защиты – это процесс, начинающийся на стадии планирования и продолжающийся на стадиях составления рабочих графиков, подготовки, осуществления и учета опыта.”

В большинстве случаев в ходе оптимизации должна быть достигнута сбалансированность посредством учета потребностей в снижении дозы, потребностей в сохранении производства и учета связанных с этим затрат. В литературе [12] рекомендуется осуществлять процесс оптимизации посредством управления работами. Поскольку снижение доз посредством управления работами зачастую осуществляется при помощи мер, обеспечивающих улучшение рабочих условий, цели повышения эффективности и оптимизации радиационной защиты могут зачастую достигаться совместно. Может иметь место даже такая ситуация, когда это общее улучшение результатов работы и снижение доз могут быть достигнуты при отсутствии чистых финансовых затрат, если экономия вследствие повышения эффективности превышает затраты, связанные с мерами по защите.

Существует широкий диапазон методов в помощь при оптимизации радиационной защиты. Некоторые из этих методов являются результатом исследований рабочих операций, некоторые имеют экономическую основу, а другие – техническую. Существующие методы включают процедуры, основанные на анализе затрат и результатов, но не ограничиваются ими; именно эти процедуры были подробно обсуждены в первом большом докладе МКРЗ, опубликованном в 1983 году [6]. Однако МКРЗ указала на важность понимания того, что при оптимизации радиационной защиты могут также использоваться и другие методы, одни из которых носят количественный характер, а другие – в большей степени качественный. Именно эти методы были разработаны в последующем более общем докладе [7], который был опубликован в 1989 году, и утверждены в самых последних рекомендациях в 1991 году [16]. Эти методы изложены в Приложении I.

Основную ответственность за оптимизацию несет административное руководство установки. Приверженность старшего административного руководства, зачастую выражаемая посредством политического заявления, является важнейшим необходимым условием успешного введения или продолжения программы АЛАРА. Еще одним важным ранним шагом при подготовке к осуществлению программы АЛАРА посредством управления работами является создание в соответствующей организации надлежащих управленческих структур и распределение обязанностей. Эти меры должны дополняться широкими программами по улучшению информированности и получению необходимого базового образования. Следует подвергнуть анализу другие, более технические меры по оптимизации защиты, для чего полезна систематическая процедура. Этот подход к организации и контролю работ не является специфическим для оптимизации, а составляет часть нормального эффективного управленческого процесса. Такая процедура показана на рис. 1 и состоит из следующих этапов.

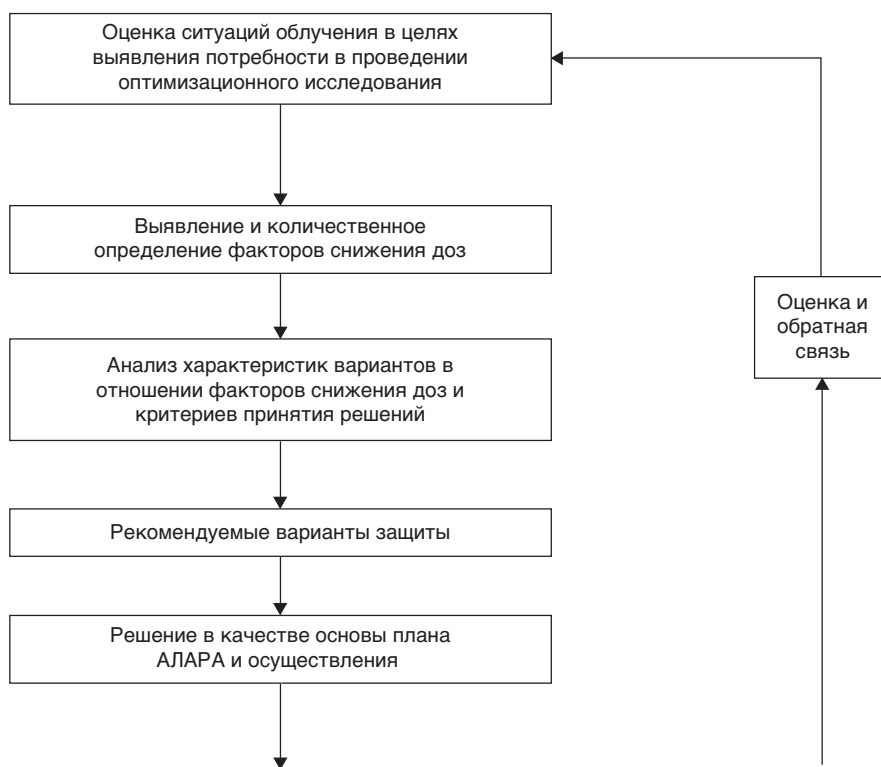


РИС. 1. Процедура оптимизации.

1. *Оценка ситуаций облучения в целях выявления потребности в проведении оптимизационного исследования.* В этих целях зачастую полезно использовать компараторы или примеры образцовой практики. Ими могут быть сравнения с другими похожими установками в таких базах данных, как Информационная система по профессиональному облучению (ИСПО) [20] или обзоры Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН) [21], или же они могут представлять собой граничные дозы для определенного типа работ, установленные руководством или регулирующим компетентным органом. Вообще говоря, целесообразно провести систематическое рассмотрение всех ситуаций облучения. Например, при операциях проектирования и планирования следует уделять внимание ситуациям, характеризующимся более низкими дозами, если существует ряд работников, подвергающихся частому облучению или облучению в течение продолжительных периодов. В некоторых случаях будет очевидно, что кандидатом для улучшения является конкретная работа, характеризующаяся высокими дозами.
2. *Выявление и количественное определение факторов снижения дозы, которые должны быть рассмотрены в ходе оптимизационного исследования.* На этом этапе определяются все средства, с помощью которых может быть достигнуто снижение доз. Такие факторы включают глобальные средства, которые могут применяться ко всем операциям, и средства, специфические для оптимизации защиты при конкретных работах. Сочетания различных средств могут упоминаться в качестве вариантов для улучшения защиты.
3. *Анализ, который может быть качественным или количественным, характеристик вариантов в отношении каждого из факторов снижения доз и критериев для принятия решений, установленных заблаговременно.* Общая задача оптимизации связана с радиационным облучением рабочей силы. При его оценке одним из ключевых факторов является распределение индивидуальных доз и особенно максимальные индивидуальные дозы. Поскольку важно также принимать во внимание число рабочих, подвергающихся воздействию конкретных уровней доз, необходимым фактором является коллективная доза, получаемая рабочей силой. Коллективная доза означает здесь сумму доз, прогнозируемых или реально полученных конкретной рабочей силой либо на протяжении определенного периода времени, такого, как год или месяц, либо при выполнении конкретной работы. Соответствующие критерии являются количественным или качественным руководством в

отношении того, что считается приемлемым или желательным для одного из факторов. Например, индивидуальная граничная доза – это критерий одного типа, а конкретная денежная стоимость единицы коллективной дозы – это другой критерий. Указанные критерии могут использоваться вместе с другими менее определенными в количественном отношении входными данными при принятии решений относительно плана АЛАРА в целом или относительно конкретных работ.

4. *Выработка рекомендуемого оптимального варианта защиты.* С учетом результатов анализа, включая расходы всех типов и эффективность различных средств снижения дозы, один или несколько вариантов, по-видимому, могут представлять собой оптимальные варианты.
5. *Окончательное решение, которое является затем основой для плана АЛАРА и его осуществления.* С помощью методов привлечения к участию руководства, работников, которые могут повлиять на ситуацию, и тех работников, которые окажутся затронутыми процессом принятия решений, может быть определена соответствующая комбинация общих средств в целях оптимизации защиты и осуществления подхода к выполнению конкретных работ с учетом предложенных оптимальных вариантов. Затем на ее основе формируется план АЛАРА для осуществления.

В определенном смысле именно эта процедура является важным практическим воплощением концепции оптимизации. Эта процедура, которая может быть применена в ситуациях как проектирования, так и эксплуатации, нацелена на решение рассматриваемой проблемы таким образом, чтобы при определении основных вариантов радиологической защиты были рассмотрены все имеющиеся средства снижения доз наряду со связанными с ними затратами и любыми другими соответствующими факторами. Этапы процедуры разъясняются в последующих разделах настоящего Доклада по безопасности.

При проведении оптимизационного исследования необходимо привлекать к участию в этом другие группы. В их число входят, в частности, работники, которые непосредственно знают изучаемую ситуацию и поэтому могут вносить предложения относительно соответствующих факторов и того, каким образом они могут быть изменены, и другие управленческие группы, обладающие контролем над финансами или вовлеченные в ситуацию с производственной точки зрения, которые могут определять ограничения финансового или технического характера или вносить предложения об улучшениях с точки зрения более широкой перспективы.

Конкретным результатом оптимизационного исследования является план АЛАРА, включающий краткосрочные и долгосрочные задачи, которые могут быть названы целями АЛАРА. Эти цели могут быть установлены, например, в виде максимальных индивидуальных доз и целевых уровней коллективных доз. Этот план может также включать уровни расследования для использования при осуществлении плана, с тем чтобы принимать меры по тщательному рассмотрению в случае возникновения отклонений от прогнозируемых наборов значений доз. При осуществлении плана важной является необходимость сообщать о причинах изменений и ожидаемых результатах. Участие вышеупомянутых групп в разработке плана принесет дополнительную пользу, заключающуюся в том, что в ней будут участвовать те, кто должен будет осуществлять этот план. На этапе осуществления будет также необходимо подчеркивать ответственность каждого участвующего отдельного лица за его или ее собственную улучшенную защиту и за улучшение защиты коллег по работе.

В ходе осуществления плана следует контролировать изменения показателей и возможность обратной связи таким образом, чтобы в случае дополнительного рассмотрения в будущем база данных для этого рассмотрения была четкой и полной.

### **3. ОЦЕНКА СИТУАЦИЙ ОБЛУЧЕНИЯ**

Ситуации облучения персонала могут быть различными – от простых (например, при проведении техником-рентгенологом рентгеновского исследования грудной клетки) до сложных (например, задач, связанных с участием нескольких сотен работников в остановах для перегрузки топлива и проведения технического обслуживания на АЭС). В литературе [12] отмечается, что программа радиационной защиты должна быть хорошо адаптирована к соответствующей ситуации. Первым шагом для обеспечения этого является проведение первоначальной радиологической оценки соответствующей практической деятельности или установки. Цель этой первоначальной оценки заключается в том, чтобы описать с такой точностью, как это необходимо, ситуацию, связанную с облучением персонала. Рекомендуется, чтобы эта оценка включала для всех аспектов деятельности [12]:

- “а) идентификацию источников нормального и разумно предсказуемого потенциального облучения;

- b) реалистические оценки соответствующих доз и вероятностей;
- с) определение мер радиологической защиты, необходимых для соответствия принципу оптимизации.”

Настоящее Руководство по безопасности посвящено вопросам оптимизации, и изложенные в нем процедуры оценки нацелены на разработку плана АЛАРА в рамках общей программы радиационной защиты.

При общем подходе независимо от степени сложности существует два основных уровня оценки. Первый представляет собой глобальную оценку облучения в целях определения основных областей для улучшения и контроля общей эффективности программы оптимизации, если такая уже существует. Второй связан с подробным анализом конкретных работ в целях изучения факторов, вносящих вклад в соответствующие дозы, и определения соответствующих средств, которые могут быть применимы в целях снижения доз.

### 3.1. ГЛОБАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИТУАЦИИ ОБЛУЧЕНИЯ

Прежде чем приступать к осуществлению любого процесса оптимизации, необходимо, чтобы руководство провело первоначальную радиологическую оценку, с тем чтобы получить общее представление о ситуации облучения, за которую оно несет ответственность, оценить эволюцию облучения и выявить основные области для улучшения.

#### 3.1.1. Стадия проектирования

На стадии проектирования новой установки (например, АЭС, исследовательской лаборатории, помещения для рентгенографии в больнице) или при подготовке к проведению новой операции (например, демонтажа установки, крупной модификации станции) следует провести глобальную оценку ситуации облучения, с тем чтобы определить, соблюдаются ли индивидуальные граничные дозы [17,18] и целевые уровни коллективной дозы (если такие были установлены) (см. пример в разделе 3.1.1.1). Эти два элемента, связанные с источником, отражают в общем смысле то, что может рассматриваться в качестве достижимого в сравнении с результатами, полученными на похожих установках или в похожих ситуациях облучения на национальном или международном уровне: это описано в разделе 2.



На стадии первоначального определения характеристик будущей ситуации облучения основными анализируемыми показателями являются уровень коллективной дозы и распределение индивидуальных доз (т.е. число рабочих, получивших облучение, как функция диапазонов индивидуальных уровней дозы). Данные для глобального обзора такого типа обычно собираются на ежегодной основе. Эти показатели получают посредством общего описания основных радиологических работ, которые планируются к проведению на соответствующей установке. Это описание основывается на грубой оценке частоты проведения работ, их продолжительности, мощностей дозы и возможного числа подвергающихся облучению работников.

Сравнение показателей с индивидуальными граничными дозами и целевыми уровнями коллективной дозы позволяет выявить изменения, которые необходимо внести в проект до сооружения, с тем чтобы достигнуть целей. Изменения могут также вноситься в конструкции в целях улучшения условий на существующих установках. Поэтому оценку следует начинать на как можно более раннем этапе процесса проектирования, с тем чтобы обеспечить максимальную гибкость в отношении потенциальных изменений в первоначальном проекте. Затем осуществляют процесс оптимизации защиты посредством второй и более детальной оценки всех работ, с тем чтобы снизить настолько, насколько это разумно достижимо, дозы по сравнению с этими уровнями граничных доз или целевыми уровнями с учетом социальных и экономических факторов (см. пример в разделе 3.1.1.2.). Следует планировать проведение на периодической основе повторной оценки ситуации.

#### *3.1.1.1. Пример 1: Индивидуальные граничные дозы и показатели*

Ряд организаций установил граничные дозы и показатели для целей проектирования, например для:

- Энергетических реакторов.
  - Индивидуальная годовая доза.
  - Годовая коллективная доза на единицу установленной мощности.
  - Средняя годовая индивидуальная доза для рабочей силы.
- Операции по переработке.
  - Индивидуальная годовая доза.
- Консультанты по радиационной защите.
  - Индивидуальная годовая доза.
- Техники в научно-исследовательских лабораториях.
  - Индивидуальная годовая доза.

### 3.1.1.2. Пример 2: Проектирование крупной установки

В этом примере представлены основные результаты детального оптимизационного исследования, выполненного на стадии проектирования установки по обработке и кондиционированию радиоактивных отходов в атомной промышленности. Эта установка состоит из двух основных блоков: блока сплавления (для металлических отходов) и блока сжигания (для твердых или жидких горючих и негорючих отходов). Ниже приводится описание различных этапов исследования.

- a) Первая оценка ситуации облучения с проведением грубых расчетов (исключая работы по техническому обслуживанию):
  - Коллективная доза: 0,83 чел.Зв/год.
  - Количество облученных работников: 63.
  - Средний индивидуальный уровень дозы за год: 13,2 мЗв.
- b) В рамках оптимизационного исследования ставятся следующие задачи:
  - Индивидуальная граничная доза: 15 мЗв/год в целях исключения любого варианта, который привел бы к годовой индивидуальной дозе, превышающей это значение.
  - Снижение уровня индивидуальных и коллективных доз с уделением приоритетного внимания наивысшим уровням индивидуальных доз.
  - Исключение всех ситуаций облучения, в которых будет необходимо использование дыхательного защитного оборудования в течение более чем двух часов.
- c) Вторая оценка ситуации облучения с более реалистичной гипотезой и более точным описанием этапов выполнения работы; должна использоваться в качестве эталона для оптимизационного исследования:
  - Коллективная доза: 0,77 чел.Зв/год.
  - Количество облученных работников: 88.
  - Средний индивидуальный уровень дозы за год: 8,75 мЗв.
- d) Оптимизационное исследование: определение вариантов защиты, количественное определение их эффективности и затрат по вариантам и выбор оптимальных вариантов (главным образом улучшение биологической защиты и разработка дистанционных средств). Окончательные результаты:
  - Коллективная доза: 0,53 чел.Зв/год.
  - Количество облученных работников: 93.
  - Средний индивидуальный уровень дозы за год: 5,7 мЗв.

В таблице I показано распределение индивидуальных доз до и после выполнения оптимизационного исследования. Цель этого примера заключается в том, чтобы показать, что осуществление вариантов защиты позволяет уменьшить как годовую коллективную дозу, так и среднюю индивидуальную дозу, даже несмотря на то, что количество облученных работников пришлось несколько увеличить, для того чтобы обеспечить соблюдение индивидуальной граничной дозы.

