

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ  
И АТОМНОМУ НАДЗОРУ  
(РОСТЕХНАДЗОР)**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ  
(НТЦ ЯРБ)**

---

**Б.Г. Гордон**

# **ИДЕОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Труды НТЦ ЯРБ  
Москва 2006**

**УДК 621.039.58(075)+621.311.25(075)**  
**ББК 31.46я7+31.47я7**  
**Г68**

**Гордон Б.Г.** Идеология безопасности. Труды НТЦ ЯРБ.  
М.: 2006. 236 с.: ил.

Автор книги пытается проанализировать представления, связанные с понятием безопасность: угроза, авария, вероятность, ущерб, риск. В системе этих понятий предложены классификации важнейших из них. Рассмотрены конкретные примеры существующих методов их расчета. Исходя из практики обоснований безопасности при использовании атомной энергии, намечены пути совершенствования количественных методов оценок безопасности, методик расчета вероятностей и риска аварий. Проанализированы показатели ядерной и радиационной безопасности, и на основе предложенной классификации выделены основные из них для оценки эффективности регулирующей деятельности и безопасности объектов использования атомной энергии.

Адрес для запросов: 107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5, НТЦ ЯРБ.  
Тел./факс: 264 28 53

Рецензенты: доктор технических наук М.В. Лисанов,  
доктор технических наук, профессор Б.Е. Шенфельд.

© Б.Г. Гордон, 2006

## Содержание

Предисловие.....	5
Введение .....	7
Глава 1. Предмет исследования .....	11
Глава 2. Классификация угроз .....	15
2.1. Активные угрозы .....	19
2.2. Потенциальные и комплексные угрозы .....	21
2.3. Ничтожные угрозы .....	24
2.4. Связь между детерминистскими и вероятностными подходами .....	24
Глава 3. Методы оценки и обоснования безопасности .....	27
3.1. Определения и классификация аварий в разных отраслях .....	29
3.1.1. Анализ подходов к описанию произошедших аварий в промышленности .....	29
3.1.2. Анализ подходов к описанию произошедших аварий на атомных объектах .....	42
3.1.3. Анализ подходов к описанию возможных аварий .....	50
3.1.4. Классификация аварий .....	53
3.2. О различии между ядерной и радиационной безопасностью .....	58
3.3. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности .....	64
3.4. Обеспечение безопасности полетов .....	75
3.5. Количественная оценка безопасности АС .....	78
3.6. Предельная оценка ядерной и радиационной опасности АС .....	86
Глава 4. Методы расчета последствий аварий .....	94
4.1. Определения и классификация ущербов .....	95
4.2. Методы расчета ущерба здоровью и жизни .....	101
4.3. Методы расчета материального ущерба промышленным объектам .....	110
4.4. Методы расчета ущерба природе .....	113
4.5. Отступление в отвлеченные сферы .....	118

Глава 5. Методы оценки риска .....	122
5.1. Определение и классификация риска .....	122
5.2. Оценка риска в общепромышленных отраслях .....	127
5.3. Оценка риска в области использования атомной энергии .....	139
5.4. Показатели эффективности регулирования безопасности при использовании атомной энергии .....	154
5.4.1. Показатели активных угроз .....	157
5.4.2. Показатели потенциальных угроз .....	161
Заключение .....	166
Приложение .....	170
Глава 6. Примеры реализации предложенной идеологии .....	170
6.1. Сопоставление молекулярной и ядерной энергетики .....	170
6.2. Перспективы реакторостроения в свете культуры безопасности .....	172
6.3. Приватен ли мирный атом? .....	179
6.4. В тени юбилея атомной энергетики .....	191
6.5. Безопасность и развитие атомной энергетики .....	201
6.6. Где искать деньги на науку? .....	212
Литература .....	225

## Предисловие

Эта книга родилась из постановки простой жизненной задачи. Представьте себе, что однажды вы проснулись в своей постели и вспомнили, что должны умереть, как и всякий житель России, с вполне конкретной вероятностью. Вы закурили, и вероятность вашей смерти, как курильщика, по-видимому, возросла. Как обычно, вы вкололи себе утреннюю дозу морфина, и вероятность смерти опять изменилась. Затем вы сели в автомобиль, приехали на аэродром, полетели на самолете, и при каждой смене транспорта вероятности гибели менялись.

Прилетев в другой город, вы обсудили эти расчеты вероятностей с коллегами, работающими на химзаводе, в шахте и на атомной электростанции, которые подвергают свою жизнь опасности как работники этих технических объектов и жители сейсмически опасного региона. И возникает вопрос: существует ли достаточная понятийная, методическая и информационная база для однозначного расчета и обоснованного сопоставления этих вероятностей, риска смерти или иного подобного показателя?

Пытаясь найти ответ, я изучил ряд книг и статей и обнаружил, что впервые подобными проблемами заинтересовались еще в XII веке в Исландии. В те времена жизнь человека, по-видимому, не была особо ценной, более важными происшествиями были пожары и падежи скота. Хозяева объединялись в союзы для частичного возмещения ущерба.

В XIV веке в подобные союзы объединялись купцы-мореплаватели, создававшие резервные фонды для компенсации убытков от возможных кораблекрушений. Размеры этих фондов зависели от частоты произошедших событий. В тот же период в Европе возникли “огневые товарищества”, аналогичные исландским. Так начиналось страхование имущества.

По мере осознания ценности жизни и с ростом благосостояния жизнь человека стала предметом страхования. Сначала оставляли определенный залог на случай плена с тем, чтобы этот залог послужил выкупом. Затем Д. Гронт в 1662 г. собрал данные о количестве смертей в Лондоне и распределил всех умерших в зависимости от причин смерти. В 1693 г. Э. Галлей, чье имя носит известная комета, разработал таблицы страхова-

ния жизни, по которым можно было оценить шансы смертельного исхода различных категорий жителей.

В середине XVII века во Франции образовали тонтинны – своеобразные кассы взаимопомощи, в которых проценты от использования капитала возрастали по мере вымирания ее членов.

В современной литературе, посвященной анализам безопасности, расчетам ущерба и т.п., можно найти много интересной информации об этой и сопутствующих проблемах. Последние десятилетия характеризуются возрастающим вниманием к вопросам страхования жизни, рискам летальных исходов, ущербам от чрезвычайных ситуаций. В федеральных законах, нормативных правовых актах правительства все чаще используется понятие риска. В законе [1] “степень риска” введена в качестве важного показателя. По этим проблемам ведутся оживленные дискуссии, проводятся конференции, недавно в России даже образованы общества по изучению риска, участвуя в которых я узнал много нового и интересного. Все эти сведения оказались столь ценными и неочевидными, что я решил изложить их в виде предлагаемой вашему вниманию книги. И надеюсь, что она будет содержательней отрицательного ответа на поставленный выше вопрос.

Считаю приятным долгом выразить признательность моим коллегам, с которыми я обсуждал основные идеи книги: А.А. Афанасьеву, С.О. Волковицкому, А.В. Любарскому, А.А. Матвееву, Г.П. Симановскому, В.П. Слуцкеру, А.А. Строганову, Р.Б. Шарафутдинову. В подготовке некоторых разделов книги мне помогали сотрудники НТЦ ЯРБ, участие которых отмечено в соответствующих сносках.

Принципиальные вопросы идеологии безопасности обсуждались с А.Б. Малышевым. Результаты этих дискуссий отражены в целом ряде разделов книги и опубликованы в [2, 3].

Я также благодарен А.М. Букринскому – первому читателю всего написанного мной, критику которого всегда учитывал с большой пользой для себя.

Выражаю также признательность коллективу отдела научно-технической информации в лице Т.В. Сеницыной за профессиональную организацию издания книги и моему референту Е.Г. Николаевой, успешно преодолевшей все технические трудности написания текста.

## Введение

Так получилось, что всю свою профессиональную жизнь я занимался проблемами, связанными с безопасностью атомных станций. Девятнадцать лет я изучал теплофизические процессы, которые могут происходить при авариях в герметичных ограждениях и активной зоне ядерного реактора, и вполне отдавал себе отчет, что усилия всех атомщиков направлены на то, чтобы эти ситуации никогда не реализовывались. Последующие девятнадцать лет я работал в институте научного обеспечения органа государственного регулирования безопасности и решал те проблемы, которые были необходимы этому органу для научного обоснования регулирующих решений. И среди них – проблему количественной оценки безопасности, зависящей от вероятности возникновения ядерных аварий. А в промежутке был Чернобыль, поставивший вопрос о праве на существование атомной энергетики и продемонстрировавший, что обеспечение безопасности является главной задачей всей атомной энергетической отрасли.