### 3.1.2. Стадия эксплуатации

При эксплуатации установки руководители, на которых возложены соответствующие обязанности (включая сотрудников по радиационной защите), должны проводить регулярные оценки (например, на годовой основе) глобальной ситуации облучения на установке, с тем чтобы:

- оценивать общие тенденции;
- контролировать любые возможные отклонения;
- контролировать эффективность программы радиационной защиты, включая план АЛАРА;
- выявлять основные области, где возможны улучшения;
- определять будущие целевые значения для доз.

Основными показателями, используемыми в этих целях, обычно являются годовые тенденции суммарной получаемой при эксплуатации

**ТАБЛИЦА I. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ ДО И ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ (ИСКЛЮЧАЯ РАБОТЫ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ)**

	Количество работников в диапазоне годовой индивидуальной дозы			
	<5 мЗв/год	5–10 мЗв/год	10–15 мЗв/год	15–20 мЗв/год
<b>Блок сплавления</b>				
До оптимизации	15	13	8	5
После оптимизации	36	7	3	0
<b>Блок сжигания</b>				
До оптимизации	8	14	15	10
После оптимизации	9	37	1	0

коллективной дозы и распределения годовых индивидуальных доз (см. пример в таблице II). В тех случаях, когда различные виды работ, характеризующие ситуацию облучения, могут быть сгруппированы в различные категории и когда затрагиваются различные категории работников (например, лаборанты, техники, инженеры), показатели могут быть детально изложены для каждой категории работ и каждого типа работников, с тем чтобы обеспечить улучшенный анализ ситуации. Они могут быть проанализированы по отдельности для оценки тенденций облучения персонала соответствующей установки и сравнения их с тенденциями на сходных установках (на национальном или международном уровне) в целях проведения сравнительных исследований.

Помимо глобальной оценки тенденций, необходимо также проводить проверку того, достигаются ли конкретные дозиметрические цели, граничные дозы и т.д., установленные в качестве части процесса оптимизации (например, максимальные годовые индивидуальные дозы, коллективная доза в течение года или для категории работ).

Необходима также дальнейшая оценка менее поддающихся количественной оценке показателей эффективности программы радиационной защиты (см. пример в разделе 3.1.2.1.). С точки зрения управления работами эти менее поддающиеся количественной оценке показатели включают:

- приверженность оптимизации радиационной защиты всех лиц, функции которых непосредственно или косвенным образом связаны

ТАБЛИЦА II. ПРИМЕР 3: АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ В ИНФОРМАЦИИ О ДОЗАХ РАБОТНИКОВ, ПОЛУЧАЮЩИХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОЙ РАДИОГРАФИИ ЗА 1990–1996 ГОДЫ

	1990 год	1992 год	1994 год	1996 год
Коллективная доза (чел.·Зв)	3,8	4,1	2,6	2,5
Средняя доза (мЗв)	1,4	1,6	1,3	1,6
Количество работников, получивших дозы свыше 15 мЗв	37	22	29	9

**Примечание:** Данные за 1990-1992 годы вызвали необходимость рассмотрения рабочей практики в промышленной радиографии, результатом которого явилось снижение как индивидуальных, так и коллективных доз.

- с руководством радиационными работами – от высшего административного руководства до отдельных работников, подвергающихся воздействию радиации;
- уровень знаний этих лиц в связи с различными дозиметрическими целями (например, обучение работников на местах по таким темам, как годовые или связанные с заданиями цели);
  - участие работников и руководства в проведении исследований по оптимизации радиационной защиты;
  - качество информационных систем и эффективность распространения информации;
  - проведение постоянной подготовки работников в связи с изменениями и усовершенствованиями в процессах оптимизации.

При проведении всех этих периодических оценок административные руководители должны сознавать, что, даже если ситуация облучения представляется удовлетворительной на уровне установки и в сравнении с похожими ситуациями облучения на других установках, все же может сохраняться возможность (или необходимость) дальнейшего снижения доз. Процесс оптимизации – это динамический процесс, к результатам которого всегда необходимо критически относиться в дальнейшем.

#### *3.1.2.1. Пример 4: Участие персонала в процессе оценки облучения*

Следует, чтобы в процесс оценки облучения были тем или иным образом включены все работники, подвергающиеся профессиональному облучению. Для процесса оценки чрезвычайно важно наличие основной группы людей, обеспечивающих общее руководство и планирование процесса облучения. Точно так же необходимо, чтобы члены этой основной группы не являлись сотрудниками отдела радиационной защиты. Хотя председатель (или организатор) этой основной группы может быть сотрудником отдела радиационной защиты, большинство ее членов должны быть представителями рабочих групп вне отдела радиационной защиты.

## 3.2. ОЦЕНКА И АНАЛИЗ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ РАБОТ

### **3.2.1. Предварительная оценка всех радиационных работ**

Помимо периодической оценки глобальной ситуации облучения, планирование всех работ, которые могли бы привести к облучению

персонала, должно включать, как можно ранее до начала работ, широкую оценку уровней коллективных и индивидуальных доз, непосредственно связанных с выполнением работ. Эту оценку должна проводить отвечающая за это рабочая группа, т.е. группа, которая будет реально выполнять данную работу в тесном сотрудничестве с группой радиационной защиты и с использованием ее помощи. Необходимо, чтобы она базировалась на техническом описании работы и была связана с оценкой радиологических условий, в которых будет выполняться работа.

Задачи предварительной оценки уровней облучения для работ могут включать:

- получение элементов, необходимых для определения и уточнения дозиметрических целей, связанных с работой;
- определение условий облучения (т.е. того, когда, где и как облучаются работники);
- объединение усилий соответствующих специалистов как в рамках ответственной рабочей группы, так и в рамках группы радиационной защиты;
- определение тех работ, которые подлежат дальнейшему анализу в целях улучшения радиологической защиты.

Уровень оценки, планирования и рассмотрения должен быть соизмерим с оцененными дозами, связанными с соответствующими работами. Может оказаться полезным определение контрольного значения, выраженного в виде индивидуальной или коллективной дозы, такого, что если оцененная доза облучения для работы превышает это заранее определенное значение, то проводится дальнейший формальный анализ в целях определения вариантов снижения дозы, за которым следует проводимое старшими руководителями рассмотрение усилий по оценке и планированию. Категории работ и связанных с ними рассмотрений АЛАРА, предложенные для АЭС Национальным советом радиационной защиты и измерений, изложены в примере, приведенном в таблице III [11]. Контрольное значение будет, по-видимому, различным для каждого типа установки.

Отбор работ, требующих дальнейшего детального анализа, может также проводиться посредством сравнения с результатами, ранее полученными для того же типа работ (на данной установке или на других сравнимых установках), которое может выявить возможность получения лучших характеристик. В этом случае оказываются значимыми не только тенденции коллективных доз, но также и эволюция основных параметров, вносящих вклад в облучение (т.е. мощностей дозы, продолжительности

ТАБЛИЦА III. ПРИМЕР 5: КРИТЕРИИ КОЛЛЕКТИВНОЙ ДОЗЫ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ

Категория	Оценка дозы	Рассмотрение
1	<10 чел.·мЗв	Проводится техником по радиационной защите и в качестве части подготовки к получению разрешения на проведение радиационных работ
2	10–50 чел.·мЗв	Проводится техником по радиационной защите и инспектором по радиационной защите
3	50–500 чел.·мЗв	Проводится инспектором по радиационной защите и инженером, несущим ответственность за планирование АЛАРА Оценка дозы и планируемые методы снижения дозы должны документироваться в подготавливаемом перед выполнением работы докладе руководству
4	>500 чел.·мЗв	В дополнение к вышеизложенному рассмотрение, проводимое руководством станции или комитетом АЛАРА

выполнения работы и количества работников). Анализ тенденций коллективных доз, связанных с повторяющимися работами (например, обычными ежегодными работами по техническому обслуживанию) или с аналогичными работами, выполняемыми в разных местах, должен дополняться анализом мощности амбиентной дозы, а также рабочей нагрузки, связанной с облучением (суммарного количества времени, проведенного всей группой в рабочей зоне и измеренного в виде количества человеко-часов), в целях определения возможных изменений радиологических или технических условий при переходе от одной работы к другой (см. пример в разделе 3.2.1.1). Анализ такого типа может показать, что увеличение коллективной дозы связано не с плохим выполнением работы, а с увеличением мощности амбиентной дозы (и подобным же образом снижение коллективной дозы, вызванное только снижением мощности амбиентной дозы, может быть скомпенсировано увеличением числа облучаемых работников или продолжительностью их облучения).

### 3.2.1.1. Пример 6: Анализ аналогичных работ, последовательно выполняемых на разных рабочих местах

В данном примере представлен тип анализа, который может быть проведен для изучения тенденций доз для работы, выполняемой несколько раз одной и той же группой (т.е. одинаковым количеством работников), но на различных рабочих местах. Первый этап оценки обычно состоит из анализа тенденции коллективной дозы. В данном примере (см. таблицу VI) очевидно, что коллективная доза для данной работы постепенно снижается, что, по-видимому, свидетельствует о лучшем выполнении работы и о повышении эффективности работы.

Однако поскольку работа выполнялась на различных рабочих местах, то для правильной интерпретации тенденции дозы (таблица V) необходимо проанализировать мощности амбиентной дозы, а также рабочую нагрузку, сопровождающуюся облучением. В таблице V показано, что, хотя коллективная доза для работы снижается, время, необходимое для выполнения этой работы, растет. Снижение коллективной дозы связано со снижением только лишь мощности амбиентной дозы. С точки зрения

ТАБЛИЦА IV. ТЕНДЕНЦИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ДОЗЫ

	Последовательность работ				
	1	2	3	4	5
Коллективная доза (чел.ЧмЗв)	36	30	24	17	15

ТАБЛИЦА V. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ТЕНДЕНЦИИ ДОЗЫ

	Последовательность работ				
	1	2	3	4	5
Коллективная доза (чел.ЧмЗв)	36	30	24	17	15
Мощность амбиентной дозы (мЗв/час)	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1
Рабочая нагрузка, сопровождаемая облучением (человеко-часов)	90	100	80	85	150



оптимизации защиты такой результат должен потребовать более детального анализа того, каким образом проводится работа, с тем чтобы выявить возможные недостатки или технические проблемы, которые увеличивают рабочую нагрузку, сопровождаемую облучением.

### **3.2.2. Анализ ситуаций облучения для конкретных работ в контексте проведения детального исследования по оптимизации радиационной защиты**

Подробный анализ является необходимым этапом для выполнения исследований по оптимизации радиационной защиты (см. рис. 2). Обычно он проводится не только для работ, выявленных в результате глобальных оценок облучения, но также и для всех основных новых работ. Более того, периодический анализ следует проводить для всех связанных с радиацией работ на соответствующей установке, с тем чтобы определить, что может быть сделано для снижения уровней доз (даже если уровни доз облучения персонала, связанные с этими работами, представляются удовлетворительными).

Цель этого анализа заключается в выявлении возможных факторов, которые вносят вклад в уровень доз и могут быть улучшены или изменены. Он должен основываться на точном описании с радиологической, технической и экологической (что эквивалентно описанию зоны) точки зрения всех заданий, выполняемых в рамках работы. Это означает, что необходимо получить подробную информацию о времени облучения, количестве участвующих работников, мощностях амбиентной дозы в зонах проведения работ, использовании защитной одежды, процедурах и инструменте и о конфигурации рабочих зон (включая эргономические критерии, возможное расположение биологической защиты, строительных лесов, материалы и инструменты). Необходимо, чтобы в сборе данных и анализе работ участвовали различные группы работников, взаимодействующих при подготовке и выполнении этих работ и непосредственно участвующих в определении средств снижения облучения.

## **3.3. КАК ПОЛУЧАТЬ ДАННЫЕ**

### **3.3.1. Уровень установки и национальный уровень**

На внутреннем уровне установки одним из важных средств обеспечения эффективной оценки ситуаций облучения является создание



РИС. 2. Анализ работ

комплексной информационной системы, позволяющей осуществлять сбор, анализ и хранение данных. Как отмечено выше, эти данные не ограничиваются лишь дозиметрической информацией, а связаны также - наряду с прочими факторами – с выполнением работ и с превалирующими рабочими условиями.

Сбор данных может проводиться непосредственно до, во время или после проведения работ. В некоторых случаях наиболее эффективным способом получения данных является использование систематически подготавливаемых регистрационных документов, подготавливаемых как в ходе работы, так и по ее окончании либо сотрудниками по радиационной защите, либо мастером, производящим работы. Эти регистрационные записи не должны быть сложными: во многих случаях могут оказаться достаточными простые регистрационные карточки. При сборе данных в отношении повторяющихся работ для обеспечения точности анализа важен согласованный подход к последовательному выполнению операций сбора данных. В сложных ситуациях облучения (т.е. таких, которые связаны с несколькими источниками или несколькими типами выполняемой работы) для сбора информации могут оказаться полезными системы сбора данных на базе компьютеров, наиболее легко сопрягаемые с электронной системой оперативной дозиметрии.

В некоторых случаях, как, например, на стадии проектирования установки или для новой работы, или в тех случаях, когда не имеется информации, может оказаться необходимым использовать специальное программное обеспечение для облегчения выполнения следующих операций:

- оценок мощности дозы и их возможной эволюции во времени;
- моделирования планируемых работ в соответствующих условиях окружающей среды;
- объединения данных по всем запланированным работам (по мощности амбиентной дозы, продолжительности времени облучения и количеству облученных работников) на соответствующей установке в целях получения более общих показателей.

Для оценок полезны также периодические внутренние рассмотрения или проверки, в частности проверки в целях оценки информированности работников и других типов человеческих или организационных факторов, ведущих к неудовлетворительному выполнению работ. Для получения более объективной оценки может также оказаться целесообразным направление запроса о проведении внешней оценки, которая может быть выполнена, например, посредством поочередных независимых автори-

тетных рассмотрений, в рамках которых две установки принимают участие в оценках друг друга.

В тех случаях, когда отсутствует связанная с работой информация, позволяющая выявить образцовую практику или определить области, которым необходимо уделить внимание, зачастую может оказать помощь использование национальных баз данных (см. пример в разделе 3.3.1.1.).

#### *3.3.1.1. Пример 7: Информационная система МАГАТЭ по регулирующим компетентным органам*

В поддержку регулирующих компетентных органов в государствах - членах МАГАТЭ Агентством разработана информационная система по регулирующим компетентным органам (РАИС), которая вводится приблизительно в 70 странах, получающих помощь МАГАТЭ. Система РАИС состоит из пяти модулей, один из которых охватывает индивидуальный дозиметрический контроль. Этот модуль позволяет регулирующему компетентному органу получать необходимую информацию об облучении персонала для осуществления этим органом мониторинга безопасной эксплуатации. РАИС обеспечивает также проведение сравнений с контрольными уровнями, такими, как уровни расследования, и с граничными дозами и пределами дозы и выдает сообщения о дозах, превышающих контрольные уровни.

#### **3.3.2. Международный уровень**

Для некоторых типов ситуаций облучения существуют международные базы данных, в которых дозиметрическая информация сгруппирована по типам радиационных работ, выполненных на различных установках.

Международные данные, относящиеся ко всем типам работ, могут быть получены из периодически публикуемых докладов НКДАР ООН по источникам и действию ионизирующего излучения [21]. В этих докладах содержатся подробные сведения об облучении персонала в различных секторах промышленности и облучения от различных типов источников в разных странах. Основными группами профессиональных категорий, используемых в этих докладах, являются ядерный топливный цикл, медицинские применения излучения, промышленное использование излучения, естественные источники излучения и деятельность, связанная с обороной. В рамках каждой группы проводится различие между

основными типами практической деятельности. Собранные по этим практическим видам деятельности данные касаются для каждой приславшей страны количества охваченных мониторингом работников, суммарной годовой коллективной эффективной дозы, средней годовой индивидуальной дозы и распределения количеств работников и суммарной коллективной дозы по диапазонам индивидуальных доз. Для атомных электростанций разработана более специфическая система (см. пример в разделе 3.3.2.1.).

#### *3.3.2.1. Пример 8: Информационная система по профессиональному облучению*

В области профессионального облучения на атомных электростанциях с 1992 года работает международная программа, называемая Информационной системой по профессиональному облучению (ИСПО). Эта программа была организована АЯЭ/ОЭСР в целях содействия обмену опытом управления профессиональным облучением между энергокомпаниями и регулируемыми компетентными органами во всем мире. С 1993 года ее организатором является также МАГАТЭ, что позволило принимать в ней участие государствам-членам, не входящим в АЯЭ/ОЭСР, а в 1997 году эти два агентства создали совместный секретариат ИСПО.

Программа ИСПО включает управление международной базой данных по профессиональному облучению и сеть, позволяющую участникам получать информацию или осуществлять обмен информацией всех типов, связанной с радиационной защитой на атомных электростанциях. В конце 2000 года в базу данных ИСПО были включены данные, охватывающие 92% общего числа коммерческих ядерных реакторов, эксплуатируемых во всем мире.

ИСПО позволяет энергокомпаниям каждого члена иметь базу данных, содержащую подробную информацию об индивидуальных и коллективных дозах, связанных с основными видами деятельности, осуществляемой в периоды простоев в связи с перегрузкой топлива и вне их, описание специфических конструктивных особенностей различных типов реакторов и позволяет получать сведения об опыте выполнения некоторых специфических работ, проведенных определенными энергокомпаниями. В ежегодном докладе содержатся анализ данных и краткое изложение основных событий в участвующих странах, которые могли повлиять на тенденции в области профессионального облучения [20].

## **4. СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ**

### **4.1. ВВЕДЕНИЕ**

После завершения оценки может выясниться, что существует необходимость снижения доз и что существует средство, используя которое, можно добиться этого снижения. Существуют самые различные методы снижения доз – от простых организационных корректирующих мер до изменения конструкции соответствующей установки.

Возможные пути снижения облучения представляются в качестве одиночных факторов (средств) и могут применяться в качестве одиночных факторов. Однако во многих ситуациях, по-видимому, более эффективным является сочетание этих факторов (средств). Изложение в настоящем разделе начинается с основных и важнейших средств и далее переходит к более техническим элементам.

Не все эти средства обязательно применимы ко всем ситуациям. Существуют многочисленные варианты их использования по отдельности или в сочетании. Использование сочетания этих средств и их относительный порядок следует определить в плане АЛАРА, который обсуждается ниже. Решение о том, какое средство применимо и должно быть принято, должно предшествовать разработке плана действий и обсуждается в следующем разделе. Контрольные перечни являются полезными инструментами для выполнения требований оптимизационной программы, и они применяются разнообразным образом. Наряду с прочим они могут использоваться в качестве повестки дня для совещаний по планированию работ или по рассмотрению проведенных работ или же могут рассылаться работникам в целях активизации процесса информационной обратной связи. Существуют различные типы контрольных перечней; используемый тип будет, вероятно, зависеть от типа и размеров соответствующей установки (см. примеры в Приложении II).

### **4.2. ГЛОБАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ**

#### **4.2.1. Планирование и составление графиков работ**

Эффективное управление работами необходимо для оптимизации и снижения облучения. Работой необходимо управлять и ее следует планировать с точки зрения выполнения конкретного задания, а также с

учетом ее связи со всеми другими выполненными заданиями в соответствии с общей целью и графиком. Решения о том, когда предполагается выполнять конкретные задания, вызывают необходимость учета радиологических условий, преобладающих в конкретно заданное время. Может существовать лучшее время для выполнения определенной работы с учетом радиологических условий и без изменения графика завершения работы (см. пример в разделе 4.2.1.1.). Полезно начать с того, чтобы, используя шаблон базового плана и графика работ, рассмотреть этот план, изыскивая возможности корректировки конкретного времени, на которое запланировано выполнение задания. Предотвращенную дозу следует сбалансировать с продолжительностью и стоимостью работы при учете любых последствий, которые могут иметь любые изменения для плана оптимизации радиационной защиты.

Управление ресурсами следует рассматривать в качестве части управления работами при оптимизации радиационной защиты. Большинство исследований показало, что увеличение числа работников, выполняющих конкретную работу, с целью снижения индивидуального облучения работников иногда приводит к увеличению общей продолжительности выполнения работы и тем самым к увеличению коллективных доз по сравнению со случаем, когда работа выполняется компактной высококвалифицированной группой. Этот аспект управления работой необходимо тщательно рассмотреть и проанализировать, с тем чтобы обеспечить наиболее низкий возможный уровень доз. Исследования затрат времени и перемещений и подготовка на макетах могут оказать помощь в определении надлежащего управления работами, позволяя точно определить рабочую нагрузку, необходимую для выполнения каждого этапа работы, и правильное количество работников. Эти вопросы обсуждены в разделе 4.3.5.

#### *4.2.1.1. Пример 9: График работ в соответствии с эволюцией мощностей доз*

При первоначальной остановке атомных электростанций мощности доз вблизи трубопроводов и компонентов системы охлаждения остановленного реактора значительно возрастают. Поэтому проведение работ с этими системами следует планировать на период до остановки или заведомо после остановки, с тем чтобы обеспечить возможность очистки с помощью ионообменных смол и фильтрации, а также благодаря радиоактивному распаду.

## 4.2.2. Общее обучение работников

Квалифицированная рабочая сила является фундаментальным элементом любой программы оптимизации защиты и контроля облучения. Базовая радиологическая подготовка является требованием для получения первоначального доступа в любую зону облучения и для выполнения работ в этих зонах. Обучение при оптимизации охватывает как минимум основные аспекты, касающиеся времени, расстояния и защиты, а также то, каким образом эти основные элементы связаны с оптимизацией защиты (см. пример в разделе 4.2.2.1.). Общим требованием является проведение переподготовки через предписанные интервалы. Переподготовка обычно включает обновление знаний в области первоначальной базовой подготовки работников и рассмотрение новых регулирующих положений, руководящих документов и протоколов работ, имеющих отношение к концепции оптимизации.

Однако базовое понимание радиационной защиты – это только первый этап. Необходимо, чтобы работники также обладали хорошим рабочим знанием обстановки, в которой они работают. Необходимо, чтобы они понимали основные практические методы и принципы радиологической работы, которые нужно использовать в конкретных радиологических условиях работы (таких, как зоны облучения, зоны высокого облучения, зоны загрязнения и зоны аэрозольной радиоактивности). Необходимо, чтобы они также прошли подготовку по практическим вопросам, таким, как одевание и снятие защитной одежды, ношение колпаков и перчаток и т.д. Еще одним необходимым условием является знание физической окружающей обстановки. Например, работники должны детально знать точки входа и выхода, с тем чтобы сводилось к минимуму время, проводимое в зонах облучения, и тем самым снижалось облучение. Столь же важна информированность об общих мощностях дозы в соответствующей зоне, а также о горячих пятнах и зонах ожидания, характеризующихся низкими дозами. Это дополнительно объясняется в разделе 4.2.3.

### 4.2.2.1. Пример 10: Компьютерная учебная программа - РАДИОР

В целях разъяснения оптимизации радиационной защиты была разработана компьютерная учебная программа РАДИОР. В нее входят модули по ионизирующему излучению, управлению радиологическими рисками и применению принципа оптимизации и тест приобретенных знаний. Хотя большая часть ее содержания общеприменима, практический пример применения принципа оптимизации взят из ядерной



промышленности. Программа РАДИОР разрабатывалась при поддержке МАГАТЭ и Генерального директората по окружающей среде Европейской комиссии. Программу РАДИОР можно получить на дискете от МАГАТЭ на английском, французском, немецком, русском, испанском и шведском языках.

#### **4.2.3. Информированность и участие работников**

Работники, выполняющие задания в зонах облучения, могут сами в значительной степени влиять на получаемое ими облучение. Поэтому информированность работников должна играть важную роль в деле снижения доз (см. пример в разделе 4.2.3.1.). Это влияние на получаемое работниками облучение начинается с этапа планирования работы, подлежащей выполнению.

Прямое участие на этапе планирования дает работникам возможность применить к разработке плана накопленный опыт и извлеченные ими уроки. Это позволяет отдельным работникам лучше узнать потенциальные риски и развить заинтересованность в плане. Знание как глобальных, так и связанных с конкретными работами планов АЛАРА включает ознакомление с целями как в отношении годового облучения, так и в отношении облучения при выполнении конкретных задач. Это улучшает отношение и внимание к деталям, проявляемые отдельным работником при выполнении его или ее работы, и ведет к снижению облучения.

Дополнительного снижения облучения можно добиться благодаря участию работников в оценке, проводимой в ходе выполнения работы в рассмотрении после выполнения работы и в процессе обратной связи. С помощью этих процессов от работников может быть получено большое количество ценной информации. Форум для процесса обратной связи и рассмотрения должен представлять собой открытое обсуждение. Работники должны быть уверены в том, что их вклад ценится и может принести пользу процессу оптимизации.

Информированность работников можно улучшать и другими путями. В рабочих зонах вокруг установок можно расставить легко читаемые знаки, постоянно напоминающие работникам о потенциальной опасности и необходимости сводить к минимуму облучение. Такие знаки могут иметь, например, надписи “Зона ожидания, низкие дозы”; “В этой зоне не задерживаться” и другие предупредительные надписи, связанные с потенциальной опасностью при обращении с радиоактивным материалом. Информационные знаки, подобные указанным, наиболее эффективны в том случае, если они выделяются по размеру и цвету, узнаваемо отличаются от других информационных знаков и конкретно

узнаваемы в качестве имеющих отношение к оптимизации защиты. Эффективным средством информирования работников о превалирующих радиологических условиях является также использование электронных дозиметров с легко читаемыми дисплеями, отображающими информацию о текущих уровнях накопленной дозы и уровнях излучения. Еще одним средством улучшения информированности является вывешивание результатов радиологических обследований при входе в помещения, в которых существует радиологическая опасность какого-либо типа.

Работников следует также проинформировать о том, что доступ в зоны с высокими мощностями дозы обычно определенным образом контролируется либо посредством использования замков, либо с помощью требования о том, чтобы работников, входящих в зону высокой мощности дозы, сопровождало назначенное лицо. Помимо реальных процедур, необходимо объяснять причины введения контроля доступа, с тем чтобы работники не пытались обойти меры защиты, не зная об их причинах.

Дополнительной мерой, улучшающей информированность работников, является правильное маркирование радиоактивного материала. Хотя регулирующие положения могут содержать требования о том, чтобы имелись определенные типы этикеток, содержащих минимум информации, непосредственно связанной с существующими радиологическими условиями, дополнительная информация, такая, как инструкции по обращению или подробные сведения о необходимых инструментах для обращения, еще более повышают информированность работников. Надписи на всех этикетках и знаках должны быть на языке (языках), наиболее знакомом (знакомых) работникам, которым они адресованы.

#### *4.2.3.1. Пример 11: Передвижные промышленные радиографические установки*

Было проведено обследование 700 техников-радиографов, работающих с передвижным промышленным оборудованием для радиографии. Как оказалось, около 240 из их числа получали годовые дозы, превышающие 5 мЗв. Подробное изучение выявило следующие причины, по которым техники-радиографы получали большие дозы, чем это было необходимо:

- трудные рабочие условия,
- несоблюдение эксплуатационных процедур, установленных в соответствии с регулирующими положениями по радиационной защите,
- использование старого оборудования.

Было определено, что одной из наиболее эффективных мер по снижению доз является обучение и повышение информированности работников, что было сделано с участием как регулирующего компетентного органа, так и компаний, в которых работали техники-радиографы.

#### **4.2.4. Связь**

Связь является важнейшей частью любых усилий, направленных на снижение облучения. Необходима регулярная связь между всеми уровнями административного руководства, оперативных руководителей и рабочей силой. Необходимо рекомендовать рабочим поддерживать с административным руководством связь либо непосредственно, либо с помощью некоего официального процесса. Он в значительной степени является составным элементом процесса обратной связи, который дополнительно рассматривается в разделе 5.3. Столь же необходимо участие работников в разработке вариантов снижения доз и в рассмотрении практических вопросов, связанных с их принятием.

##### *4.2.4.1. Пример 12: Улучшение связи посредством использования ящичков для предложений*

Необходимо, чтобы любой работник на установке имел возможность сообщить свои идеи, информацию об извлеченных уроках и об образцовой практике. Одним из важных методов является использование простого бланка для предложений. Бланк для предложений и ящички для предложений могут находиться в ряде мест на установке. Представляемая на бланке информация должна включать проблему (например, некоторая причина, вызывающая большее, чем необходимо, облучение), любые предложения по ее решению и фамилию работника, заполнившего бланк (по желанию). Лицо, на которое возложена ответственность за реагирование на возникающие проблемы, должно оценить проблему и любые предложенные решения. Независимо от того, будут ли приняты меры по любому конкретному предложению, лицам, представившим заполненные бланки, следует направлять письменный ответ, в котором разъясняются результаты его оценки.

### 4.3. СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ РАБОТ

#### 4.3.1. Проектирование установок и оборудования

Наиболее эффективным глобальным средством снижения облучения является обеспечение такого первоначального проектирования установки, при котором полностью учитываются требования оптимизации защиты. На некоторых современных установках при этом даже обеспечивается исключение облучения вследствие поступления радионуклидов в организм, что достигается благодаря использованию защитной оболочки и дистанционной манипуляции или же, в случае радиотерапевтического кабинета, исключение внешнего облучения благодаря использованию дистанционного управления и биологической защиты. Приведенные примеры являются крайними, однако важность уделения внимания защите на этапе проектирования невозможно переоценить. По этой причине те лица, которые принимают участие в проектировании установок, должны быть полностью осведомлены о последствиях требования об оптимизации.

Еще одним основным средством снижения облучения работников является высококачественное проектирование оборудования. Необходимо, чтобы при проектировании оборудования полностью учитывалось облучение работников, которые будут его использовать, и должна существовать всесторонняя система обеспечения качества, гарантирующая соблюдение соответствующих требований при производстве, эксплуатации, техническом обслуживании и модификации источников и оборудования. Необходимо, чтобы проект и сооружаемая установка полностью учитывали возможности человека.

Модификации конструкции могут явиться эффективным постоянным средством снижения облучения. В качестве примера можно указать установку постоянной биологической защиты в тех зонах, в которых часто используется временная биологическая защита (см. пример в разделе 4.3.1.1.). Другие типы модификации конструкции могут улучшить многие аспекты условий, в которых действуют работники, улучшая доступ, повышая эффективность и позволяя более быстро выполнять работу. Повышение эффективности приводит к повышению безопасности и снижению облучения. Хотя зачастую существует тенденция к тому, чтобы отказываться от модификаций проекта ввиду их стоимости, они эффективно снижают облучение на установках, уже находящихся в эксплуатации. Модификации конструкции, включающие оптимизацию защиты наряду с

совершенствованием техники безопасности и увеличением производства, могут привести к сокращению расходов и снижению облучения. Это важный элемент оптимизации, поскольку он касается не только одной программы и может привести к улучшениям в целом ряде программ.

Модификации конструкции обычно включаются в долгосрочный компонент плана АЛАРА в связи с временем освоения, необходимым для проведения необходимой технической проработки и финансирования. Поэтому данные вопросы вначале подвергают оценке просто в целях определения того, может ли быть снижено облучение. Впоследствии модификация можно полностью оценить с точки зрения снижения облучения, осуществимости и затрат.

#### *4.3.1.1. Пример 13: Факторы для оценки при принятии решений относительно необходимости установки постоянной защиты*

Может оказаться, что, как следствие первоначального проекта установки, может зачастую требоваться использование временных строительных лесов (например, для проведения работ по техническому обслуживанию на таких компонентах, как парогенераторы). Оценки необходимости установки постоянных платформ вместо временных строительных лесов сразу же показывают снижение доз, поскольку строительные леса не нужно монтировать при каждом цикле перегрузки топлива. Дозы, получаемые при монтаже платформ, получаются только один раз. Постоянные платформы имеют и другие преимущества: они в принципе более безопасны и поэтому представляют меньший риск с точки зрения техники безопасности. Работники могут выполнять свои рабочие задания более эффективно без использования громоздких страховочных устройств, необходимых при работе на временных строительных лесах. Поэтому оценка в том виде, как она представляется руководству, могла бы выявить следующее:

- уменьшение затрат на рабочую силу ввиду отсутствия необходимости сооружения и демонтажа временных строительных лесов,
- уменьшение затрат на рабочую силу в результате повышения эффективности выполнения работ (меньшее время означает меньшие затраты),
- улучшение техники безопасности и повышение доверия к технике безопасности со стороны рабочих,
- снижение радиационного облучения по сравнению с необходимостью сооружения и демонтажа временных строительных лесов,

— дальнейшее снижение радиационного облучения ввиду повышения эффективности выполнения работ.