В течение своей профессиональной деятельности я напряженно размышлял над проблемами безопасности при использовании атомной энергии. События, происходившие в то время в мире, способствовали работе. Развитие техногенной сферы сопровождалось таким количеством аварий, что их анализ стал предметом пристального внимания специалистов и общественности. Природные катаклизмы не только демонстрировали свою мощь, но и серьезно воздействовали на техногенную среду. Общественные противоречия столь обострились, что отдельные страны и организации оказались способны инициировать такие катастрофы, которые по своим масштабам сравнимы с природными и техногенными.

Проблемы индивидуальной безопасности не могут быть решены в отрыве от технических, экологических, социальных и т.п. аспектов обеспечения безопасности человечества в целом. В последние 30-50 лет появилось множество научных, философских и публицистических работ, посвященных различным сто-

ронам глобальной общечеловеческой проблемы. Все это вызвало структурные перемены в организации государственной власти, в законодательстве, международном праве и т.п.

В частности, в нашей стране существовала архаичная и достаточно формальная государственная система гражданской обороны, сопряженная с рядом квазиобщественных организаций, занимавшаяся вопросами защиты населения в военное время от различных видов оружия массового поражения. Эта система превратилась в мощное государственное ведомство – Министерство чрезвычайных ситуаций, МЧС, цель которого – защита населения от природных и техногенных аварий, их предупреждение, предотвращение и ликвидация их последствий. К сожалению, несомненная востребованность этого ведомства проявляется в самых разных формах.

Из недр основанного еще Петром I Госгортехнадзора в структуре исполнительной власти возникло в 1983 г. отдельное ведомство по государственному надзору за использованием атомной энергии в мирных целях. Примерно в те же годы было образовано ведомство, которое под разными названиями решало вопросы охраны окружающей природной среды. Наряду с Госгортехнадзором и Санэпиднадзором, все эти государственные органы занимались различными аспектами безопасности человека и природы.

В настоящее время создана Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, которая в соответствии со своим Положением [4] осуществляет:

“функции по принятию нормативных правовых актов, контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды в части, касающейся ограничения негативного техногенного воздействия (в том числе в области обращения с отходами производства и потребления), безопасного ведения работ, связанных с использованием недр, охраны недр, промышленной безопасности, безопасности при использовании атомной энергии (за исключением деятельности по разработке, изготовлению, испытанию, эксплуатации и утилизации ядерного оружия и ядерных энергетических установок военного назначения), безопасности электрических и тепловых установок и сетей (кроме быто-



вых установок и сетей), безопасности гидротехнических сооружений на объектах промышленности и энергетики, безопасности производства, хранения и применения взрывчатых материалов промышленного назначения, а также специальные функции в области государственной безопасности в указанной сфере”.

В рамках этой службы разрабатывается определенная идеология безопасности, соответствующая выполняемым ею государственным задачам.

С начала 90-х годов в Российской Федерации начали формироваться структуры законодательной власти и пакет законодательных актов, посвященные этим же проблемам [5, 6], что потребовало проведения целого ряда специфических научных мероприятий. В научных институтах появились подразделения, занимающиеся различными аспектами безопасности. В ведомствах и Академии наук созданы специальные институты и научные центры. В номенклатуре специальностей научных работников появился особый раздел “Безопасность деятельности человека”, состоящий из следующих специальностей:

- безопасность труда;
- безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям наук);
- пожарная и промышленная безопасность;
- ядерная и радиационная безопасность (ЯРБ).

Приятно отметить, что последняя внесена в номенклатуру благодаря совместным усилиям Госатомнадзора, Минатома, Российской академии наук, РНЦ “Курчатовский институт”, скоординированным нашим институтом при моем активном участии.

Все это привело к тому, что вопросами безопасности занимается большое число людей в различных отраслях и организациях. В некоторых институтах введен учебный курс по программе “Безопасность жизнедеятельности”, начата подготовка специалистов по данной специальности. Но в настоящее время еще нет систематически образованных специалистов по безопасности, нет общепризнанных учебников в указанной области знаний.

Вместе с тем растет число публикаций специалистов, работающих в организациях вышеупомянутых ведомств, в других промышленных отраслях (авиационной, космической, химической, нефтегазовой и т.д.). В публикациях рассматриваются различные актуальные проблемы, используются разные подходы к решению сходных задач, подготовлены обстоятельные обзоры и обобщения научных исследований [7-17]. Анализ этих работ позволяет сформировать и изложить некоторую систему взглядов, идей, то есть идеологию безопасности, являющуюся темой данной книги. Я вполне отдаю себе отчет, что указанная система недостаточно полная, может показаться противоречивой, касается прежде всего области использования атомной энергии, в связи с чем ограничена. Но, кажется, ее публикация своевременна в качестве материала для дальнейших размышлений.

Далее будет показано, как в разных работах развиваются различные подходы к таким основополагающим понятиям, как безопасность, риск, вероятностный анализ и т.п. Каждый специалист использует их применительно к тем областям знания и объектам, которые входят в его профессиональную сферу. Зачастую даже определения понятий различны, и тогда возникают противоречия, дискуссии. Изучение упомянутых работ наводит на мысль, что противоречия преувеличены и во многом вытекают из несовершенства наших средств выражения, лингвистических проблем. Я старался избегать полемики, исходя из того, что собственный опыт каждого ученого – вполне достаточное основание для сделанных заключений, отражающих специфику различных подходов: в общей промышленности, атомной технологии, медицине, экологии и т.д.

Как известно, в Библии упоминаются две глобальные “Божьи кары”: всемирный потоп и смешение языков. В первой было сделано исключение – для семейства Ноя, вторая – постигла всех его потомков. И, кажется, кара смешением языков не в том, что одинаковые предметы называются по-разному. Эта проблема устраняется переводчиками, полиглотами, эсперантистами. **Основная беда человеческих коммуникаций состоит в том, что одни и те же слова наполняются людьми различ-**

**ным содержанием, одни и те же события описываются разными словами, и ворота Росёмон всегда открыты.** В Библии об этом нет свидетельств, но боюсь, что это и есть по настоящему глобальная Божья кара на все времена. Так что философско-лингвистическая тема имеет прямое отношение к предмету данной книги.

Поэтому следует проявлять большую терпимость к мнениям, не совпадающим с нашими представлениями. Даже, казалось бы, противоположные и взаимоисключающие определения терминов вполне пригодны для описания сходных понятий применительно к разным объектам. Такое положение характерно для периода накопления знаний, и в этой книге сделана попытка распутать кажущиеся противоречия, систематизировать и хотя бы субъективно обобщить полученные результаты различных специалистов, групп и школ.

Находясь на плоскости поверхностного знания о мире, можно питать иллюзии об окончательности и ясности некоторых собственных представлений. Но, поднимаясь на кочку профессионального ограниченного знания, видишь океан неведения, расстилающийся вокруг. И нужно хоть раз в жизни взглянуть на этот океан, чтобы потом всегда помнить о его существовании и никогда не считать даже самые здравые и логичные соображения и теории чем-то большим песчинки, отодвигающей этот океан.

## **Глава 1. Предмет исследования**

Предметом исследования является безопасность, и прежде всего следует определить данное понятие, которое в [18] трактуется как “отсутствие опасности; сохранность, надежность”, а в [19] – “отсутствие опасности”. Отметим, что прилагательное “безопасный” в [19] имеет два определения:

- “1. Не угрожающий каким-нибудь вредом, опасностью.
2. Надежно защищенный, защищающий от опасностей”.

В качестве примера для первого значения приводится безопасная бритва, а для второго – безопасное место.

Словарь фиксирует двойное значение понятия, вполне соответствующее известным категориям: материальное – индивидуальное, объект – субъект и т.п. Дихотомия (деление на две части) – один из самых древних методов исследования окружающего мира, присущий и каждому человеку, и человечеству в целом. Безопасным может быть предмет, объект, то есть это как бы одно из его свойств по отношению к человеку или природе. Безопасными могут быть состояния человека и природы при отсутствии угроз.

Собственно сами определения, как и содержащие их нормативные документы, создаются на основании лингвистической практики, опыта словоупотребления. Тонкость состоит в том, что обычные слова, переходя в технику, науку и становясь уже научными терминами, не теряют иных значений, сохраняют метафорические глубину и многозначность.

Очень важными становятся те слова, которые используются в юридических документах, особенно в законах. Законодательное определение термина – только одна сторона предмета, явления. Это как бы тень, отбрасываемая понятием на плоскость строгих юридических отношений. Хотя само понятие остается многогранным.

В частности, когда второе значение термина “безопасный” легло в основу многочисленных определений в современном российском законодательстве [20-24], его первое значение также сохранилось и использовано в тех нормативных документах, которые определяют не человеческие отношения к миру, а взаимодействие мира и человека, воздействие объекта на субъект. Когда в [24] человек, субъект был включен в понятие “окружающая среда”, то образовалось противопоставление: объект – окружающая среда, вполне согласующееся с определениями в упомянутых законах, но с акцентом на вторую часть этой пары. То есть в некоторых случаях объект воздействует на человека и окружающую человека природную среду, а в [24] среда, окружающая объект, включает в себя человека и природу и может воздействовать на объект. Приведем примеры (см. табл. 1-1).