#### **4.3.2. Сокращение времени, проводимого в зонах облучения**

Уменьшение количества времени, проводимого в зоне облучения, всегда приводит к снижению облучения (см. пример в разделе 4.3.2.1.), однако это время необходимо сокращать без снижения качества желаемого результата. Выигрыш за счет снижения облучения теряется, если работу приходится выполнять вновь. Планирование является необходимо важным элементом сокращения времени, затрачиваемого в зонах облучения. Высококачественное планирование заданий может различным образом приводить к сокращению времени, затрачиваемого в зонах облучения.

Обеспечение наличия на месте проведения работ всего необходимого инструмента, материалов и другого оборудования приводит к уменьшению задержек. Обеспечение надлежащего ремонта и рабочего состояния приборов приведет к снижению вероятности того, что будет необходимо повторить выполненную работу и испытания. Основное соображение заключается в том, чтобы иметь надлежащую инструментальную оснастку для конкретно выполняемого задания. При выполнении некоторых заданий может потребоваться специально сконструированная инструментальная оснастка, которая может быть изготовлена на установке, где выполняется работа. Это особенно эффективно, поскольку в большинстве случаев именно тот работник, который разрабатывает и изготавливает эту инструментальную оснастку, будет выполнять работу. Тем самым будут повышены информированность работника и его знания как в отношении самой работы, так и в отношении соображений, учитываемых при оптимизации.

Использование рабочей силы, знакомой с требованиями работы, может также привести к уменьшению числа человеко-часов, проведенных в зоне облучения. Ознакомление с требованиями работы можно проводить посредством выполнения учебных заданий или отработки операций на макетах (см. раздел 4.3.5.). Кроме того, сокращению времени будет способствовать использование работников, ранее выполнявших подобную работу. Однако в этом случае существует потенциальная возможность несбалансированности доз между работниками. Наличие нескольких работников, знакомых с одной и той же работой, представляет гораздо большую ценность, чем наличие единственного эксперта. Это будет способствовать также сокращению времени в тех случаях, когда возникает необходимость выполнения сложных заданий, требующих участия более чем одного или двух работников.

Рабочая среда и все различные формы защитного оборудования и одежды могут также повлиять на количество времени, необходимого для выполнения конкретного задания (т.е. на эффективность работника). Планирование работ включает оценку продолжительности работы и связанные с этим дозы для случаев наличия и отсутствия защитной одежды, защитного оборудования (такого, как дыхательного защитного оборудования) и технических мер контроля (таких, как портативные средства вентиляции для снижения температуры окружающей среды). Необходимо учитывать оцененные дозы, связанные с наладкой любого портативного оборудования, а также дозы, которые рабочие, как ожидается, получают при выполнении задания. В целом оказывается, что использование защитной одежды увеличивает время, необходимое для выполнения работы, и тем самым дозу, связанную с внешним облучением. Однако в этом случае снижается внутреннее облучение или вероятность внутреннего облучения, для которых оценки доз оказываются менее надежными. Итог оптимизации включает надлежащий выбор защитной одежды с учетом всех изложенных соображений.

#### *4.3.2.1. Пример 14: Факторы, увеличивающие время облучения*

Неудовлетворительные рабочие условия могут значительно увеличивать время, проводимое работниками в зонах облучения. В исследовании, посвященном количественному определению влияния, оказываемому на время облучения определенными рабочими условиями, связанными с работами по техническому обслуживанию на атомных электростанциях, было показано, например, что недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенная шумность в зонах без использования средств звуковой связи между работниками или стесненные условия могут увеличивать продолжительность облучения на величину до 20% по сравнению со временем, требуемым для выполнения работы при надлежащем освещении или в незагроможденной зоне. Анализ операций по регулярному техническому обслуживанию или операций, проводимых после инцидентов на атомных электростанциях, показал, что недостатки или неудовлетворительные рабочие условия могут приводить к увеличению времени облучения, связанному с этими операциями, в среднем на 20%–30%. Основными причинами выявленных недостатков являются неудовлетворительная подготовка работ (например, строительные леса не подходят для имеющихся условий работ, проблемы с составлением графика), неправильно выбранные или неправильно функционирующие инструменты и отсутствие подготовки.

На время и качество выполнения работы может сильно влиять использование защитной одежды и оборудования. Проведенное на макетах исследование показало, что влияние ношения защитной одежды на время выполнения работы зависит от того, какого типа защитный костюм используется, и может быть различным в зависимости от типа выполняемой работы. Например, в случае прецизионной работы, выполняемой в загроможденной зоне, использование резинового комбинезона с подачей воздуха в колпак может приводить к увеличению рабочего времени на величину до 30% по сравнению со временем, затрачиваемым на выполнение той же самой работы в хлопчатобумажном комбинезоне. При выполнении той же работы с использованием резинового комбинезона и маски на все лицо с подачей воздуха, которая обеспечивает такой же уровень защиты от внутреннего загрязнения, но гораздо более неудобна в обращении, необходимое для выполнения работы время может увеличиваться на величину до 65%. Этот пример показывает, что при выборе защитной одежды необходимо принимать во внимание эргономические факторы, связанные с заданиями, подлежащими выполнению (например, уровень усилий, необходимость прецизионной работы или продолжительность выполнения задания). Использование защитной одежды и рабочие процедуры следует также учитывать при проектировании используемой инструментальной оснастки.

### **4.3.3. Уменьшение необходимого числа работников**

Численность персонала, занятого выполнением работы, можно оптимизировать, исключая необходимость в использовании излишнего персонала и используя лишь минимальное число работников, необходимых для выполнения данного задания. Что касается сокращения времени, то это надо делать без снижения качества желаемого результата и без создания угрозы безопасности персонала. Излишний персонал может быть определен как такой персонал, который не выполняет какую-либо определенную задачу. Персонал, ведущий наблюдение или выполняющий задания, которые не требуют обязательного физического контакта или непосредственной близости с соответствующим компонентом или зоной, в которой проводятся работы, может быть удален из собственно зоны облучения в зону пониженного уровня радиации. Таких работников можно приглашать для быстрого выполнения их задания и затем возвращать в зону более низкого уровня радиации. Использование дистанционной видео, аудио и дозиметрической телеметрии, если оно возможно, может исключить необходимость в использовании работников, выполняющих задачи по наблюдению. Может



помочь также планирование работ, например, их организация таким образом, чтобы работник выполнял более чем одно задание, находясь в зоне или будучи одетым в соответствующую защитную одежду.

#### **4.3.4. Снижение мощностей доз**

Методы снижения мощностей доз различаются в зависимости от применения и условий окружающей среды на соответствующей установке. Установки с системами трубопроводов, содержащих радиоактивные жидкости, могут характеризоваться мощностями дозы, изменяющимися в зависимости от условий в системе, что может приводить к высоким мощностям доз в зонах вблизи системы трубопроводов в целом, к высоким мощностям доз в конкретных местах (горячим пятнам) или наличию обеих указанных особенностей. Эти высокие мощности доз могут контролироваться и сводиться к минимуму и, возможно, к нулю с использованием таких методов, как применение мер контроля в отношении водно-химического режима систем, фильтрации, ионообменных смол и промывки.

Другими методами, обеспечивающими значительное снижение мощностей доз в условиях, имеющихся на реакторах, являются такие методы, как улучшение водно-химического режима, модификация процедур останова и использование инжектирования цинка. В медицинской области изменения процедур, такие, как переход от прямой брахитерапии к брахитерапии с последующей загрузкой, могут привести к значительному снижению мощностей доз, получаемых работниками. Эти методы в большей степени связаны с эксплуатацией установки в целом, однако они служат цели иллюстрации важности участия старшего руководства в процессе оптимизации.

Если помещение, зона или компонент сильно загрязнены, то это загрязнение может вносить вклад в мощности дозы в локальной или общей зоне и привести к получению работниками более высоких доз. Дезактивация соответствующего компонента или зоны может обеспечить снижение мощностей доз. Для того чтобы обеспечить оптимизацию, полученные в процессе дезактивации дозы должны компенсироваться предотвращенными дозами.

Временная защита может эффективно снижать уровни излучения в различных применениях. Все задания, связанные с высокими уровнями доз, необходимо оценивать с точки зрения эффективности установки временной защиты. Следует проводить оценку в целях изучения целесообразности установки временной защиты с точки зрения снижения мощности дозы. Основа для этой оценки включает оцененные дозы,

которые работники получают при выполнении работы, с использованием защиты и без нее. Разность между этими оцененными дозами сравнивают с дозами, которые могут быть получены при установке и демонтаже временной защиты. Если снижение доз, которое предполагается достигнуть посредством установки защиты, не превышает доз, получаемых в процессе установки этой защиты, то защиту устанавливать не нужно. При такой оценке следует также принимать во внимание любые возможные предотвращенные дозы, которые в ином случае были бы получены в ходе выполнения другой работы вблизи защиты, которую предлагается установить.

Необходимо тщательно рассмотреть проектирование временной защиты, с тем чтобы в максимально возможной степени приспособить его к конфигурации рабочей зоны. В некоторых случаях может возникнуть необходимость проверки того, что установка защиты не уменьшает рабочее пространство таким образом, что это может привести к значительному увеличению продолжительности последующей выполняемой работы и тем самым к увеличению периода облучения работников.

Помимо работ, с которыми связаны потенциально высокие дозы, следует также провести оценку целесообразности использования временной защиты в тех зонах, которые характеризуются пониженными уровнями излучения, но частым доступом. Примерами таких зон являются проходы и другие зоны общего доступа, в которых собираются или через которые проходят работники. В некоторых случаях, несмотря на то, что установка временной защиты, по-видимому, принесет положительные результаты, может не иметься возможности количественно определить предотвращенные дозы. Защиту следует устанавливать как можно ближе к источнику. Чем ближе защита к источнику, тем более эффективной она окажется при снижении мощностей доз. При этом будет также сводиться к минимуму эффективность необходимой защиты.

Использование индивидуального защитного оборудования является средством снижения доз, которое может быть рассмотрено в тех случаях, когда другие меры контроля не могут обеспечить разумного снижения доз. Необходимо принимать во внимание снижение эффективности, как отмечено в разделе 4.3.3. Может иметь место заведомо незначительное снижение эффективности, например при использовании свинцовых фартуков в диагностической и интервенционной радиологии.

Ориентация тела работника относительно места нахождения и ориентации источника излучения может приводить к повышенным мощностям дозы для работника по сравнению с теми, которые необходимо связаны с выполнением работы. Необходимо, чтобы

работник знал о происхождении и (если это возможно) направленности излучения. При условии, что радиационное поле является неоднородным, работнику или работнице необходимо располагаться таким образом, чтобы наиболее облучаемые чувствительные органы находились в зонах с наименьшими мощностями дозы, что обеспечивает снижение доз. Это, в частности, относится к обращению с медицинскими источниками и к применениям рентгенографии.

Инструменты с длинными рукоятками и с дистанционным управлением также помогают эффективно снизить получаемую работником дозу (см. пример в разделе 4.3.4.1.). Основная мера, заключающаяся в увеличении расстояния до источника излучения, может также обеспечить значительное снижение доз.

#### *4.3.4.1. Пример 15: Инструмент с длинными рукоятками*

К инструменту с длинными рукоятками относятся багры для извлечения высокорadioактивных фильтров из корпуса фильтра и помещения их в экранированный контейнер, а также шесты с захватными устройствами для манипуляции с высокорadioактивными устройствами под водой. Используемые при работе под водой шесты должны быть перфорированными, с тем чтобы сквозь них могла проходить вода, что будет предотвращать поступление излучения вдоль шеста к работнику, работающему с инструментом.

#### **4.3.5. Специализированная подготовка**

В дополнение к общей подготовке специализированная подготовка может также помочь снижению облучения в рамках процесса оптимизации. Специализированная подготовка может проводиться различным образом. Она может проводиться в качестве второго этапа базовой подготовки, когда обеспечивается более подробная подготовка и тем самым возможность выполнения работниками более широких обязанностей. Специализированная подготовка может также включать такие предметы, как манипуляции с радиографическими источниками и медицинскими диагностическими источниками и контроль за ними. Специализированная подготовка соизмеряется с рисками, которым подвергаются работники, и ее следует проводить перед выполнением какой-либо работы, в ходе которой возможно высокое облучение.

Подготовка и учебные мероприятия на макетах эффективны в том отношении, что они позволяют работникам отрабатывать выполнение заданий, не подвергаясь соответствующему риску. Работники могут

выполнять пробные или учебные операции в целях выявления каких-либо проблем. Это поможет также выявлению каких-либо недостатков, связанных либо с навыками работника, либо с инструментами, которые могут быть использованы для выполнения задания. Таким образом, подобная тренировка может помочь сокращению времени, необходимого для выполнения задания, а также предотвращению возможных ошибок. При наиболее эффективной подготовке с использованием макетов воспроизводятся реальные условия, такие, как неудовлетворительное освещение, высокая температура или плохая вентиляция, характерные для выполняемой работы. Кроме того, работники должны иметь на себе всю защитную одежду и дыхательное оборудование, необходимые для выполнения задания.

Другими видами специализированной подготовки могут являться исследования времени и перемещений, необходимых для выполнения работы, что помогает выявлению каких-либо проблем, специфических для выполняемого задания. Сюда может также входить изучение ориентации положения тела работника в целях снижения дозы, получаемой всем телом.

## **5. ПОДГОТОВКА И ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПЛАНА АЛАРА**

Следующим шагом после оценки программы и определения всех мер, которые могут быть приняты в целях снижения облучения, является принятие решения о способе снижения облучения, который будет использоваться, и разработка плана осуществления. Некоторые меры окажутся очевидными и могут быть осуществлены в краткосрочном плане. Однако для других мер может потребоваться более долгосрочное планирование. В любом случае осуществление плана должно быть систематическим и устойчивым.

Диапазон принимаемых мер может быть широким, начиная с политических мер, принимаемых на высоком уровне в ядерно-энергетической компании с целью административного управления проведением крупных работ, и заканчивая конкретными мерами, такими, как установка временной защиты для выполнения конкретного задания. Во многих случаях, особенно в том, что касается мер, непосредственно связанных с человеческими факторами (например, мер по обеспечению связи, информированности, обучения), решение об осуществлении не представляет трудностей и должно являться составной частью

повседневного обычного управления программами радиационной защиты и оптимизации.

Вне зависимости от размера установки необходимо определить лицо или группу, ответственные за общую координацию усилий в рамках программы оптимизации. Это ответственное лицо или группа должны быть также наделены полномочиями и должны получать необходимую поддержку для выполнения обязанностей по осуществлению плана АЛАРА.

## 5.1. ГЛОБАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Перед обсуждением подробных планов и связанных с конкретными работами аспектов плана осуществления необходимо обсудить глобальные или общие аспекты плана оптимизации. В число элементов, являющихся общими для большинства базовых программ оптимизации, входят управление работами, обучение работников общим принципам радиационной защиты и оптимизации, улучшение информированности рабочей силы о процессе оптимизации и особенностях эффективного процесса связи.

Образцовое управление работами включает оценку радиологических условий, существующих в то время, на которое запланировано выполнение конкретного задания. Могут существовать возможности выполнения конкретных заданий в другое время, когда радиологические условия менее опасны. Общее обучение работников является основным элементом опыта радиационной работы, на котором могут строиться другие элементы подготовки и опыта.

Информированность работников о процессе оптимизации и о существовании в программе оптимизации эффективного процесса связи взаимно усиливает оба эти компонента. Мало вероятно, что один из них может существовать без другого. Эффективная связь и информированность работников обеспечиваются посредством открытого диалога в рамках всех уровней административного руководства и рабочей силы и между ними. Успешное осуществление плана АЛАРА также зависит от степени преданности работе всего персонала соответствующей установки.

Поддержка и участие старшего административного руководства чрезвычайно важны по ряду причин. Руководство должно быть информировано о потребностях и ходе осуществления различных видов деятельности по снижению облучения, с тем чтобы иметь возможность принимать информированные решения. Приверженность рабочих процессу оптимизации будет возрастать по мере роста приверженности

административного руководства. Более того, вовлечение административных руководителей в процесс оптимизации повысит их информированность в вопросах, которые трудно решать на более низких уровнях. Старших административных руководителей можно привлекать к участию с помощью ряда средств: либо в качестве участников комитета по надзору, либо в личном качестве в зависимости от масштабов соответствующей установки или в соответствии с требованиями ситуации (см. пример в разделе 5.1.1.).

В оптимизационный процесс необходимо вовлекать все соответствующие рабочие группы (получающие дозы профессионального облучения). Уровень участия конкретной рабочей группы должен быть соизмерим с уровнем дозы, получаемой этой группой. Следует также привлекать к участию те группы, которые могут повлиять на условия облучения. Распределение заданий и отчетность о выполнении плана на уровне основных заданий облегчат административное управление планом. Отдельным специалистам должны быть поставлены задачи в их соответствующих областях компетенции в связи с выполнением оптимизации. Ответственность и отчетность имеют критическое значение для этой части процесса. На регулярно проводимых последующих совещаниях следует докладывать о положении дел и ходе выполнения заданий в связи с вопросами и обязанностями в рамках подлежащих выполнению мер.

### **5.1.1. Пример 16: Создание конкретных управленческих структур АЛАРА**

На некоторых установках может оказаться целесообразным создание конкретных управленческих структур АЛАРА, способствующих координации и осуществлению мероприятий. Такими структурами могут быть:

- *Комитет АЛАРА*. Этот комитет несет ответственность за утверждение и рассмотрение плана АЛАРА. Он проводит периодические совещания с целью рассмотрения аспектов работы соответствующей установки, связанных с радиационной защитой, оценки предложений о снижении доз и выработки рекомендаций для старшего руководства. Выбор членов обычно производится таким образом, чтобы в комитете был отражен широкий диапазон технических знаний и была обеспечена представленность различных рабочих групп.

– *Координатор АЛАРА (или группа АЛАРА)*. Этот координатор (или группа) проверяет осуществление решений, принятых комитетом АЛАРА. Он или она является также назначенным должностным лицом, осуществляющим связь между рабочей силой и административным руководством при обсуждении вопросов радиационной защиты. Если создается группа, то она обычно состоит из инженеров, дозиметристов и техников и несет ответственность за выполнение подробного анализа работ, проводимых с применением принципа АЛАРА.

## 5.2. АНАЛИЗ И ВЫБОР ВАРИАНТОВ СНИЖЕНИЯ ДОЗ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ РАБОТ

### 5.2.1. Анализ вариантов

В тех случаях, когда решения относительно осуществления некоторых средств снижения облучения для конкретных работ не очевидны, необходимо более точно оценить требуемые меры с точки зрения эффективности снижения доз, относительных затрат и возможности осуществления в заданных временных рамках (краткосрочных или долгосрочных). Эту оценку нужно проводить особенно в тех случаях, когда для выполнения одной конкретной работы предусматривается несколько вариантов снижения дозы, с тем чтобы выбрать из них наиболее подходящие, или в тех случаях, когда предусматриваются различные сочетания вариантов снижения дозы, которые повлияют на группы работ.

Оценку эффективности вариантов следует рассматривать с точки зрения суммарной коллективной дозы с учетом экономии дозы и возможного увеличения дозы в тех случаях, когда варианты приводят к компромиссам доз между работниками. В зависимости от ситуаций облучения, таких, как экономия коллективной дозы в пересчете на работу, на группу работ, на категорию работников для заданной работы или группы работ, на год или на срок службы установки, можно проводить несколько оценок. В начале анализа выбирают те показатели, которые наиболее подходят для рассматриваемого оптимизационного исследования.

В зависимости от условий облучения может также возникнуть необходимость анализа эволюции распределений годовой индивидуальной дозы в соответствии с вариантами снижения дозы. Этот фактор особенно важен на стадии проектирования установок или в тех случаях, когда

варианты могут значительно изменять годовой уровень индивидуальных доз для заданной категории работников (см. пример в разделе 3.1.1.2.).

Следует, чтобы оценка вариантов снижения доз включала количественную оценку инвестиций и эксплуатационных затрат, связанных с их осуществлением. Однако уровень детализации при оценке затрат должен быть соизмерим с вероятными глобальными расходами. Оценки затрат следует выражать в виде чистых затрат с учетом не только роста затрат, порождаемого вариантами, но также и возможной экономии с точки зрения снижения эксплуатационных затрат (см. пример в разделе 5.2.1.1.). Особое внимание необходимо уделять включению оценок косвенных затрат, связанных с осуществлением вариантов (например, затрат на обращение с отходами при дезактивации).

Независимо от уровня детализации смет затрат их следует выражать в тех же единицах времени, что и данные об экономии доз. Например, экономию доз, рассчитанную на годовой основе, необходимо сопоставить с годовыми затратами. Точно так же - в случае экономии доз - связанные с работами затраты необходимо определять в пересчете на работу.

#### *5.2.1.1. Пример 17: Определение экономии затрат*

Экономия затрат может быть получена посредством уменьшения времени выполнения задания и количества выполняющих его работников, посредством снижения расходов на оклады, сокращения затрат, связанных с прерыванием основной деятельности соответствующей установки, или сокращения затрат на закупки и отходы, связанных с использованием защитных костюмов.

Снижение уровней индивидуальных доз может позволять определенной категории работников выполнять в течение года другие рабочие задания, не достигая предела индивидуальной дозы. В таких случаях можно считать, что экономятся затраты “по замещению”; иными словами, это все затраты, которые возникли бы в связи с необходимостью подготовки, обучения и использования других работников, с тем чтобы они могли выполнять те же самые работы. Еще одним аспектом является выгода сохранения опытных специалистов, которые лучше знают выполняемую работу, чем новая группа, которая ранее не выполняла соответствующие работы.

#### **5.2.2. Выбор вариантов для осуществления**

Одним из важных элементов процесса принятия решений является четкое определение рамок, в которых должно быть принято решение;



иными словами, финансовых ограничений (т.е. существование конкретного бюджета для снижения доз и общего бюджета для установки), технических или временных ограничений (т.е. времени, имеющегося до выполнения работы, по сравнению со временем, необходимым для осуществления или разработки другого варианта) и - на стадии проектирования - индивидуальных граничных доз. В некоторых случаях может возникнуть необходимость рассмотрения вопроса о том, были ли зафиксированы для данной работы конкретные максимальные уровни индивидуальной дозы. Определение этих ограничений приводит к установлению определенного набора четких критериев принятия решений, которые способствуют согласованности и открытости принятия решений и эффективности при распределении ресурсов для защиты.

В тех случаях, когда выбор варианта неочевиден или слишком сложен, когда могут быть осуществлены несколько вариантов или когда может возникнуть необходимость крупного капиталовложения, уточнению решения могут помочь методы содействия принятию решений (см. Приложение I). При рассмотрении количественно определяемых факторов могут быть использованы анализ затрат и результатов или другие количественные методы. Эти методы основаны на использовании денежной стоимости единицы коллективной дозы (так называемой “величины альфа” или “денежной стоимости человеко-зиверта”), которая представляет собой “размер денежной суммы, затрачиваемой в целях предотвращения одной единицы коллективной дозы.” Это контрольное значение представляет собой инструментальное средство, которое в процессе принятия решений помогает классифицировать варианты в зависимости от их коэффициента эффективности затрат, повышает открытость и уменьшает субъективность решения. (Определение и использование величины альфа см. в Приложении III).

В некоторых случаях может оказаться невозможным количественно определить все соответствующие факторы или выразить их в соразмерных единицах. Может также оказаться затруднительным достижение сбалансированности между коллективными и индивидуальными дозами или между экономией доз и увеличением количества отходов или учет более широких социальных факторов. В таких ситуациях может оказаться полезным использование таких качественных методов содействия принятию решений, как многокритериальный анализ.

Лицам, принимающим решения, необходимо помнить о том, что методы содействия принятию решений необязательно приводят к определенному ответу или единственно возможному решению или обязательству осуществить все эффективные с точки зрения затрат варианты. Эти методы необходимо рассматривать в качестве

инструментального средства, помогающего найти пути решения проблем в целях сравнения относительной эффективности различных возможных вариантов защиты и помогающего выявить все соответствующие факторы и включить их в процесс принятия решений. Они могут также помочь при представлении вариантов старшему руководству.

### 5.3. МОНИТОРИНГ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНА АЛАРА

Ввиду необходимости сохранения неразрывности концепций АЛАРА и их долгосрочного применения требуется контролировать эффективность осуществления плана АЛАРА по всем его аспектам. Планы АЛАРА включают как глобальные, долгосрочные компоненты, так и более специфические и связанные с работами аспекты, и все они должны быть охвачены мониторингом и обратной связью. Представляется затруднительным контролировать по отдельности влияние некоторых элементов, таких, как общий уровень образования работников и повышение их информированности. Для таких элементов необходимы глобальные показатели, такие, как тенденции в области индивидуальных доз, в области коллективных доз и в области частоты и тяжести аварий или инцидентов. В противоположность этому эффективность тех частей плана, которые касаются конкретных работ, может контролироваться и документироваться непосредственно. Ведение записей и документация обеспечат наличие данных для последующих рассмотрений и уточнений плана АЛАРА.

Поскольку цель оптимизации радиологической защиты заключается в снижении индивидуальных и коллективных доз, наиболее актуальным показателем является доза (коллективная или индивидуальная). Эффективность плана АЛАРА в глобальном смысле может быть оценена по уровню снижения индивидуальных и коллективных доз. Хотя тенденция к снижению доз всегда желательна, она необязательно свидетельствует об успехе плана АЛАРА.

Существуют и другие факторы, такие, как водно-химический режим на атомных электростанциях, которые могут влиять на дозы. Поэтому необходимо проводить сбор и оценку всех данных, разъясняющих любую тенденцию облучения. Успех и необходимость улучшений можно легко и регулярно контролировать посредством использования показателей, как описано в разделе 3.1.2. Следует, чтобы этот мониторинг включал анализ тенденций таким образом, чтобы имелась возможность выявления и объяснения любых благоприятных или неблагоприятных тенденций.

Мониторинг эффективности плана АЛАРА может также осуществляться с помощью обратной связи от отдельных лиц или групп или с использованием любого формального и неформального процесса связи (например, рассмотрений, проводимых после выполнения работ, выработки предложений относительно АЛАРА). Информация, полученная посредством этого процесса, может быть использована для мониторинга отношения рабочей силы в целом, а также для получения представления о мере ее информированности о процессе оптимизации и приверженности этому процессу (т.е. о степени развития культуры АЛАРА).

В соответствии с размерами установки и количеством информации, полученной от работников, эти предложения следует документировать и отслеживать так же, как и мероприятия, определенные в процессе осуществления плана, обсужденном в разделе 5.1. Тем самым будет также обеспечена возможность представления работникам информации о положении дел в отношении внесенных ими предложений, что приведет к улучшению информированности и позволит работникам увидеть результаты своих усилий по снижению облучения.

О результатах плана АЛАРА следует сообщать в докладах, подготавливаемых в рамках периодического рассмотрения (возможно, ежеквартального доклада о положении дел). В такие рассмотрения следует включать сравнительные данные об облучении для последовательных циклов проведения повторяющихся работ, а также данные о сравнении с результатами, достигнутыми на других аналогичных установках в промышленности (сравнительные контрольные исследования). В процессе рассмотрения должны принимать участие представители как административного руководства, так и рабочих групп.

В рамках процесса рассмотрения следует также проводить оценку и анализ выполнения работ, с тем чтобы можно было определять корректирующие меры в целях преодоления неблагоприятных тенденций. Корректирующие меры следует включать в план осуществления, и они могут явиться частью развития культуры оптимизации защиты. Корректирующие меры следует четко представлять как область ответственности соответствующих групп, а от старшего руководства следует ожидать решения проблем и разработки методов, позволяющих улучшить выполнение работ. Это укрепляет концепцию отчетности. По достижении успешных результатов периодические рассмотрения будут также помогать в выявлении тех средств, применение которых необходимо продолжить, или любых новых средств, которые могут быть внедрены в целях совершенствования процесса снижения облучения.

## 6. ВЫВОДЫ

Часто заявляют, что основное внимание в радиационной защите уделяется оптимизации защиты. Однако эта формулировка не раскрывает того, что в действительности необходимо сделать на рабочем месте для осуществления оптимизации. В настоящем Докладе по безопасности сделана попытка снять завесу таинственности с этой концепции, изложив в конкретных терминах, что необходимо сделать для осуществления процесса оптимизации и освобождения образа мышления, являющегося основой оптимизации, от уделения чрезмерного внимания таким аналитическим моделям, как анализ затрат и результатов, поскольку эти методы представляют собой попросту инструментальные средства. Для этой цели в настоящем Докладе по безопасности используется сокращение АЛАРА, поскольку оно раскрывает тесно связанные между собой понятия снижения дозы и разумности. При изложении общего подхода к оптимизации уделено значительное внимание полной и систематической оценке радиологических условий на рабочем месте. Этот анализ является ключевым, поскольку он создает основу для понимания того, что необходимо сделать, что может быть сделано и каковы имеющиеся подходы к выполнению поставленной задачи. В нем также документируются начальные условия, что позволяет контролировать эффективность осуществления плана АЛАРА.

Другим основным компонентом настоящего Доклада по безопасности является общее рассмотрение средств снижения облучения, которые, по-видимому, имеются на большинстве рабочих мест. Они подразделяются на глобальные средства, которые могут применяться в рамках всей организации, и на средства, связанные с конкретными работами. Некоторые из этих глобальных средств представляют собой обычные средства, которыми располагает любая хорошо управляемая организация, как, например, применение эффективных и действенных процедур для управления работой и обеспечение обучения и подготовки работников. Хорошо управляемая и эффективная организация, уделяющая надлежащее внимание безопасности своих работников, признает полезность этих средств без применения сложного анализа решений. Однако существуют ситуации, в которых необходима оптимизация защиты в отношении конкретных выполняемых работ. Во многих таких случаях будет все же ясно, что меры по снижению доз могут быть приняты с незначительными затратами или даже с экономией за счет повышения эффективности или наоборот, что в других случаях необходимое ассигнование ресурсов окажется непропорциональным

снижениям доз. Тем не менее будут иметь место случаи, когда будет не очевидно, каков целесообразный объем усилий для экономически эффективного снижения доз; в таких случаях может оказаться полезным некоторого рода метод содействия принятию решений.

Итогом оценки и анализа вариантов улучшения является то, что в настоящем Докладе по безопасности названо планом АЛАРА. Он представляет собой сочетание краткосрочных и долгосрочных или непрерывно осуществляемых мер. Эффективность плана АЛАРА зависит от приверженности административного руководства и рабочей силы его выполнению, и этому способствует участие в формулировании плана АЛАРА обеих этих групп. Мониторинг эффективности плана АЛАРА обеспечивает необходимую обратную связь для поддержания надлежащего отношения к АЛАРА во всей организации в долгосрочном плане.

Изложенный в настоящем Докладе по безопасности подход носит общий характер и поэтому выражен в широких терминах. Цель приведенных примеров состоит в том, чтобы показать, каким образом этот подход может быть применен и применялся в различных обстоятельствах. Применение будет различаться по уровню детализации для большой установки или малой компании, однако во всех случаях общий изложенный подход может быть принят и применен с пользой для работников, работающих в условиях облучения, административных руководителей и соответствующих организаций.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 120, IAEA, Vienna (1996).
- [2] ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, Серия изданий по безопасности № 115, МАГАТЭ, Вена (1996 год).

- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Operational Radiation Protection: A Guide to Optimization, Safety Series No. 101, IAEA, Vienna (1990).
- [4] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Критерии вмешательства в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации, Серия изданий по безопасности № 109, МАГАТЭ, Вена (1998 год).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation, Safety Standards Series No. RS-G-1.5, IAEA, Vienna (in press).
- [6] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Cost-Benefit Analysis in the Optimisation of Radiation Protection, ICRP Publication 37, Pergamon Press, Oxford and New York (1983).
- [7] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Optimization and Decision-Making in Radiological Protection, Publication No. 55, Pergamon Press, Oxford and New York (1989).
- [8] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, General Principles for the Radiation Protection of Workers, Publication 75, Pergamon Press, Oxford and New York (1997).
- [9] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Work Management in the Nuclear Power Industry: A Manual prepared for the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health by the Information System on Occupational Exposure (ISOE) Expert Group on the Impact of Work Management on Occupational Exposure, OECD, Paris (1997).
- [10] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, ALARA: From Theory Towards Practice, Rep. EUR-13796, CEC, Luxembourg (1991).
- [11] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Dose Control at Nuclear Power Plants, NCRP Rep. No. 120, NCRP, Bethesda, MD (1994).
- [12] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНОЕ БЮРО ТРУДА, Радиационная защита при профессиональном облучении, Серия норм безопасности № RS-G-1.1, МАГАТЭ, Вена (1999 год).
- [13] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНОЕ БЮРО ТРУДА, Оценка профессионального облучения вследствие поступления радионуклидов, Серия норм безопасности № RS-G-1.3, МАГАТЭ, Вена (1999 год).
- [14] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНОЕ БЮРО ТРУДА, Оценка профессионального облучения от внешних источников ионизирующего излучения, Серия норм безопасности № RS-G-1.2, МАГАТЭ, Вена (1999 год).
- [15] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ, Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите, Публикация 26 МКРЗ, Пергамон Пресс, Оксфорд и Нью-Йорк (1977 год).