**Таблица 1-1**

<b>Термин</b>	<b>Определение</b>	<b>Источ- ник</b>
<b>Безопасность</b>	Состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз	[20]
<b>Радиационная безопасность</b>	Состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения	[21]
<b>Пожарная безопасность</b>	Состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров	[22]
<b>Промышленная безопасность опасных производственных объектов</b>	Состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий	[23]
<b>Экологическая безопасность</b>	Состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий	[24]
<b>Ядерная и радиационная безопасность атомной станции</b>	Свойство атомной станции при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, ограничивать радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду установленными пределами	[25]

Видно, что в законах безопасность определяется как состояние окружающей среды, а в [25] – как свойство объекта. Существует целый ряд нормативных технических документов, в которых безопасность рассматривается именно как свойство объекта. Подробный перечень нормативных определений безопасности содержится в [26, 27]. Не следует противопоставлять эти определения, скорее они дополняют друг друга и не могут существовать отдельно, как у монеты всегда имеется две стороны. Хотя первое определение шире, чем второе, так как включает в себя меры защиты за границами объекта, оба понятия отражают взаимовлияние объекта, например, атомной станции (АС) и окружающей его среды, включая население, другие объекты и природу.

В [28] я отмечал, что содержание терминов – это всегда предмет соглашения, основанного на практическом опыте. Когда термин определяется законодательно, в соглашении участвует широкий круг специалистов (физики, юристы, лингвисты и т.п.), власти и общественности, иными словами все заинтересованные лица. Такое соглашение обоснованно становится нормативным. Там же для анализа свойства или состояния “безопасность” было предложено рассматривать, от чего исходит угроза (свойство объекта) и на что направлена угроза (состояние субъекта). Причем состояние субъекта не следует понимать как его самоощущение. Сон жителей Хиросимы утром 6 августа 1945 года был вполне безмятежным.

Говоря о безопасности, следует четко поставить задачу, задать вопрос, сразу проясняющий решение: безопасность кого? То есть о чьей безопасности идет речь: персонала, обслуживающего опасный объект, населения, живущего вблизи этого объекта, окружающей опасный объект среды, которой он может угрожать, или самого объекта, на который могут воздействовать его внутренние процессы или внешние силы?

И сразу становится понятно, что в зависимости от того дополнения, которое стоит после подлежащего “безопасность”, последняя будет оцениваться принципиально разными показа-

телями, будет проявляться разными способами. Иными словами, от точности вопроса зависит феноменология ответа.

Столь же важно определить, о какой безопасности идет речь: ядерной, радиационной, технологической, химической и т.п. Здесь существует своя феноменология, связанная с физической природой явлений. С этой точки зрения интересно проанализировать все определения табл. 1-1. Понятие “интересы личности” [20, 23, 24] вполне может подразумевать и человека (персонал и население), и окружающую среду, включающую как природные, так и рукотворные объекты, и, наконец, сам опасный объект, если личность заинтересована в его существовании. В определении [21] речь идет только о человеке, подразумевая, что если человек защищен, то защищена и вся окружающая его среда. А в [25] просто перечислено все, что окружает опасный объект. То есть в нормативных определениях заложена основа для предложенного подхода.

Вместе с тем в табл. 1-1 хорошо видно, от чего защищается объект: от вредного воздействия ионизирующего излучения, от пожаров, от аварий или, как обобщенно сказано в [20], от внутренних и внешних угроз. Да и во втором значении безопасность выступает как свойство объекта ограничивать угрозы установленными пределами. То есть для анализа безопасности следует рассмотреть, какие бывают угрозы, как они оцениваются и классифицируются.

## **Глава 2. Классификация угроз\***

Так же, как и в главе 1, начнем с представления используемой терминологии. Сопоставление значений терминов весьма плодотворно для понимания неизбежности различий в их определениях, выполненных разными специалистами в разное время. Подобный анализ иногда встречается в литературе, например, [29] для понятия “риск” или [30] для терминов “авария, ущерб, опасность, угроза, риск, безопасность”. В соответствующих местах книги нам и далее придется обращаться к ана-

---

\* В этом разделе частично использованы материалы [2].

лизам этих понятий, избегая попыток дать собственное “правильное” определение, так как это все-таки результат согласия специалистов. Представляется весьма интересным подход [30] к различию содержания понятий “угроза” и “опасность”. Но пока он разделяется ограниченным кругом специалистов, большинство же обычно использует эти слова как почти синонимы. Отстаивание правильности своего, хотя бы и весьма логичного подхода к словоупотреблению, возвращает нас в Вавилон. Поэтому в основе моего отношения к таким анализам лежит стремление избегать использования упомянутых слов без соответствующих эпитетов и дополнений, уточняющих их значение. В отсутствии же дополнений слова “угроза” и “опасность” все-таки будем полагать близкими по значению, а предпочтение термина “угроза” основывается на определении [20].

Классификация – важный метод познания, состоящий в делении совокупности предметов или явлений в соответствии с неким целевым принципом классификации. Этот принцип может быть объективным, реально существующим, или субъективным, удобным для передачи информации, концентрации усилий и т.п.

Классификацией опасностей, чрезвычайных ситуаций, ущербов много и плодотворно занимались специалисты МЧС [31-33], хотя формированию принципов классификации еще уделяется недостаточно внимания. При анализе угроз такой онтологический принцип – существование: ряд угроз существует в действительности, другие – в возможности. Свойства объекта и состояние окружающей его среды изучаются с целью оценки безопасности их обоих. И если объект не представляет угрозы, то он безопасен для окружающей среды. Или если среда защищена от угроз, то она находится в безопасном состоянии. При этом подразумевается, а иногда и говорится, что абсолютной безопасности не бывает, что угрозы существуют всегда и дело лишь в вероятности их реализации. Далее, в разделе 3.2, будет показано, что жизнь сложнее таких как бы очевидных соображений.



На рис. 2-1 представлена иллюстрация к классификации угроз, где вокруг технического объекта (например, объекта использования атомной энергии) расположены потенциальные жертвы, которым угрожает этот объект и которые, в свою очередь, могут стать источниками внешней опасности для этого объекта. То есть по отношению опасного объекта к окружающей среде различают угрозы человеку, в том числе и будущим поколениям, самому объекту и природе, и соответственно называют: **социальными, экономическими и экологическими**. Эта классификация угроз, опасностей, ущербов широко распространена и вполне принята сообществом специалистов [29, 34-36]. Понятно, что жизнь сложна и границы классификации несколько размыты. Человек – часть природы, активно изменяет ее, и вместе с тем его здоровье обеспечивается экономикой. Также природа – важнейший источник для экономической деятельности и источник угроз для человека. Тем не менее такое разделение удобно, и ниже, в главе 4, мы рассмотрим методы подсчета ущербов этих категорий угроз.



Рис. 2-1. Классификация воздействий

По отношению к самому объекту и угрозы, и воздействия подразделяются на **внешние и внутренние**. Внешние объекту воздействия могут иметь источником природу (землетрясения, наводнения, ураганы) или рукотворную окружающую среду (взрывы на соседнем объекте, падение самолета). Население также может создавать внешнюю угрозу путем террористических или диверсионных действий. Хорошо хоть будущие поколения не являются источником внешних угроз. Внутренние воздействия – это прежде всего аварии на самом объекте, пожары, затопления [37-39].

К сожалению, жизнь последних лет требует классифицировать угрозы по умыслу. Злоумышленные воздействия могут быть внутренними и внешними по отношению к объекту террористическими актами; среди пожаров различают поджоги и т.п. Все сказанное выше иллюстрируется на рис. 2-1 стрелками, указывающими направления возможных воздействий.

Множеству угроз, окружающих объект или человека на нем, может быть поставлено в соответствие множество способов защиты от угроз (видов безопасности): химическая, пожарная, радиационная. Действительно, от каждого вида угроз защищаются разными способами, обретая разные виды безопасности. Такой подход общепринят, например, при формировании российского законодательства.

Ничуть не лучше подход, полагающий, что безопасность одна (состояние защищенности или есть, или нет), а угроз множество. Из него не следует пока никаких продуктивных следствий. В то же время разложение безопасности на составляющие, соответствующие каждому типу угроз, позволяет адресно формировать способы защиты от них.

Анализ состояний защищенности и свойств объекта ограничивать воздействие приводит к необходимости также разграничивать вышеперечисленные угрозы на **активные, потенциальные, комплексные и ничтожные**. В отличие от вышеприведенных классификаций эта еще не общепринята и нужда-

ется в пояснениях. Проиллюстрировать ее можно известными рисунками из теории устойчивости.