- [16] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ, Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года, Публикация 60 МКРЗ, Пергамон Пресс, Оксфорд и Нью-Йорк (1991 год).
- [17] UNITED KINGDOM HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, Report on the Development of Guidance on the Establishment of Dose Constraints for Occupational Exposure, National Radiological Protection Board, Didcot (1997).
- [18] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Considerations on the Concept of Dose Constraint: Report by a Joint Group of Experts from the OECD Nuclear Energy Agency and the European Commission, OECD, Paris (1996).
- [19] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, A Compilation of the Major Concepts and Quantities in Use by ICRP, ICRP Publication 42, Pergamon Press, Oxford and New York (1984).
- [20] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Occupational Exposures at Nuclear Power Plants, Tenth Annual Report of the Information System on Occupational Exposure (ISOE) Programme, 2000, OECD, Paris (2001).
- [21] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2000).

## Приложение I

### МЕТОДЫ СОДЕЙСТВИЯ ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ

#### I-1. ВВЕДЕНИЕ

Хотя обсуждение методов содействия принятию решений не является целью настоящего Руководства по безопасности, в настоящем коротком приложении приводится достаточная информация, позволяющая понять ссылки в тексте на различные типы таких методов. Для применения этих методов на практике необходимо более подробно проконсультироваться с литературой.

Важнейшим компонентом подхода МКРЗ к оптимизации является количественное определение результатов оптимизационных исследований в тех случаях, когда это возможно. В выпущенных ранее публикациях [I-1, I-2] рекомендуемым методом являлся анализ затрат и результатов. В литературе [I-3] анализ затрат и результатов приводится в качестве примера метода, однако разработаны и рекомендованы для использования и другие методы. Практические руководящие материалы по применению этих методов изложены в литературе [I-4, I-5]. Результат применения любого количественного метода содействия принятию решений называют аналитическим решением. Однако при формировании рекомендаций относительно оптимума его необходимо сочетать с качественной оценкой выполнения работы в отношении других факторов радиологической защиты. Результат этого сочетания вводится затем в окончательный процесс принятия решений.

Из различных имеющихся методов в литературе [I-3] описаны четыре; ими являются: анализ эффективности затрат, анализ затрат и результатов, многопризнаковый анализ полезности и многокритериальный анализ важности. Важнейшим обстоятельством, которое не всегда признается, является то, что результат определяется не выбранным методом, а заданием факторов радиологической защиты и критериев, которые должны использоваться при анализе. Если принято решение о том, что актуальными являются лишь два фактора, например затраты и коллективная доза, то такой простой метод, как анализ затрат и результатов, даст аналитическое решение, прямо указывающее оптимум. Применение более сложного метода к столь простой проблеме является излишним, однако, в случае если это будет сделано, будут получены такое же аналитическое решение и выбор оптимума. Однако если принимается решение о том, что актуален ряд факторов и особенно если некоторые из



них трудно определить количественно, то простой метод может учесть лишь некоторые из этих факторов, и аналитическое решение не указывает оптимума; для нахождения оптимума этот метод следует использовать в сочетании с качественной оценкой вариантов в отношении остальных факторов. Необходимость такого сочетания количественных и качественных вкладов в решение относительно оптимума не всегда четко понимают.

Хотя анализ эффективности затрат и используется, он позволяет лишь производить выбор варианта, при котором либо минимизируется коллективная доза при фиксированных затратах на защиту, либо минимизируются затраты на защиту при заданной экономии коллективной дозы. Однако ни одна из этих процедур анализа эффективности затрат не соответствует оптимизации защиты, поскольку все они не включают фундаментального компромисса между затратами на защиту и дозой.

## I-2. АНАЛИЗ ЗАТРАТ И РЕЗУЛЬТАТОВ

Следующим более высоким этапом по сравнению с анализом эффективности затрат является анализ затрат и результатов. Это старый метод, и он был первым методом, введенным МКРЗ в контексте оптимизации. Основное внимание в этом методе уделяется совокупным денежным мерам затрат и результатов, связанных с вариантами, и при этом ставится цель определения варианта, характеризуемого минимальными суммарными затратами. Эта цель достигается путем анализа суммарных затрат либо посредством дифференциального анализа. Они являются всего лишь различными математическими методами.

В ранних публикациях МКРЗ была приведена простая формулировка анализа затрат и результатов. При этом единственными факторами, которые, как представляется, имели непосредственное отношение к оптимизации, являлись финансовые затраты по осуществлению защитных мер и связанные с ними уровни коллективной дозы. В таких условиях простой анализ затрат и результатов может быть проведен посредством преобразования коллективной дозы в денежную стоимость с использованием контрольного значения стоимости единицы коллективной дозы, в целом обозначаемого величина альфа. Вывод этого значения изложен в Приложении III.

Затем в ходе анализа проводят суммирование затрат на защиту  $X$  и производных затрат, связанных с вредом для здоровья,  $4(S)$ , с тем чтобы получить суммарные затраты  $X+Y$ . Задаваемый внешним образом

критерий, необходимый для получения цифр, представляет собой стоимость единицы коллективной дозы,  $\alpha$ . Суммарные затраты для каждого варианта представляет собой сравнительный показатель качества, а аналитическое решение соответствует варианту, минимизирующему суммарные затраты.

Однако в этом аналитическом решении учитываются лишь два фактора, а именно затраты и коллективная доза, и потому при переходе от этого аналитического решения к рекомендуемому оптимальному варианту необходимо учитывать в качественном отношении любые другие факторы.

### 1-3. РАСШИРЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗАТРАТ И РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассмотренный выше метод затрат и результатов строго ограничивается количественным сравнением между затратами на защиту и коллективной дозой. Однако рамки анализа затрат и результатов в принципе могут быть расширены. Одно из возможных расширений заключается в учете распределения индивидуальных доз. Один из факторов радиологической защиты, рассматриваемых в качестве актуальных, заключается в том, являются ли индивидуальные дозы высокими или низкими. Это может быть выражено в виде разности между коллективной дозой, образуемой большим числом низких индивидуальных доз, и той же самой коллективной дозой, получаемой меньшей популяцией, каждый представитель которой получает более высокие дозы. Один из методов включения этого суждения заключается в изменении значения, приписываемого единице коллективной дозы, посредством добавления дополнительного члена к затратам в связи с вредом для здоровья. Этот новый компонент затрат в связи с вредом для здоровья был выражен МКРЗ в литературе [I-2, I-3] как член "бета". Тогда вред для здоровья  $Y$  определяется как:

$$Y = \alpha S + \beta_j S_j$$

где

$\beta_j$  – дополнительная стоимость, приписываемая единице коллективной дозы,

$S_j$  – функция уровня индивидуальной дозы в группе соответствующих работников.

Применяя эту формулу, можно оценить затраты в связи с вредом для здоровья как сумму члена альфа, коллективной дозы и членов бета и

учитываемого распределения индивидуальных доз. Включение допуска на распределение индивидуальных доз ведет к увеличению затрат в связи с вредом для здоровья  $Y$  и изменяет суммарные затраты для каждого варианта. Однако другие соответствующие факторы могут все же быть опущены в количественном анализе, и их необходимо включать лишь качественным образом.

#### I-4. МНОГОПРИЗНАКОВЫЙ АНАЛИЗ ПОЛЕЗНОСТИ

Анализ затрат и результатов – это мощный метод, однако можно использовать также метод другого рода, отличающийся не только в основе, но и в том, каким образом в нем трактуются соответствующие факторы. Этот метод известен как многопризнаковый анализ полезности. Суть метода заключается в использовании для соответствующих факторов оценочной схемы, называемой функцией полезности, которая отличается тем, что если оценка или полезность для двух вариантов оказывается одинаковой, то ни один из них не является предпочтительным по отношению к другому. Вариант рассматривается как предпочтительный, если его оценка выше, чем оценка другого варианта.

В литературе [I-4] на основе повседневного примера дается представление о том, каким образом вводится понятие многопризнакового анализа полезности и как поддающиеся и не поддающиеся количественному определению факторы используются совместно с процессами вынесения суждений для принятия решения. Например, при покупке автомобиля мы оцениваем такие факторы, как цена, затраты на техническое обслуживание и эффективность с точки зрения расхода топлива. Эти факторы можно учесть без труда, если ставится задача проведения анализа затрат и результатов, возможно, с общим ограничением, представляющим собой денежную сумму, которой мы располагаем. Однако при оценке других факторов, таких, как желательная быстрота разгона или максимальная скорость, цвет автомобиля или качество звуковой системы, применение анализа затрат и результатов оказывается нелегким. Тем не менее мы признаем все эти соображения в качестве факторов при принятии решения, мы оцениваем каждый вариант – каждый рассматриваемый для покупки автомобиль – в соответствии с нашим отношением к определенному фактору, и затем достигаем компромисса между различными факторами с использованием наших личных критериев. В проводимых нами «исследованиях» используется одна и та же база данных – характеристики различных

автомобилей, - однако принимаемые решения могут различаться ввиду нашего индивидуального отношения к различным факторам и собственных критериев при компромиссном выборе между различными факторами. Например, одни могут придавать большее значение экономии топлива и скорости разгона, в то время как другие – цвету автомобиля или качеству акустической системы. Безусловно, окончательное решение будет зависеть от суждения лица, принимающего решение.

При применении многопризнакового анализа полезности необходимо задать факторы радиологической защиты и количественно определить последствия каждого варианта защиты с точки зрения этих факторов; иными словами, провести ту же самую первоначальную процедуру, как в случае анализа затрат и результатов. Затем для каждого фактора необходимо создать функцию полезности, определяющую относительную желательность возможных результатов для этого фактора. Вообще говоря, наилучшему результату или наименьшим неблагоприятным последствиям для каждого фактора придается полезность, равная 1, а наихудшим последствиям – полезность, равная 0.

Основным преимуществом этого метода является то, что указанные функции полезности необязательно должны быть линейными. Это позволяет ввести в количественный процесс принятия решений изменения отношения в зависимости от величины последствий. Можно также использовать метод многопризнакового анализа полезности для включения факторов, нормально рассматриваемых как не определяемые количественно, посредством задания функций полезности для различных значений фактора. Например, если в некоторых вариантах необходимо использовать защитную одежду, то это повлияет на легкость выполнения заданий. Максимальное значение полезности, равное 1, очевидным образом приписывается варианту, не связанному с использованием защитной одежды, а минимальное значение полезности, равное 0, - варианту, при котором трудно проводить работы.

## I-5. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАЖНОСТИ

Все рассмотренные до настоящего времени методы представляют собой агрегативные методы в том смысле, что в них все признаки, представляющие соответствующие факторы, влияющие на решение, объединяются в единый сравнительный показатель качества, будь то суммарные затраты, как это имеет место в анализе затрат и результатов, или функция общей полезности, как делается в многопризнаковом анализе полезности. Однако для обеспечения такой агрегации

необходимо выполнение двух условий. Во-первых, необходимо, чтобы все факторы были соизмеримы, с тем чтобы окончательно определяемая величина надлежащим образом выражала вклад в последствия каждого из соответствующих факторов. Во-вторых, лицо, принимающее решение, должно согласиться с тем, что плохие показатели в отношении одного фактора могут быть скомпенсированы повышенными показателями по другим факторам и что такие компромиссы приемлемы для всего диапазона последствий, вытекающих из всех рассматриваемых вариантов защиты.

При выполнении указанных двух условий могут возникнуть определенные трудности, если рассматриваемые факторы оказываются разнородными или если они могут быть оценены только в качественном отношении. В ином случае, когда некоторые последствия вариантов защиты оказываются достаточно экстремальными, может быть сделано заключение о том, что компромисс не приемлем для всего диапазона последствий. В этих условиях может оказаться более полезным метод, в котором диапазон последствий трактуется иным образом. Здесь такой метод далее рассматриваться не будет, но он изложен в литературе [I-3] в качестве примера иного подхода к оптимизации радиологической защиты.

## **ЛИТЕРАТУРА К ПРИЛОЖЕНИЮ I**

- [I-1] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ, Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите, Публикация 26, Пергамон Пресс, Оксфорд и Нью-Йорк (1977 год).
- [I-2] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Cost-Benefit Analysis in the Optimisation of Radiation Protection, Publication 37, Pergamon Press, Oxford and New York (1983).
- [I-3] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Optimization and Decision-Making in Radiological Protection, Publication 55, Pergamon Press, Oxford and New York (1988).
- [I-4] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, ALARA: From Theory Towards Practice, Rep. EUR 13796, CEC, Luxembourg (1991).
- [I-5] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Dose Control at Nuclear Power Plants, NCRP Rep. No. 120, NCRP, Bethesda, MD (1994).

## Приложение II

### КОНТРОЛЬНЫЕ ПЕРЕЧНИ АЛАРА

Контрольные перечни являются полезным инструментальным средством для удовлетворения потребностей оптимизационной программы; они используются в различных целях. Например, они используются в качестве материалов, определяющих повестку дня совещаний по планированию работ или совещаний по рассмотрению, проводимых по завершении работ; они могут распространяться среди работников для активизации их участия в процессе информационной обратной связи. Существуют разнообразные контрольные перечни; по-видимому, их содержание определяется типом и размерами соответствующей установки. В настоящее Приложение включены конкретные примеры контрольных перечней для типичной атомной электростанции в Соединенных Штатах Америки и в некоторые контрольные перечни, разработанные Исследовательским центром по оценке защиты в ядерной области (СЕРН), Франция.

#### ТАБЛИЦА II-1. КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ 1 ДЛЯ РЕАКТОРОВ США: КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ АЛАРА. РАССМОТРЕНИЕ ПОРЯДКА ВЕДЕНИЯ РАБОТ С ИСТОЧНИКАМИ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Вопросы для рассмотрения перед проведением работ	Да	Нет	НП <sup>a</sup>	Замечания
1. Проводилось ли ретроспективное рассмотрение работ? а) Если нет, существуют ли планы создания или улучшения архивов документов в ходе этой работы? б) Окажется ли полезным использование фотографий или видеолент? Если да, указать фамилию лица, проводящего фото и/или видеосъемку.				
2. Выявлены ли помехи ведению работ (например, что-то, что может приводить к ненужной задержке выполнения работ)?				
3. Характеризуется ли работа высоким риском или она представляет собой эволюцию работы, проводившейся впервые?				
4. Потребуется ли специальная подготовка или подготовка на макетах? Если да, указать график, место проведения и тип.				

5. Будут ли использованы устройства для дистанционного манипулирования или дистанционного мониторинга?  
Если да, указать.
6. Необходимо ли проведение всех работ в зоне облучения или в зоне аэрозольного радиоактивного загрязнения? В частности, может (могут) ли компонент (компоненты) быть перемещен (перемещены) в зону с более низкими дозами? Рассматривался ли для новых монтируемых компонентов вопрос о проведении предварительных работ вне зоны облучения?
7. Могут ли мощности доз в зоне быть снижены посредством использования защиты или промывки системы (для удаления источника)?
8. Проводился ли анализ альтернативных методов работы, обеспечивающих потенциальное снижение облучения? Если да, какие альтернативные методы были определены?
9. Вызывает ли проведение работы необходимость разгерметизации радиоактивной системы?
10. Разработан ли перечень необходимой оснастки и проверена ли его точность?
11. Потребуется ли специальный инструмент? Если да, какого типа и проведена ли классификация?
12. Приведет ли проведение работы к образованию радиоактивных отходов? Если да, какого типа (например, жидких, сухих активных отходов, металла) и приблизительного объема?
13. Были ли определены требования к связи на площадке проведения работ? Если да, изложить.
14. Проводилось ли рассмотрение экологических условий и ограничений для зоны ведения работ? Указать любые ограничительные условия или ограничения.
15. Проводилось ли рассмотрение порядка проведения работ и процедур в целях определения вопросов, важных с точки зрения радиационной защиты (например, этапов проведения работ, которые могли бы привести к изменению радиологических условий)?
16. Проводилось ли рассмотрение списка имеющихся квалифицированных членов рабочей бригады на предмет обеспечения распределения доз между членами бригады?

## ТАБЛИЦА II-II. КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ 2 ДЛЯ РЕАКТОРОВ США: РАССМОТРЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Вопросы для рассмотрения перед проведением работ	Да	Нет	НП <sup>a</sup>	Замечания
1. Необходимо ли проведение совещания по планированию работы?				
2. Необходим ли инструктаж перед проведением работ?				
3. Были ли установлены для данной работы бюджет облучения и целевой параметр облучения?				
4. Будет ли проводиться дезактивация компонента или зоны?				
5. Окажется ли временная защита эффективной для снижения коллективной дозы, связанной с выполнением работы? Если да, указать в графе “замечания” коэффициент эффективности временной защиты.				
6. Планируется ли осуществление инженерно-технических мер контроля аэрозольных радиоактивных материалов?				
7. Определены ли зоны ожидания, характеризующиеся низкими дозами?				
8. Была ли проведена оценка дыхательного защитного оборудования с целью определения его влияния на расчетную дозу в случае использования?				

<sup>a</sup> НП: не применимо.



## ТАБЛИЦА II-III. КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ 3 ДЛЯ РЕАКТОРОВ США: КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ДЛЯ ИНСТРУКТАЖА ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ РАБОТ АЛАРА

---

1. Привести краткое изложение последовательности событий.
  2. Дать описание рабочей зоны с рассмотрением приведенных ниже вопросов:
    - a) радиологические условия в начале работы;
    - b) потенциальные радиологические условия и/или опасности, возникающие по мере выполнения работ;
    - c) пути доступа в рабочую зону и из нее;
    - d) указать зоны ожидания, характеризуемые низкими дозами, для каскадного размещения оборудования и/или вспомогательного персонала;
    - e) экологические условия и ограничения;
    - f) вопросы, связанные с защитой;
    - g) вредные факторы, воздействующие на безопасность (например, неблагоприятное воздействие высокой температуры, затрудненный вход).
  3. Описать оборудование и/или методы, используемые для контроля образования или распространения загрязнения и сведения к минимуму возможности образования аэрозольного радиоактивного материала.
  4. Описать меры по обеспечению чистоты на предприятии и в системе, предотвращающие поступление инородных материалов в открытые системы.
  5. Изложить требования к дозиметрии, дать сведения о размещении дозиметрического оборудования и использовании дозиметрии.
  6. Изложить требования в отношении защитной одежды, оборудования и защиты органов дыхания.
  7. Изложить методы одевания и/или снятия одежды, специфические для данной работы.
  8. Описать методы уменьшения объема радиоактивных отходов и соображения, касающиеся обращения со специальными отходами (например, маслами, упаковками, фильтрами, смешанными отходами) и их образования.
  9. Завершены ли все мероприятия, перечисленные в контрольном перечне планирования работ АЛАРА? Если нет, то какие позиции остались невыполненными и кто несет ответственность за их выполнение?
  10. Организовать обсуждение с целью получения замечаний от членов рабочей бригады и разъяснений возникших у них вопросов.
-

ТАБЛИЦА II-IV. КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ 4 ДЛЯ РЕАКТОРОВ  
США: КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ АЛАРА ДЛЯ ОТЧЕТА ПОСЛЕ  
ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

Вопросы для рассмотрения перед проведением работ	Да	Нет	НП <sup>a</sup>
1. Был ли проведен и документирован официальный инструктаж перед проведением работ?			
2. Были ли готовы и имелись ли в наличии, когда это требовалось, необходимые услуги?			
3. Удовлетворял ли имеющийся инструмент потребностям работы?			
4. Проходила ли работа так, как это было запланировано? Если нет, указать почему.			
5. Была ли удовлетворительная связь на площадке, где проводились работы?			
6. Были ли порядок и/или процедура проведения работ надлежащими для выполнения данной работы?			
7. Способствовали ли условия окружающей среды эффективному выполнению работы?			
8. Было ли сведено к минимуму количество образовавшихся радиоактивных отходов?			
9. Были ли меры контроля достаточны для удержания загрязнения в пределах рабочей зоны?			
10. Если использовались средства защиты органов дыхания, то предпринимались ли усилия по предотвращению образования аэрозольных радиоактивных материалов и устранению необходимости использования респираторов?			
11. Соответствовали ли радиологические условия результатам обследований, проводившихся перед работой?			
12. Организовать обсуждение с целью получения замечаний и раздать персоналу листки для замечаний. (Нужное отметить.) Был ли изменен или расширен объем работ? Возникли ли трудности при планировании и/или координации работы? Имели ли место отказы инструмента и/или оборудования? Имели ли место случаи наличия неправильных или отсутствия нужных деталей и/или инструментов и/или оборудования? Отмечались ли незапланированные требования о подготовке площадки для проведения работ? Имели ли место случаи прерывания и/или помех со стороны			

Вопросы для рассмотрения перед проведением работ	Да	Нет	НП <sup>а</sup>
<p>других проводимых работ?Отмечались ли недостатки в проведении работ и/или процедурах?Изменились ли радиологические условия на месте проведения работ? Отмечалось ли недостаточное соблюдение радиологических мер контроля?Имели ли место случаи недостаточного учета образцовой практики АЛАРА?Была ли защита недостаточной?</p>			

<sup>а</sup> НП: не применимо.

ТАБЛИЦА II-V. КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ 1 СЕРН: КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ ПЕРЕД ПРОВЕДЕНИЕМ РАБОТ

	Да	Нет	НП <sup>а</sup>	Подлежит изучению
Имеется ли опыт выполнения аналогичных операций?				
Был ли он учтен?				
<i>I. Действия в отношении источников</i>				
До остановки реактора: химическая фильтрация?				
Деактивация?				
Можно ли оставить воду в контурах?				
Удаление высокорadioактивного материала?				
Прочие?				
<i>II. Защита</i>				
Биологическая защита: стационарная, мобильная, интегрированная с оборудованием?				
Меры против загрязнения: имеется ли перчаточный бокс?				
Защита?				
Интегрирована ли защита с инструментом?				
Статическая защитная оболочка?				
Динамическая защитная оболочка?				
Спринклеры и дренаж?				
Адаптированная индивидуальная защита?				
<i>III. Объем работы в условиях облучения</i>				
Какова важнейшая задача?				
Является ли процедура оптимальной?				
Правильно ли спланировано задание?				
Должно ли задание выполняться целиком в зоне облучения?				
Могут ли некоторые операторы быть отведены на определенное расстояние?				
Обосновано ли число операторов?				
Оптимизировано ли распределение работ?				
Могут ли дозы быть распределены между операторами?				
Имеются ли специальные средства для снижения доз?				
Есть ли возможность дистанционного управления или применения робототехнических средств?				
Может ли одежда быть изменена таким образом, чтобы облегчалось выполнение работ?				
Существует ли возможность улучшения условий окружающей среды (например, температуры, освещения)?				
Есть ли возможность обеспечения радиосвязи?				

---

Да Нет НП<sup>а</sup> Подлежит  
изучению

---

Есть ли возможность телевизионного наблюдения?

Есть ли возможность облегчения доступа?

Имеется ли оборудование для манипуляций?

Имеются ли надлежащие внешние конструкции  
(например, строительные леса)?

Имеются ли зоны ожидания и подготовки к  
выполнению работ?

Существуют ли процедуры упаковки оборудования  
и упаковки отходов?

Существуют ли процедуры удаления материала?

---

ТАБЛИЦА II-VI. КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ 2 СЕРИИ:  
РУКОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВЕЩАНИЯ ПО УЧЕТУ  
ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ

---

Задание:

Участники совещания:

На все вопросы должны быть даны как можно более полные ответы, с тем чтобы можно было сделать оценку задания и использовать ее в качестве основы для модификаций в ходе будущей работы.

1. Имелись ли своевременно в наличии инструментальная оснастка и оборудование, требуемые для проведения работ?
  2. Была ли зона ведения работ подготовлена и готова для выполнения Вашего задания к Вашему прибытию?
  3. Соответствовали ли меры защиты заданию, выполняемому в этой зоне?
  4. Сколько времени у Вас имелось для подготовки задания? Было ли этого времени достаточно?
  5. Создавали ли другие задания помехи выполнению Вашего задания?
  6. Поддерживались ли на месте проведения работ чистота и порядок в целях облегчения выполнения работ?
  7. Знала ли вся бригада о получаемом облучении? Настаивали ли Вы на том, чтобы это облучение было максимально ограничено?
  8. Знала ли вся бригада о целевых дозах на площадке? Имелась ли мотивация у бригады?
  9. Имелись ли какие-либо проблемы координации с другими специалистами, другими подразделениями или другими работниками?
  10. С какими Вы столкнулись проблемами, которые могли бы привести к получению более высоких доз?
-

ТАБЛИЦА II-VII. КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ 3 СЕРН: КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ДЕЙСТВИЙ, ПОДЛЕЖАЩИХ ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ ВЫПОЛНЕНИЮ, – АУДИТОРИЯ: РАБОТНИКИ ЭНЕРГОКОМПАНИИ И ПОДРЯДЧИКА, ЗАНИМАЮЩИЕСЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

	Да	Нет	НП <sup>а</sup>
<i>Планирование</i>			
Знаете ли Вы точно, что Вам необходимо делать?			
Знаете ли Вы маршрут к Вашему рабочему месту?			
Убедились ли Вы в том, что Ваша работа не будет создавать помех работе других?			
Проверили ли Вы инструментальную оснастку, перед тем как войти в зону?			
Проверили ли Вы наличие всех необходимых инструментов и их надлежащее рабочее состояние?			
Пригодны ли эти инструменты для работы в данной окружающей среде?			
<i>Окружающая среда</i>			
Известно ли Вам об условиях облучения на рабочем месте?			
Мощность дозы?			
Риски загрязнения?			
Местонахождение основных источников?			
Ожидаемые дозы?			
Знаете ли Вы о том, что планируется установка коллективной защиты, и то, как она будет расположена?			
Известно ли Вам, каким защитным респираторным оборудованием Вы должны пользоваться?			
Знаете ли Вы, где Вы должны работать?			
Известны ли Вам места расположения розеток электропитания и точек подключения к системам общего пользования?			
Известно ли Вам специально отведенное место, где Вы можете изучить технологическую карту выполнения работы или дождаться завершения другой работы?			
<i>Если Вам не известны ответы на какой-либо из этих вопросов, обратитесь к своему бригадиру или специалисту по радиологической защите на станции.</i>			

<sup>а</sup> НП: не применимо.

ТАБЛИЦА II-VIII. КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ 4 СЕРН: КОНТРОЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ДЕЙСТВИЙ, ПОДЛЕЖАЩИХ ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ ВЫПОЛНЕНИЮ ПЕРЕД ОТКРЫТИЕМ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ – АУДИТОРИЯ: БРИГАДИРЫ

---

Перед входом в контролируемую зону провести инструктаж бригады.  
В ходе инструктажа описать предстоящую работу.

В ходе инструктажа описать место выполнения работы и наилучший маршрут к нему с точки зрения радиологических условий (например, указать горячие пятна).

Если необходимо, дать описание любых экологических ограничений, которые могут усложнить пользование инструментом и выполнение работ (например, площадь, освещенность, строительные леса, наличие биологической защиты).

Показать:

Предварительную карту

Риск загрязнения

Предусмотренную защиту и ее место нахождения

Дозы, ожидаемые при выполнении работы

Указать резервные места нахождения в зоне.

Указать, каким образом работа распланирована по отношению к выполняемой на том же месте предыдущей и последующей работе.

*Если у Вас отсутствует информация по каким-либо из вышеизложенных вопросов, обратитесь к координатору работ или к сотруднику по радиологической защите.*

---



## Приложение III

### ДЕНЕЖНАЯ СТОИМОСТЬ ЕДИНИЦЫ КОЛЛЕКТИВНОЙ ДОЗЫ

#### III-1. ВВЕДЕНИЕ

Целью оптимизации радиационной защиты является обеспечение эффективного распределения ресурсов, затрачиваемых на защиту, в целях снижения доз АЛАРА с учетом социальных и экономических факторов. Для оказания помощи при принятии решений в условиях ограниченности ресурсов, имеющихся для целей защиты, и снижающейся эффективности капиталовложений в защиту был разработан экономический инструментальный метод, предусматривающий денежную стоимость единицы коллективной дозы и использование анализа затрат и результатов. Основная цель использования этого инструментального средства заключается в достижении большей открытости решений посредством введения в выбор капиталовложений определенного элемента рациональности.

Соотнесение денежной стоимости с дозой, сэкономленной при осуществлении различных вариантов радиационной защиты, является средством определения того, каковы денежные средства, которые могут быть затрачены на предотвращение одной единицы коллективной дозы, т.е. определенных потенциальных индуцированных облучением последствий для здоровья, с учетом ресурсов, имеющихся для целей защиты и характеристик ситуаций облучения. При использовании анализа затрат и результатов необходимо проводить различие между тремя основными данными:

- денежная стоимость человека-зиверта, которая представляет собой заранее определенное контрольное значение;
- затраты на защиту, связанные с конкретным вариантом, которые представляют собой сумму затрачиваемых денежных средств в случае осуществления конкретного варианта;
- вмененные издержки на предотвращенный человеко-зиверт, связанные с конкретным вариантом, которые представляют собой отношение затрат на защиту, связанных с данным вариантом, к сэкономленной дозе. Они представляют затраты на предотвращение дозы в один человеко-зиверт в случае осуществления данного варианта.

Когда вмененные издержки на предотвращенный человеко-зиверт, связанные с определенным вариантом, заведомо ниже контрольной денежной стоимости человеко-зиверта, данный вариант может рассматриваться как разумный с точки зрения эффективности затрат. Если вмененные издержки выше контрольной денежной стоимости человеко-зиверта, то на основе одного лишь критерия эффективности затрат данный вариант не рассматривается в качестве разумного (поскольку связанные с ним затраты больше, чем сумма, которую готовы затратить на предотвращение одной единицы коллективной дозы). Во всех случаях при принятии окончательного решения об осуществлении конкретного варианта необходимо принимать во внимание и другие факторы и критерии.

Необходимо, чтобы в качестве инструментального средства, содействующего принятию решений, использовались такие экономические средства, которые позволяют облегчить и структурировать выбор вариантов защиты в контексте принятия сложных решений. Его следует использовать в процессе принятия решений не изолированно, а в качестве части заранее определенного набора критериев для принятия решений (например, технических, политических).

### III-2. ОЦЕНКА КОНТРОЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ДЕНЕЖНОЙ СТОИМОСТИ ЧЕЛОВЕКО-ЗИВЕРТА

Как указано выше, денежная стоимость человеко-зиверта – это заранее определенное значение, показывающее, сколько готовы заплатить за предотвращение коллективной дозы в один человеко-зиверт. Это значение может быть определено различными организациями. В большинстве случаев оно определяется непосредственно соответствующими установками в качестве части принятых на них правил принятия решений. Однако в некоторых случаях национальные компетентные органы по вопросам безопасности или радиационной защиты выносят рекомендации относительно базового значения для использования в процессе оптимизации. Однако во всех случаях денежная стоимость человеко-зиверта задается посредством контрольного сопоставления с потенциальными последствиями для здоровья, связанными с дозами, и имеющимися ресурсами для целей защиты на соответствующей установке или в соответствующей стране. Если необходимо, в ходе оценки могут быть также учтены уровень индивидуальных доз или распределения индивидуальных доз.

### **III-2.1. Зависимость доза-эффект и денежная стоимость последствий для здоровья**

Основным этапом в определении денежной стоимости человеко-зиверта является рассмотрение зависимости доза-эффект. Таким образом, именно существование потенциального риска для здоровья, связываемого с любым уровнем дозы, является обоснованием готовности снижать дозы АЛАРА. При принятии, как это рекомендовано МКРЗ [III-1], допущения о беспороговой линейной зависимости доза-эффект денежную стоимость человеко-зиверта можно оценить, умножив вероятность возникновения последствия для здоровья, связанного с коллективной дозой в один человеко-зиверт, на денежную стоимость данного последствия для здоровья. Поскольку последствия для здоровья (раковые заболевания и наследственные эффекты) могут быть выражены в виде уменьшения ожидаемой продолжительности жизни, их денежная стоимость может быть соотнесена с денежной стоимостью, связанной с одним годом жизни. Для оценки уменьшения ожидаемой продолжительности жизни могут быть использованы два основных метода:

- подход, оперирующий понятием человеческого капитала, в рамках которого денежная стоимость одного года потерянной жизни задается совокупной экономической величиной, обычно душевым годовым валовым внутренним продуктом (см. пример в разделе III-2.1.1.);
- подход, учитывающий готовность нести затраты, при котором в случае необходимости снижения конкретного риска для выявления предпочтений отдельных лиц используются оценочные обзоры контингента.