### 2.1. Активные угрозы

**Активная** угроза, которую представляет объект для среды, характеризуется реальным воздействием объекта на окружающую среду, например, давлением на ногу человека (рис. 2-2а). К числу таких угроз относятся химическое или радиационное воздействия, космическое излучение и т.п. Вблизи тепловой электростанции (ТЭС), работающей на угле, в окружающую среду выбрасываются окислы серы, азота и другие химически вредные вещества. Радиоактивное излучение, в основном, сопутствует выбросам и сбросам, отчасти проникает сквозь бетонные стены биологической защиты АС и воздействует на окружающую среду.

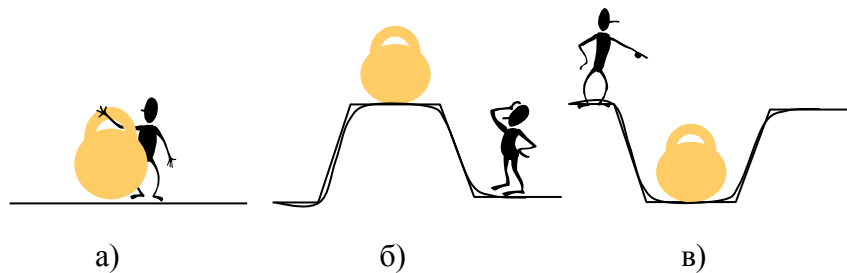


Рис. 2-2. Устойчивость равновесия

Активные угрозы могут быть **постоянными (перманентными)** и **периодическими (циклическими)**. Например, остановленная ТЭС, где нет процессов горения, химически становится безопасной, как и выключенная рентгеновская установка радиационно безопасна. В то время как неэксплуатируемая АС все равно продолжает быть постоянным источником ионизирующего излучения достаточно долгое время. Мы оставляем в стороне, как явления второго порядка малости, остаточную концентрацию химических веществ вблизи ТЭС, наведенную активность в помещении ускорителей и т.п. То есть радиация АС воздействует на среду постоянно, независимо, эксплуатируется

АС или нет, а ТЭС представляет химическую опасность периодически лишь при эксплуатации.

Эти рассуждения позволяют обосновать важное соображение, что **активные угрозы, постоянные и переменные, могут быть охарактеризованы численно, измерены инструментально и уменьшены до заведомо известных величин именно в силу детерминированности причин их возникновения.** Активные угрозы создают реальную опасность.

Концентрация химического вещества в воздухе при нормальной эксплуатации объекта может быть измерена, а с помощью фильтров – уменьшена. Точно так же может быть измерено радиационное воздействие, и его доза зависит от толщины биологической защиты, концентрации радиоактивных веществ, мощности радиационного источника и времени пребывания вблизи него. Концентрация вредных веществ, количество радиоактивных веществ, мощность дозы могут быть измерены, рассчитаны по известным аналитическим формулам, сопоставлены с нормативными значениями и между собой.

Так как химическое и радиационное воздействия могут быть измерены, то вполне допустимо сопоставление состояний одного и того же, скажем, химического завода в зависимости от его воздействия на окружающую среду при нормальной эксплуатации. При этом вполне оправдано заключение о **повышении химической безопасности** при снижении концентрации вредных веществ, которые больше предельно допустимых. Вполне допустимо сопоставлять между собой различные заводы по величинам концентрации вредных веществ и оценивать их безопасность для окружающей среды. Но как сравнивать два объекта, несущие активные угрозы различной физической природы? Для этого используются понятия предельно допустимых доз (ПДД) и предельно допустимых концентраций (ПДК). И если микробиологический завод создает в данном месте загрязнение, равное ПДК, а АС в этом же месте создает излучение ниже ПДД, то АС создает активную угрозу меньшую, чем завод, хотя и иной физической природы.

Надо подчеркнуть, что все предыдущие рассуждения касаются активных угроз, измеренных или рассчитанных для некой точки в пространстве безотносительно к человеку. В этой точке объективно существует химически опасное вещество или радиоактивное излучение, и как только человек будет помещен в эту точку, он начнет подвергаться этим опасностям. И тогда сразу возникает вероятностный по природе риск потери здоровья или смерти, о чем мы будем говорить в разделе 4.2.

А ПДД и ПДК устанавливаются по воздействию на здоровье человека, то есть по последствиям, эффекту. Причем сама величина поглощенной дозы зависит от поглощающих свойств объектов, органов человека. В упомянутую выше точку может быть помещен гриб, зверек или дерево. Для них сделанный вывод не очевиден, так как экологические последствия угроз изучены недостаточно. И вместе с тем следует помнить, что активные угрозы не исчерпывают весь спектр опасностей той же физической природы (химические, биологические, радиационные и т.д.).

## **2.2. Потенциальные и комплексные угрозы**

**Потенциальные (виртуальные, пассивные)** угрозы представляют объекты, воздействие которых на окружающую среду меньше допустимого и при эксплуатации, и при ее прекращении (рис. 2-2б). Их вредное воздействие возникает только при серьезных нарушениях эксплуатации, при авариях, возникающих случайно вследствие самых разных факторов. Поэтому потенциальные угрозы имеют вероятностную природу, а следовательно, вероятность нарушений может быть рассчитана на основании наблюдений за поведением конкретного объекта и подобных ему. Потенциальные угрозы создают виртуальную опасность, и для оценки угроз прибегают к методам анализов безопасности и риска.

Кран с поднятым грузом, сосуд, работающий под давлением, не оказывают никакого механического воздействия на окружающую среду при нормальных условиях их эксплуатации, так же, как не создает реального воздействия герметичный бал-

лон с водородом. То есть в указанных случаях воздействия на окружающую среду возникают лишь при авариях. Такой же характер носит пожарная безопасность, поскольку, по сути, пожар – это авария.

Ядерная опасность представляет собой пассивную угрозу, так как радиоактивное воздействие от ядерной аварии возникает только при ее реализации. При нормальной эксплуатации, скажем, ядерного реактора, цепная реакция контролируется, теплоотвод от твэлов не нарушается и нет иных причин, приводящих к повреждению твэлов. Иными словами, при нормальной эксплуатации ядерный реактор несет только активную радиационную угрозу, как правило, значительно меньшую допустимой, и является источником радиоактивного излучения, связанного с проникновением ионизирующего излучения за установленные физические границы.

Таким образом, ядерный реактор – пример объектов, которые несут **комплексную** угрозу, состоящую как из активной постоянной составляющей, так и из потенциальной компоненты. Радиационный источник при нормальной эксплуатации испускает радиоактивное излучение, как правило, меньшее предельно допустимого. Но в случае потери управления этим источником возникает радиационная авария, при которой радиоактивное воздействие может превысить допустимые значения. Такой же природы химические воздействия.

То есть при нормальной эксплуатации комплексные угрозы существуют в допустимых пределах, а при авариях чаще всего существенно их превышают. Величина комплексной угрозы от АС должна рассчитываться с учетом сравнительно небольшой активной детерминистской составляющей и значительно превышающей ее потенциальной, вероятностной составляющей. Здесь напрашивается аналогия с комплексными числами, которые представляют собой вектор, имеющий действительную и мнимую части. В нашем случае мнимая часть, как правило, по модулю существенно превышает действительную (рис. 2-3).

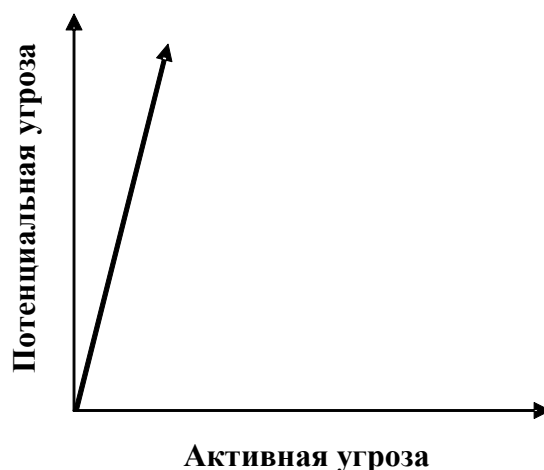


Рис. 2-3. Определение комплексной угрозы

Забегаая вперед, отметим, что аналогия между комплексными числами и угрозами, по-видимому, действительно удобна, так как была совершенно независимо реализована в [40] применительно к экологическому ущербу (раздел 4.4).

**Потенциально** опасные объекты оказывают воздействие на окружающую среду только при серьезных нарушениях нормальной эксплуатации, которые возникают случайно вследствие самых различных факторов. Это значит, что вероятность нарушений может быть рассчитана на основании наблюдений за поведением конкретного объекта и подобных ему. Если носителем активной угрозы являются вещество или энергия, воздействующие на окружающую среду, то носителями потенциальной угрозы – накопленная потенциальная энергия вещества и наши представления о вероятностях реализации и о величинах последствий ее высвобождения. Именно этим объясняются знакомые всем атомщикам факты радиофобии.

Общим местом служит утверждение о дополнительности вероятностных статистических и классических, (детерминист-

ских) методов. Разумеется, их сочетание позволяет глубже проанализировать и понять явления. Интересно, что английское hazard и французское hasard означают опасность, риск, случай, азарт, то есть в этих определениях языки фиксируют только вероятностную природу опасности. И основная проблема использования комплексных чисел для характеристики комплексных угроз состоит в принципиальном различии феноменологической природы составляющих, в различии методов расчета коэффициентов при действительной и мнимой части.

### **2.3. Ничтожные угрозы**

**Ничтожную** угрозу для окружающей среды представляет объект на рис. 2-2в. Так же взрывобезопасен кирпич или пожаробезопасен слиток золота. Среди свойств этого объекта нет угрозы для человека. Для желающих предложить изошренные условия опасности заметим, что гиря на рис. 2-2в сделана из пуха.

Часто можно слышать мнение: абсолютной безопасности не бывает, угрозы существуют всегда и т.п. Предложенная выше классификация угроз позволяет уточнить эти представления. Активные угрозы существуют всегда, они достоверны, детерминированы, но их воздействие на конкретную точку в пространстве зависит от их интенсивности, расстояния от объекта до данной точки и ослабляющих свойств окружающей среды. Пассивные угрозы также существуют всегда, но их воздействие определяется вероятностью аварии, то есть вероятностью превращения пассивной угрозы в активную, а затем упомянутыми выше показателями активной угрозы. В этом смысле ничтожные угрозы может быть и существуют всегда, но воздействие их пренебрежимо мало или вероятность их воздействия равна нулю. В разделе 3.3 мы рассмотрим вопрос о количественных мерах этого пренебрежения.

### **2.4. Связь между детерминистскими и вероятностными подходами**



В зависимости от конкретных задач исследования связь между детерминистскими и вероятностными подходами может рассматриваться от противопоставления до их объединения. И это отражается в научной литературе. Там, где установлены физические закономерности, причинно-следственная связь между параметрами какого-либо объекта, процесса или явления математически выражается в виде функциональных зависимостей. Чаще всего эти зависимости устанавливаются между интегральными или осредненными параметрами такими, как температура, давление, скорость, скажем, в теплофизике, гидродинамике, механике. Но в этих же науках при анализах погрешностей измерений или расчетов используются вероятностные подходы. Иногда детерминистский подход удобно представить как предельный случай вероятностного: как вероятность, равная единице.

Вероятностный характер событий зачастую играет шутку с теми, кто пытается их предсказать. Когда событие возможно, есть несколько сценариев его возникновения и протекания. И все они могут быть описаны и предсказаны с разными вероятностями, то есть можно оценить лишь вероятности их свершения.

А когда события уже произошли, предсказателям кажется, что они-то их предвидели, забывая о том, что, наряду с реализовавшимся событием, были и такие версии других событий, в том числе несуществование произошедшего. Бывает и так, что сам факт предсказания оказывает решающее воздействие на реализацию возможного события.

При анализах безопасности детерминистский и вероятностный подходы также применяются в зависимости от существа задач. Например, при известной активности радиационного источника эквивалентная доза в определенной точке детерминистски зависит от поглощающих свойств среды, расстояния и времени пребывания под воздействием облучения. Но заболел или нет человек, устанавливается вероятностными зависимостями на основе медицинских наблюдений. Это последствия того, что человек окажется в данной точке. Собственно будущие риски потери здоровья или потери жизни всегда носят вероятностный характер и при активных, и при потенциальных угро-

зах. Но можно представить условия, при которых человек никогда не попадет в ту точку, где существует угроза (активная или потенциальная). Если я не летаю самолетом, то не могу разбиться при его падении, большинству людей не угрожают смертью аварии на шахтах, холостому не угрожает измена жены. То есть это те случаи, когда вероятность события равна нулю.

Весьма интересен возникший сравнительно недавно подход, предлагающий вместо **вероятностных** характеристик рассматривать **возможные** [41]. В его основе вполне понятное представление: источник неопределенности – не только случайность, но и такие факторы, как неполнота знаний, неточность данных, неточность семантического описания и т.п. И предлагается при описании неопределенности и оценке риска перейти от вероятности к возможности, используя теорию нечетких множеств.

В нашем институте также была попытка применить подход [42] при анализе рисков аварий. Авторы [41] справедливо замечают, что это не просто изменение терминов, а смена парадигм. Боюсь, что мы еще не готовы к ней. Как свидетельствует история науки, смена парадигм происходит безболезненно при естественном вымирании адептов старых подходов. По крайней мере, новый подход пока не дал количественной методики оценки риска аварий, как и старый.

Подвести итоги классификации угроз можно в табл. 2-1.

**Таблица 2-1**

**Классификация угроз**

<b>Угроза</b> (внешняя и внутренняя, социальная, экономическая, экологическая)	<b>Комплексная</b>		<b>Ничтожная</b>	
	<b>Активная</b>	<b>Потенциальная</b>		
<b>Вероятность (P)</b>	Нет P = 1 (Достоверность)	Есть $0 < P < 1$	Нет P = 0	Есть

<b>Воздействие</b>	Есть	Может быть	Есть	Нет
--------------------	------	---------------	------	-----

Трактуя безопасность как состояние защищенности от угроз [20] или как свойство ограничивать угрозы [25], надо повторить, что предложенные типы угроз имеют принципиально различную феноменологическую природу. **Защита от активных угроз не спасает от потенциальных, а защита от потенциальных угроз осуществляется путем проведения иных мероприятий, чем от активных.** Кстати, отметим, что эти обстоятельства обуславливают различие между экологической и технической экспертизами. Первая чаще всего оценивает воздействия от реализации активных угроз, вторая в основном анализирует меры по предупреждению потенциальных угроз.

Пределы безопасности устанавливаются на основе имеющихся знаний о природе и размерах угроз, технических, экономических и социальных возможностей общества. Эти пределы различны для персонала, населения, окружающей среды и т.д., а также для активных и потенциальных воздействий. Существует большой соблазн при защите от комплексных угроз устанавливать показатели безопасности, исходя из рассмотрения только активных составляющих. Далее будут приведены конкретные примеры, к сожалению, и из области использования атомной энергии. Поэтому большое значение имеют методы оценки безопасности, к рассмотрению которых мы переходим.

### **Глава 3. Методы оценки и обоснования безопасности**

В классической философии рассматривается вопрос, являются ли свойства объекта внутренне присущими (имманентными) или эти свойства приписываются ему человеком в процессе познания объекта. Не исключено, что все многообразие свойств объекта может быть классифицировано по двум, как минимум, упомянутым типам: например, масса гири (см. рис. 2-1) определяется количеством молекул вещества в ней, ее объем уже зависит от температуры окружающей сре-

ды, вес – от места на планете или от планеты, на которой он измеряется, и т.п.

Понятно, что приписываемые объекту свойства могут быть или не быть измеряемыми инструментально или расчетно. Человеческий ум достаточно изобретателен для нахождения или придумывания масштаба измерения любого свойства. Этот масштаб должен быть объективен, общепризнан и удобен. Например, гуманитарные науки оперируют понятиями и свойствами, не имеющими меры. Но мы, оставаясь в сфере естественных наук, должны стремиться к установлению объективно существующих закономерностей и соответствующих мер законов, предметов и их свойств.

Проведя классификацию угроз, следует рассмотреть классификацию аварий и методы оценки измерения безопасности, понимаемой как отсутствие опасностей, угроз или доведение их до приемлемых допустимых значений. Хотя и в трактовке указанных терминов существуют разные точки зрения. В [43] предлагается в качестве антонимических пар рассматривать “опасность-неопасность” и “уязвимость-безопасность”. Но при этом допускается очень характерная для терминологических свар неточность: безопасность определяются как “состояние защищенности **объекта** от возможного вредного воздействия со стороны других, **опасных** для него объектов или факторов”.

Может быть, где-то и дано такое определение, но от законодательных дефиниций (табл. 1-1) оно отличается, ибо в них говорится о защищенности поколений, природной среды, интересов, а не объекта. В самом определении безопасности [43] речь идет о защищенности от опасных факторов, то есть, по существу, безопасность и воспринимается как отсутствие или защита от опасностей. Это характерный пример того, что следует максимально уклоняться от терминологической полемики, результаты которой всегда остаются неопределенными. Если не считать результатом сомнительное удовлетворение от последнего слова.

### **3.1. Определения и классификация аварий в разных отраслях**

Анализ литературы по изучению аварий в различных отраслях промышленности показал, что при всем многообразии определений понятий “авария”, “чрезвычайная ситуация” они характеризуются тремя показателями: исходными событиями, путями протекания и последствиями. Но количественно классифицируются в основном по последствиям: количество пострадавших, величина материального ущерба, зона воздействия и т.п. [26, 27, 44-46]. Размеры, масштабы последствий могут быть самыми разнообразными, поэтому в разных отраслях существуют различные подходы к анализам аварий.