#### *III-2.1.1. Пример III-1: Расчет денежной стоимости человеко-зиверта с использованием подхода, оперирующего понятием «человеческий капитал»*

- Среднее уменьшение ожидаемой продолжительности жизни, связанное с радиационно-индуцированным последствием для здоровья (летальные раковые заболевания и наследственные эффекты): 16 лет.
- Валовой внутренний продукт на душу населения в год: 22 400 долл. США.
- Денежная стоимость радиационно-индуцированного последствия для здоровья:  $22\,400 \text{ долл. США} \times 16 = 358\,400 \text{ долл. США}$ .
- Вероятность возникновения радиационно-индуцированного последствия для здоровья работников:  $5,6 \times 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$

— Денежная стоимость человеко-зиверта:  $358\,400 \text{ долл. США} \times 5,6 \times 10^{-2}$   
 $20\,000 \text{ долл. США/чел.}\cdot\text{Зв.}$

### **III-2.2. Как учитывать распределения индивидуальных доз**

В литературе [III-1] МКРЗ подчеркивает необходимость учета возможной неравномерности распределений индивидуальных доз, которые могут являться результатом осуществления различных вариантов защиты. Как следствие этого, цели оптимизации радиационной защиты заключаются в достижении снижения индивидуальных и коллективных доз с уделением приоритетного внимания наивысшим индивидуальным дозам.

Применение этих целей к денежной стоимости человеко-зиверта означает, что при возрастании индивидуальной дозы следует быть готовым нести большие затраты, для того чтобы избежать единицы коллективной дозы, и, кроме того, что этот прирост денежной стоимости единицы коллективной дозы приобретает растущую важность. Разработаны некоторые модели, позволяющие определить такую возрастающую стоимость человеко-зиверта (см. пример в разделе III-2.2.1.); они ведут к системе денежных стоимостей человеко-зиверта, зависящих от диапазона индивидуальных доз [III-2, III-3].

#### *III-2.2.1. Пример III-2: Модель для определения комплекса значений денежной стоимости человеко-зиверта в соответствии с уровнем индивидуальных доз*

В этой модели делается предположение о том, что при уровнях индивидуальной дозы ниже определенного более целесообразно приписывать единице коллективной дозы постоянную денежную стоимость [III-3]. Выше этого уровня денежная стоимость человеко-зиверта возрастает с уровнем индивидуальной дозы с учетом степени предотвращения до заданного уровня дозы.

Эта модель проиллюстрирована на рисунке III-1, где ордината представляет собой денежную стоимость единицы коллективной дозы, а абсцисса – индивидуальный уровень дозы, обычно в виде средней годовой дозы.

*Предложенные значения для модели.* На практике для осуществления этой модели необходимо задать значения трех параметров:  $a_{\text{Base}}$ ,  $d_0$  и  $a$ :

—  $a_{\text{Base}}$  представляет денежную стоимость вреда для здоровья, связанного с одной единицей коллективной дозы.

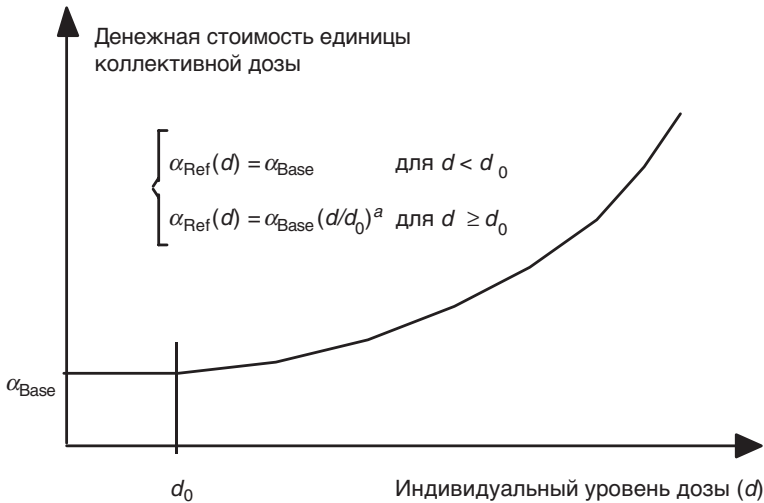


РИС. III-1. Предлагаемая модель для денежной оценки радиологической вредности.

- величина  $d_0$  соответствует уровню индивидуальной дозы, ниже которого предотвращение до уровня дозы не рассматривается. Это значение зависит от уровня принятия риска для облучаемого населения, например в случае доз облучения персонала было принято значение, соответствующее пределу индивидуальной дозы для населения (1 мЗв/год) (это значение могло быть адаптировано к конкретной рассматриваемой ситуации).
- Коэффициент  $a$  отражает степень предотвращения до уровня индивидуальной дозы. Было показано, что для достижения целей  $a$  должен быть больше единицы. В случае доз облучения персонала на основе обзора литературы по предотвращению риска представляется разумным диапазон значений от 1.2 до 1.8.

### III-3. ПРИМЕРЫ ЗНАЧЕНИЙ ДЕНЕЖНОЙ СТОИМОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЕДИНИЦЫ КОЛЛЕКТИВНОЙ ДОЗЫ

Обзор практики на международном уровне показывает, что концепция сопоставления денежной стоимости с человеко-зивертом все более широко распространяется среди операторов и регулирующих

компетентных органов, хотя ее использование лишь рекомендовано и не является обязательным [III-4] (см. таблицы III-1 – III-3). Денежная стоимость используется прежде всего для информирования при принятии важных решений (например, относительно модификации установок или проведения дорогостоящих ремонтных работ). Она рассматривается

**ТАБЛИЦА III-1. ЗНАЧЕНИЯ ДЕНЕЖНОЙ СТОИМОСТИ ЧЕЛОВЕКО-ЗИВЕРТА, РЕКОМЕНДОВАННЫЕ РАЗЛИЧНЫМИ КОМПЕТЕНТНЫМИ ОРГАНАМИ**

Страна (год)	Денежная стоимость человеко-зиверта в национальной валюте	Денежная стоимость человеко-зиверта в долл. США
Канада (1997 год)	100 000 кан. долл., установлено на основе международных стандартов	75 000
Чешская Республика (1997 год)	500 000–5 000 000 чешских крон, в зависимости от индивидуальных доз и ситуации облучения	17 000–170 000
Финляндия (1991 год)	100 000 долл. США, общее значение для всех Северных стран	100 000
Соединенное Королевство (1993 год)	10 000–100 000 фунтов стерлингов в зависимости от ситуации облучения (независимо от станции) и от уровня индивидуальных доз	17 000–170 000
Нидерланды (1995 год)	10 000–100 000 голландских гульденов	500 000
Румыния (2000 год)	220 000 долл. США	220 000
Швеция (SSI) (1992 год)	400 000–2 000 000 шведских крон	55 000–270 000
Швейцария (1994 год)	3 000 000 швейцарских крон	3 000 000
США (КЯР) (1995 год)	200 000 долл. США	200 000

**Примечание:** 1 долл. США = 1,33 кан. долл., 30 чешских крон, 0,6 фунта стерлингов, 2 голландских гульдена, 7,5 шведских крон, 1 швейцарский франк (по состоянию на 1998 год).

**SSI:** Компетентный орган по радиационной защите Швеции. **КЯР:** Комиссия по ядерному регулированию.

пользователями прежде всего в качестве средства, позволяющего уменьшить субъективность выбора и время от времени используемого при обсуждениях с субподрядчиками или компетентными органами.

ТАБЛИЦА III-2. ЗНАЧЕНИЯ ДЕНЕЖНОЙ СТОИМОСТИ ЧЕЛОВЕКО-ЗИВЕРТА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ РАЗЛИЧНЫМИ ЭНЕРГОКОМПАНИЯМИ (ЕДИНОЕ ЗНАЧЕНИЕ)

Страна	Энерго-компания	Год принятия	Денежная стоимость человеко-зиверта в национальной валюте	Денежная стоимость человеко-зиверта в долл. США
Канада	Gentilly		1 000 000 кан.долл.	750 000
Румыния	Чернаводэ	2000 год	220 000 долл.США	220 000
Словения	Кршко	1996 год	700 000 долл.США	700 000
Южная Африка	Кёберг	1993 год	1 000 000 долл.США	1 000 000
Испания	Аско	1994 год	2 000 000 долл.США	2 000 000
	Вандельос	1982 год	100 000 000 исп. песет	700 000
Швеция	Единое значение для всех энерго-компаний	1982 год	4 000 000 шведских крон	550 000
США	Значение для 90% реакторов в энерго-компаниях	1990-1991 гг. в целом,	Минимальное значение:	Минимальное значение:
		1993-1997 гг. для	500 000 долл.США	500 000
		наивысших значений	Максимальное значение:	Максимальное значение:
			2 810 000 долл.США	2 810 000
			Среднее значение: 1 200 000 долл.США	Среднее значение: 1 200 000
	Усредненное значение: 1 000 000 долл.США	Усредненное значение: 1 000 000		

**Примечание:** 1 долл. США = 1,33 кан. долл., 150 испанских песет, 75 шведских крон (по состоянию на 1998 год).

ТАБЛИЦА III-3. ЗНАЧЕНИЯ ДЕНЕЖНОЙ СТОИМОСТИ ЧЕЛОВЕКО-ЗИВЕРТА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ РАЗЛИЧНЫМИ ЭНЕРГОКОМПАНИЯМИ (СИСТЕМА ЗНАЧЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ГОДОВОЙ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗЫ)

Страна	Энерго-компания	Год принятия	Денежная стоимость человеко-зиверта в национальной валюте	Денежная стоимость человеко-зиверта в долл. США
Бельгия	SCK-CEN	1995 г.	<1 мЗв: 1 000 000 б.фр. 1-2 мЗв: 2 500 000 б.фр. 2-5 мЗв: 10 000 000 б.фр. 5-10 мЗв: 25 000 000 б.фр. 10-20 мЗв: 50 000 000 б.фр. 20-50 мЗв: 200 000 000 б.фр.	<1 мЗв: 27 000 1-2 мЗв: 67 000 2-5 мЗв: 267 000 5-10 мЗв: 667 000 10-20 мЗв: 1 330 000 10-50 мЗв: 5 330 000
Канада	Дарлингтон: — система зависит от категории	—	От нескольких тысяч канадских долларов до 2 000 000 канадских долл. Пример: работники в целом: 200 000 канадских долл. бригады технического обслуживания реактора: 1 500 000 канадских долл.	От нескольких тысяч долл. США до 1 500 000 долл. Пример: работники в целом: 150 000, бригады технического обслуживания реактора: 1 130 000
Франция	Электриситэ де Франс	1993 г.	0-1 мЗв: 100 000 ф.фр. 1-5 мЗв: 500 000 ф.фр. 5-15 мЗв: 2 300 000 ф.фр. 15-30 мЗв: 6 700 000 ф.фр. 30-50 мЗв: 15 000 000 ф.фр.	0-1 мЗв: 17 000 1-5 мЗв: 83 000 5-15 мЗв: 383 000 15-30 мЗв: 1 117 000 30-50 мЗв: 2 500 000
Германия	Предложение VGB, проходит пробные испытания в энергокомпаниях	1996 г.	<1 мЗв: значение отсутствует 1-10 мЗв: 300 000 марок ФРГ 10-20 мЗв: значение линейно растет, достигая 3 000 000 марок ФРГ при 20 мЗв	<1 мЗв: значение отсутствует 1-10 мЗв: 170 000 10-20 мЗв: значение линейно растет, достигая 1 695 000 при 20 мЗв
Нидерланды	Борселле	1992 г.	<15 мЗв: 1 000 000 голл. гульд. >15 мЗв: 2 000 000 голл. гульд.	<15 мЗв: 500 000 >15 мЗв: 1 000 000



ТАБЛИЦА III-3. (продолж.)

Страна	Энерго-компания	Год принятия	Денежная стоимость человеко-зиверта в национальной валюте	Денежная стоимость человеко-зиверта в долл. США
Испания	Кофрентес: система значений зависит от уровня	1994 г.	<3 чел.-Зв на реактор в год в среднем на протяжении 3 лет: 100 000 000 исп.песет >3 чел.-Зв на реактор в год в среднем на протяжении 3 лет: 150 000 000 исп.песет	<3 чел.-Зв на реактор в год в среднем на протяжении 3 лет: 667 000 >3 чел.-Зв на реактор в год в среднем на протяжении 3 лет: 1 000 000
СК	Сайзуэлл	—	Значение, установленное НСРЗ для работников: между 10 000 и 50 000 фунтов	Значение, установленное НСРЗ для работников: между 17 000 и 85 000
США	Саус Тексас	1993 г.	<10 мЗв: 500 000 долл. США >10 мЗв: 2 500 000 долл. США	<10 мЗв: 500 000 >10 мЗв: 2 500 000

**Примечание:** 1 долл. США = 37,5 бельгийских франков, 1,33 канадского доллара, 6 французских франков, 1,77 марок ФРГ, 2 голландских гульдена, 150 испанских песет, 0,6 фунта стерлингов (по состоянию на 1998 год). **СК-СЕН:** Studiecentrum voor Kernenergie Centre d'étude de l'Energie Nucléaire. **VGB:** Техническое объединение организаций, эксплуатирующих крупные электростанции. **НСРЗ:** Национальный совет по радиологической защите.

### ЛИТЕРАТУРА К ПРИЛОЖЕНИЮ III

- [III-1] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 1990 Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford and New York (1991).
- [III-2] CLARK, M.J., FLEISHMAN, A.B., WEBB, G.A.M., Optimisation of the Radiological Protection of the Public (A Provisional Framework for the Application of Cost-Benefit Analysis to Normal Operations), NRPB R-120, National Radiological Protection Board, Didcot (1981).
- [III-3] LOCHARD, J., LEFAURE, C., SCHIEBER, C., SCHNEIDER, T., A model for the determination of monetary values of the man-sievert, J. Radiol. Prot. **16** (1996) 201–204.
- [III-4] LEFAURE, C., Monetary Values of the Person-Sievert – From Concept to Practice: The Findings of an International Survey, CEPN-R-254, Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, Paris (1998).

## СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Atoyan, V.	Armenian Nuclear Power Plant Company, Armenia
Avetisyan, A.	Armenian Nuclear Regulatory Authority, Armenia
Blaikie, J.	Texas Utilities, United States of America
Boutrif, E.	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Breznik, B.	Krško Nuclear Power Plant, Slovenia
Cool, D.A.	Nuclear Regulatory Commission, United States of America
Crick, M.	International Atomic Energy Agency
Deboodt, P.	SCK·CEN, Belgium
Dobiš, L.	Bohunice Nuclear Power Plant, Slovakia
Foster, P.	Institution of Professionals, Managers and Specialists, United Kingdom
Godes, T.	Swedish Radiation Protection Institute, Sweden
Gustafsson, M.	International Atomic Energy Agency
Hudson, A.P.	National Radiological Protection Board, United Kingdom
Lund, I.	Swedish Radiation Protection Institute, Sweden
Massera, G.	International Atomic Energy Agency
Montesinos, J.J.	Consejo Seguridad Nuclear, Spain
Mrabit, K.	International Atomic Energy Agency
Na, S.H.	International Atomic Energy Agency
Nasim, B.	Pakistan Atomic Energy Commission, Pakistan
Niu, S.	International Labour Office
Owen, D.	British Nuclear Fuels plc, United Kingdom
Pradeep Kumar, K.S.	Bhabha Atomic Research Centre, India
Rodna, A.	National Commission for Nuclear Activities Control, Romania
Sadagopan, G.	Bhabha Atomic Research Centre, India
Schieber, C.	Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, France
Sharma, D.N.	Bhabha Atomic Research Centre, India
Sohrabi, M.	International Atomic Energy Agency
Valentin, J.	International Commission on Radiological Protection
Viana, R.N.	Angra Nuclear Power Plant, Brazil
Viktory, D.	State Health Institute of the Slovak Republic, Slovakia
Webb, G.A.M.	Brighton, United Kingdom
Wrixon, A.D.	International Atomic Energy Agency
Xia, Y.	China Institute of Atomic Energy, China

## **Совещания консультантов**

Вена, Австрия: 3–7 мая, 13–17 декабря 1999 года,  
22–24 августа 2000 года