#### **3.1.1. Анализ подходов к описанию произошедших аварий в промышленности**

Прежде всего хотелось бы отдать должное коллегам из МЧС, усилиями которых в настоящее время в России создана ясная и четкая классификация чрезвычайных ситуаций.

Чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера (далее – ЧС) классифицируются законодательно в соответствии с [44] “в зависимости от количества людей, пострадавших в этих ситуациях, людей, у которых оказались нарушены условия жизнедеятельности, размера материального ущерба, а также границы зон распространения поражающих факторов чрезвычайных ситуаций”. Содержание этой классификации удобно представить в виде табл. 3-1, количественные показатели которой лежат в основе ежегодных докладов МЧС.

Таблица 3-1

## Классификация ЧС по масштабам последствий

Характеристика ЧС		Наименование ЧС					
		Локальная	Местная	Территориальная	Региональная	Федеральная	Трансграничная
Количество пострадавших, чел.	от	1	11	51	51	500	Поражающие факторы выходят за пределы федерации либо ЧС произошла за рубежом и затрагивает территорию федерации.
	до	10	50	500	500	-	
Нарушены условия жизнедеятельности, чел.	от	1	101	301	501	1000	
	до	100	300	500	1000	-	
Материальный ущерб, млн. МРОТ	от	0	1	5	500	5000	
	до	1	5	500	5000	-	
Зона воздействия		Территория объекта	Населенный пункт, город, район	В пределах одного субъекта федерации	Два субъекта федерации	Более двух субъектов федерации	

Важно отметить, что в данной классификации все четыре показателя, по которым различаются ЧС, независимы друг от друга и наименование ЧС определяется по наилучшему из них. То есть если при Чернобыльской аварии на сегодняшний день достоверно погибло менее 500 чел., нарушены условия жизнедеятельности более 1000 чел., а материальный ущерб более 5 млрд. МРОТ, но поражающие факторы вышли далеко за границы страны, то эта ЧС должна быть отнесена к трансграничной.

Вместе с тем существуют предложения оценить стоимость человеческой жизни и нарушений условий жизнедеятельности, скажем, также млн. МРОТ. Тогда материальный ущерб в табл. 3-1 мог бы называться непосредственным, а все три показателя объединились бы в обобщенный (суммарный)

ущерб от ЧС. Разумеется, этот способ удобен, например, для сопоставления ЧС различной природы. Но в связи с тем, что со временем изменяются представления о стоимости жизни (в разных странах величины стоимости могут различаться на порядки, да и сама величина МРОТ в одной стране изменяется во времени), такой обобщенный показатель пока не нашел широкого распространения.

Имеет место и противоположный подход, в основе которого лежит утверждение, что жизнь человека бесценна, и поэтому количество пострадавших служит основным показателем опасности произошедших ЧС. По существу, это не противоречит табл. 3-1, делая ее первый показатель приоритетным.

Вместе с тем ЧС различаются по происхождению исходных событий. Например, в [47] приводятся следующие сведения о ЧС в 2000 г. (табл. 3-2).

**Таблица 3-2**

**Классификация ЧС по происхождению исходных событий и сведения о ЧС в 2000 г.**

<b>Характер ЧС</b>	<b>Количество ЧС</b>
Техногенные	606
Природные	282
Биолого-социальные	67
Крупные террористические акты	5

К числу техногенных ЧС относятся различные аварии, крушения, катастрофы на транспорте и в промышленности, обрушения зданий, пожары, выбросы химически опасных и радиоактивных веществ. Природные ЧС – это землетрясения, ураганы, природные пожары и т.д. К биолого-социальным ЧС относятся инфекционные заболевания людей и животных, поражение растений болезнями и вредителями. То есть **ЧС классифицированы по происхождению исходных событий, которые**

**уже произошли**, когда опасности и угрозы уже реализованы, пути протекания аварий и их последствия уже известны, и по **масштабам их последствий**. В основу классификации табл. 3-1 положено понятие “ущерб от ЧС”, расчеты которого будут рассмотрены далее. Материальный ущерб в табл. 3-1 – это прямой ущерб от неработоспособности объекта, потери территорий, оборудования, зданий и т.п., что подробнее будет представлено в главе 4.

В ежегодных докладах ведомств [48, 49, 50] содержатся важные сведения о числе аварий с травмированием людей, в том числе со смертельным исходом, о количестве травмированных людей. Информация классифицирована по отраслям, по федеральным округам, по субъектам федерации. В [51] содержатся данные о величинах материального ущерба по 11 отраслям. Это исходные статистические данные о произошедших событиях за отчетный год, так сказать, объективная картина аварийности и травматизма. Однако под понятие “аварии” могут попадать такие разнородные события, как, например, взрыв котла в полностью автоматизированном цехе, не сопровождающийся смертями, нарушения техники безопасности, которые не обязательно связаны с технологическими процессами в отраслях, и крупные аварии, в которых погибли 10 человек и более.

Затем эти данные обрабатываются разными специалистами по различным методикам для последующего анализа. Для получения относительных величин при сопоставлении безопасности различных отраслей используются разные правила нормирования. В угольной промышленности количество погибших относится к миллионам тонн добытого угля, в электроэнергетике – к миллиардам киловатт-часов. В разных работах величинами отнесения служат такие показатели, как количество работников, количество опасных объектов, суммарное время эксплуатации, то же время, помноженное на число работников, и т.п. Понятно, что для одной отрасли и одной методики нормирования эти данные удобны для анализа безопасности именно этой отрасли, но не для сравнения безопасности разных отраслей или объектов. Нельзя сопоставлять показатели, рассчитанные по



разным методам сбора, обработки, нормирования и тому подобной статистической информации [52-53].

В качестве примера приведем сопоставление количества аварий и количества несчастных случаев со смертельным исходом, взятые на основании табличных материалов [54] и представленные ниже в виде сводной табл. 3-3.

**Таблица 3-3**

**Ретроспективные данные о материальном ущербе и аварийности**

Отрасль промышленности	Материальный ущерб, млн. руб.			Количество аварий			Количество несчастных случаев со смертельным исходом		
	1999 г.	2000 г.	2001 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.
Горнорудная промышленность	582,7	1,63	24,7	16	15	16	100	97	106
Объекты магистрального трубопроводного транспорта	47,1	135,8	181,8	43	48	52	4	7	8
Угольная промышленность	47,0	1365	75,0	39	34	34	104	115	107
Объекты теплоэнергетики и котлонадзора	12,7	95,9	1,4	15	7	4	2	7	3
Металлургическая промышленность	4,1	10,4	45,68	5	4	6	35	33	27
Нефтегазодобывающая промышленность	3,2	5,9	22,55	19	17	17	26	35	32
Химическая, нефтехимическая и нефтеперерабатывающая промышленность	2,4	1,8	15,95	32	26	17	12	25	16
Объекты газоснабжения	2,0	7,7	1,64	32	37	47	12	12	4

Отрасль промышленности	Материальный ущерб, млн. руб.			Количество аварий			Количество несчастных случаев со смертельным исходом		
	1999 г.	2000 г.	2001 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.
Объекты подъемных сооружений	1,3	3,4	35,7	44	37	45	107	106	121
Объекты перевозки опасных грузов железнодорожным транспортом	0,8	0	3,8	1	0	4	0	0	0
Взрывоопасные объекты хранения и переработки зерна	0,4	0	36,1	3	0	1	4	5	4
ВСЕГО:	703,7	1629,53	444,32	250	225	243	407	442	428

Частоты возникновения аварий в [55] рассчитываются по формуле:

$$P_{\text{ср}}^i = \frac{1}{T} \sum \frac{A_t^i}{M_t^i}, \quad (3-1)$$

где  $A_t^i$  – количество аварий, произошедших в  $i$ -й отрасли промышленности в  $t$ -м году;

$M_t^i$  – количество опасных промышленных объектов (ОПО) в  $i$ -й отрасли в  $t$ -м году;

$T$  – количество лет, на котором проводится осреднение.

Обратим внимание, что при этом подходе количество аварий относится к числу объектов, на которых они произошли, то есть размерность  $P_{\text{ср}}^i$  – 1/колич. ОПО·год.

Результаты расчетов средней частоты возникновения аварий за период 1992-2001 гг. содержатся в табл. 3-4 на основании данных ежегодных докладов Госгортехнадзора, в которых приводятся абсолютные значения числа аварий с травмированием людей [51, 48].

Таблица 3-4

**Ретроспективные оценки частоты возникновения аварий на ОПО различных отраслей промышленности**

<b>Отрасль промышленности, вид надзора</b>	<b>Средняя за 10 лет оценка частоты возникновения аварий на ОПО</b>	<b>Оценка частоты возникновения аварий на ОПО в 2001 г.</b>
Угольная промышленность	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$
Магистральный трубопроводный транспорт	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$
Горнорудная промышленность	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$
Хранение и переработка зерна	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
Геологоразведка	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$
Добыча газа	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
Химическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая промышленность	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
Металлургические производства	$2,15 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Подъемные сооружения	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$
Газоснабжение	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$
Котлы; сосуды, работающие под давлением	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$
Добыча нефти	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$

В [48, 51, 56-57] приводятся данные о числе аварий на различных производствах. Критерий аварии – травмирование людей, и эти данные – статистическая база для последующих расчетов. Частота аварий осредняется по количеству объектов и лет, по которым проводилось осреднение.

Для полной совокупности объектов, расположенных в конкретном  $k$ -м регионе, под риском возникновения аварий понимается их частота, определенная, как:

$$P_k^s = 1 - \prod_j^{N_k^j} (1 - P_{\text{ср}}^j), \quad (3-2)$$

где  $N_k^j$  – количество опасных объектов в  $k$ -м регионе, обладающих  $j$ -м признаком опасности.

К сожалению, в [55] не определены признаки опасности. Но сопоставление с [57], из которого взяты первичные данные, позволяет заключить, что этим  $j$ -м признаком опасности является летальный исход.

$P_{\text{ср}}^j$  – частота возникновения аварий на объектах, связанных с  $j$ -м признаком опасности, – по сути, средневзвешенная оценка для частоты  $P_{\text{ср}}^i$ , рассчитываемая по формуле:

$$P_{\text{ср}}^j = \frac{\sum_i P_{\text{ср}}^i M_{10}^{ij}}{\sum_i M_{10}^{ij}}, \quad (3-3)$$

где  $M_{10}^{ij}$  – количество объектов  $i$ -й отрасли, обладающих  $j$ -м признаком опасности.

Значения частоты аварий в  $k$ -м регионе нормируются на 50 тыс. жителей по формуле:

$$\bar{P}_k^s = \frac{P_k^s}{L_k} 50000, \quad (3-4)$$

где  $L_k$  – количество населения в  $k$ -м регионе.

Полученные значения средней частоты аварий для 345 городов могут использоваться как характеристики потенциальной опасности проживания в этих городах, для оценки страхо-

вых рисков и т.п. Значения  $\bar{P}_k^s$  изменяются от  $3 \cdot 10^{-4}$  в Хосте до  $820 \cdot 10^{-4}$  в Брянске. Для сравнения: в Москве  $\bar{P}_k^s$  равна  $45 \cdot 10^{-4}$ , а в ряде “атомных” городов частота меняется от  $31 \cdot 10^{-4}$  в Озерске до  $220 \cdot 10^{-4}$  в Обнинске.

Понятно, что такое нормирование удобно для сравнения аварийности в различных регионах. Но результаты расчета средней частоты могут сопоставляться только в рамках предложенного подхода. **Численные значения и выводы имеют смысл только в рамках данного исследования, предложенной методологии, и эти данные сложно сравнивать с результатами других работ** или нормативными критериями.

Так, например, в докладе государственного надзора за безопасностью полетов за 2000 г. [58] и Межгосударственного авиационного комитета за 2003 г. [59] содержатся первичные данные об аварийных происшествиях, сведенные в табл. 3-5. При сопоставлении абсолютных величин следует учитывать, что данные [58] относятся к гражданской авиации России, а данные [59] – ко всем странам-участницам Соглашения о гражданской авиации, включая Украину, Узбекистан и т.д.

**Таблица 3-5**

**Ретроспективные данные об аварийности работ [58, 59]  
при всех видах авиаработ и перевозок**

Источник	[58]		[59]	
	1999	2000	2001	2003
Авиационное происшествие, шт.	21	17	24	16
Катастрофа, шт.	7	5	8	5
Авария, шт.	14	12	16	11
Погибло, чел.	43	20	175	106

На основании первичных данных рассчитываются относительные показатели аварийности  $K_{ап}$ ,  $K_a$  и  $K_k$  (количество

авиационных происшествий, аварий и катастроф на 100 тыс. ч налета). Для 2003 г.  $K_{ап} = 1,6 \cdot 10^{-4}$ ,  $K_a = 1,1 \cdot 10^{-4}$ ,  $K_k = 5 \cdot 10^{-5}$ . Но эти величины вряд ли целесообразно сопоставлять с данными табл. 3-4, где количество аварий относится к количеству опасных объектов, или вышеприведенными значениями  $\bar{P}_k^s$ , рассчитанными по (3-4).

В [132] в качестве универсальной величины отнесения предложено использовать понятие “аккумулированный опыт за период наблюдений”. Для анализа аварий со смертельным исходом на автодорогах этот опыт пропорционален суммарному пути, пройденному всеми автомобилями за период наблюдений. При авариях на производстве аккумулярованный опыт равен произведению количества рабочих, подвергавшихся опасности, на количество объектов, на количество рабочих дней в году и на количество лет.

При спорности такого подхода следует отметить, что авторы [132] тоже зафиксировали проблему нормирования событий для сопоставления данных в различных отраслях. Здесь уместно рассмотреть часто встречающуюся задачу: как количественно оценить вероятность аварии и какие статистические данные необходимы для ее решения. Для этой цели можно применить простую модель надежности.

Введем следующие обозначения:

- $M$  – число объектов, на которых произошли аварии;
- $t$  – текущее время эксплуатации;
- $T$  – общее время эксплуатации всех объектов;
- $N$  – число пусков (остановов) объектов;
- $n_n$  – число аварий при пуске за время  $T$ ;
- $n_s$  – число аварий при эксплуатации за время  $T$ ;

$\sum_{i=1}^M t_i$  – время эксплуатации всех  $M$  объектов до аварии.

Считаем объекты однородными, аварии при пуске (останове), событие  $A$ , и аварии при эксплуатации, событие  $B$ , независимыми, но совместимыми, так как авария при пуске исключает останов. Число событий, попадающих на любой фиксиро-

ванный интервал времени, распределено по закону Пуассона, то есть поток событий стационарный, ординарный и без последствий [60].

Тогда вероятности этих событий будут равны:

$$P(A) = \frac{n_n}{N}; \quad P(B) = 1 - \exp\left(-\frac{n_3}{T} t\right).$$

Вероятность аварии на одном объекте:

$$P(t) = P(A) + P(B) - P(AB) = 1 - \left(1 - \frac{n_n}{N}\right) \exp\left(-\frac{n_3}{T} t\right). \quad (3-5)$$

Вероятность хотя бы одной аварии на  $M$  объектах:

$$P(M) = 1 - \prod_{i=1}^M [1 - P(t)] = 1 - \left(1 - \frac{n_n}{N}\right)^M \exp\left(-\frac{n_3 \sum_{i=1}^M t_i}{T}\right). \quad (3-6)$$

Выражение (3-6) – это самая простая формула для расчета вероятностей аварии. Для расчетов по ней нужны перечисленные выше статистические данные. Особенно удобна она для периодически эксплуатирующихся объектов (космонавтика, авиация). Для постоянно эксплуатируемых объектов она еще упрощается, но и в этом случае нужно знать количество аварий  $n_3$ , число объектов, на которых произошла авария  $M$ , суммарное время эксплуатации этих объектов и общее время эксплуатации. Ни в одной форме статистической отчетности [61-62] эти данные не собираются воедино.

Рассматривая аварию как реализацию потенциальной опасности целесообразно отличать понятия свершившихся (апостериорных) аварий от возможных (априорных) (раздел 3.1.3). Свершившиеся аварии реально произошли в прошлом, сосчитаны, и на основании их статистики можно предсказать вероятность аварий в будущем. Скажем, в конкретной отрасли в течение года статистика аварий выглядит, как на рис. 3-1.

Обработка результатов позволяет экстраполировать существующую тенденцию и прогнозировать с определенной вероятностью количество аварий в следующем году. При этом весьма важно подчеркнуть, что **определение того, что считать**

**аварий, методы нормирования и методика подсчета последствий не должны меняться.**

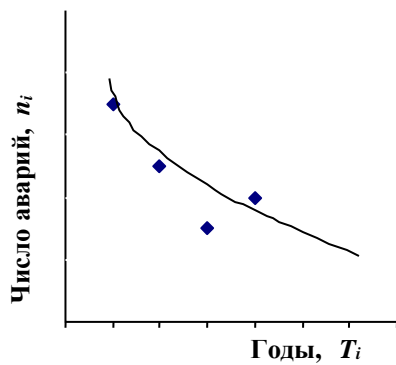


Рис. 3-1.

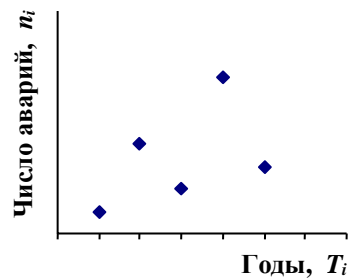


Рис. 3-2.

Статистики аварий

В этом случае можно считать еще не произошедшие в следующем году аварии детерминистски обусловленными такими факторами, как состояние и старение объектов, качество их эксплуатации, эффективность государственного надзора за безопасностью и т.д. Состояние объекта – это его технические характеристики (прочность, устойчивость, надежность и т.п.).

Качество эксплуатации включает и финансовые средства, и диагностику, и человеческий фактор, в том числе его обучаемость на сделанных ошибках, и ряд других показателей. Эффективность надзора характеризуется своими показателями: количество выявленных отступлений от норм и правил, количество инспекций, выданных предписаний, устраненных замечаний и т.п.

Тенденция к снижению числа аварий, представленная на рис. 3-1, свидетельствует о том, что затраченные ресурсы позволили преодолеть естественное возрастание энтропии. В [132] проанализирован целый ряд апостериорных аварий в различных отраслях промышленности, на автомобилях, на самолетах и т.д. При этом отмечено, что в большинстве случаев число аварий зависит от суммарного опыта работы на объектах, пройденного



пути на автомобилях, количества времени налета на самолетах так, как показано на рис. 3-1.

Утверждается, что с возрастанием так называемого аккумулярованного опыта эксплуатации число событий стремится к минимуму в результате обучения, приработки оборудования, совершенствования документов и процедур и т.п. Разумеется, та же логика могла быть использована для данных об аварийности с возрастающим числом аварий, когда ресурсов недостаточно, то есть когда персонал постоянно меняется, оборудование стареет и т.д.

Сложнее экстраполировать данные на рис. 3-2, хотя математически задача решается точно так же, только результат будет иметь больший разброс и комментировать его труднее [60]. Но общий вывод такой: **наличие аварий в прошлом обуславливает их вероятность в будущем вследствие объективности причин возникновения аварий.**

Если обозначить за  $n_i$  – число аварий, произошедших за истекший год,  $T_i$  – порядковый номер года, как на рис. 3-1 и 3-2, то для оценки аварийности можно использовать несколько показателей:

$$n_i; \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{T_k}; \frac{n_k}{\sum_{i=1}^k T_i}; \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k T_i}; \frac{n_k}{\sum_{i=1}^k M_i T_i}; \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k M_i T_i}. \quad (3-7)$$

Первый из них характеризует абсолютное число событий за один год, это исходные данные второй части табл. 3-3. Второй представляет собой суммарное число событий, произошедших за период  $T_k$ , то есть среднюю аварийность за период времени.

Следующие два показателя используют упомянутое выше суммарное время эксплуатации. Последние два показателя используют понятие аккумулярованного времени, учитывающего время работы всех объектов отрасли. Смысл его в том, что на однородных объектах учитывается опыт эксплуатации не только на тех объектах  $n_k$ , на которых произошли аварии в год  $T_k$ , но и на всех тех объектах, на которых аварии произошли в прежние

годы:  $1 \leq i \leq k$ . Если подсчеты аварий производятся каждый год, то это время, по сути, есть сумма арифметической прогрессии:

$$\sum_{i=1}^k T_i = \frac{(T_k + 1)}{2} k. \quad (3-8)$$

Такой подход позволяет учесть суммарное время эксплуатации однородных объектов отрасли. Если их число  $M_i$  использовать в оценке аварийности, то (3-1) окажется частным случаем одного из показателей (3-7). Но это ничуть не приблизит к сопоставлению этих данных с результатами табл. 3-5. Хотя по порядку величин показатели  $K_{ап}$ ,  $K_a$ ,  $K_k$  очень близки к данным табл. 3-4. Иногда кажется, что именно это близость численных значений различных оценок провоцирует сопоставление различных явлений между собой.

### **3.1.2. Анализ подходов к описанию произошедших аварий на атомных объектах**

В атомной энергетике аварийность также обусловлена объективными условиями. Среди них следует рассмотреть такие, как общее число реакторов, время их жизни и т.п. Не будем замахиваться на весь мир, рассмотрим отечественную практику. В России существует 31 энергетический реактор, которые эксплуатируются на 10 АС, и 4 остановленных реактора, выводимых из эксплуатации на двух из этих АС. Добавим к ним реактор АМ, от пуска которого в 1954 г. мировая атомная энергетика отсчитывает свое существование. Этот реактор всегда относился не к энергетическим, а к исследовательским, поэтому о нем как о первой в мире АС вспоминают лишь в периоды юбилеев атомной энергетике.

На перечисленных 36 энергетических реакторах были радиационные аварии, вызвавшие переоблучение персонала, были аварии на технологическом оборудовании, связанные с наличием воды и пара высоких параметров, взрывом водорода в машзале, и т.п. Некоторые из них сопровождалась гибелью людей, но они не всегда были связаны с радиационными по-

следствиями. Зарегистрированы и ядерные аварии, произошедшие с локальным повреждением твэлов и превышением радиационных пределов нормальной эксплуатации.

На рис. 3-3, взятом из [63], показано, как устанавливаются проектные пределы для аварий и как они связаны с эксплуатационными пределами.

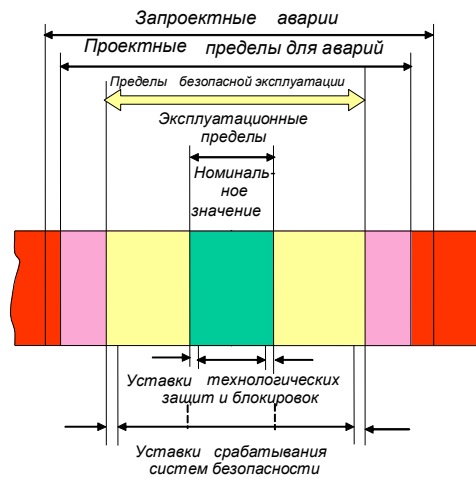


Рис. 3-3. Пределы и условия безопасной эксплуатации АС

В области использования атомной энергии аварии также классифицируются по последствиям. Каждая страна имеет свой классификатор, но разработана и международная шкала ИНЕС для сопоставления событий, произошедших в разных странах, и представления этих событий общественности (табл. 3-6).

Основной критерий, отличающий ядерные аварии от других событий, – частичное повреждение твэлов или сверхнормативное облучение персонала в соответствии с определением ядерной аварии [25]. А критерием, отличающим аварии уровней 5 и выше от 4, является необходимость защитных мероприятий за пределами площадки. Хотя при инцидентах уровней 2 и 3 может происходить переоблучение персонала, не связанное с повреждением твэлов, то есть радиационная авария.

**Таблица 3-6**

**Международная шкала ядерных событий (ИНЕС)**  
 Для передачи оперативной информации о значимости событий  
 с точки зрения безопасности объектов

<b>УРОВЕНЬ/ НАЗВАНИЕ</b>	<b>ХАРАКТЕР СОБЫТИЙ/МАСШТАБ ИЗДЕРЖЕК, \$</b>	<b>ПРИМЕРЫ</b>
<b>АВАРИИ 7 КРУПНАЯ АВАРИЯ</b>	Внешний большой выброс радиоактивного материала на крупном объекте (например, из активной зоны энергетического реактора). Обычно этот выброс состоит из смеси коротко- и долгоживущих продуктов деления (в количествах, радиологически эквивалентных более чем десяткам тысяч терабеккерелей йода-131). Такой выброс может приводить к острым последствиям для здоровья людей; отдаленным последствиям для здоровья на обширных территориях, возможно, охватывающих несколько стран; долговременным экологическим последствиям / 10 млрд.	Чернобыльская АС, СССР (в настоящее время Украина), 1986 год
<b>6 СЕРЬЕЗНАЯ АВАРИЯ</b>	Внешний выброс радиоактивного материала (в количествах, радиологически эквивалентных от тысяч до десятков тысяч терабеккерелей йода-131). При таком выбросе, вероятно, потребуется полное принятие контрмер, предусматриваемых местными планами аварийных мероприятий с целью ограничения серьезных последствий для здоровья / 1 млрд.	Перерабатывающее предприятие в Кыштыме, СССР (в настоящее время Россия), 1957 год
<b>5 АВАРИЯ, СОПРОВОЖДА- ЕМАЯ РИСКОМ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ</b>	Внешний выброс радиоактивного материала (в количествах, радиологически эквивалентных от сотен до тысяч терабеккерелей йода-131). При таком выбросе, вероятно, потребуется частичное осуществление контрмер, предусматриваемых планами аварийных мероприятий с целью уменьшения вероятности последствий для здоровья. Тяжелое повреждение установки. Оно может быть связано с серьезным повреждением значительной части активной зоны энергетического реактора, крупной аварией в условиях критичности, большим пожаром или взрывом с выбросом большого количества радиоактивности внутри установки / 100 млн.	Реактор в Уиндскайле, Соединенное Королевство, 1957 год  АС "Три-Майл Айленд"; США, 1979 год

УРОВЕНЬ/ НАЗВАНИЕ	ХАРАКТЕР СОБЫТИЙ/МАСШТАБ ИЗДЕРЖЕК, \$	ПРИМЕРЫ
<p style="text-align: center;"><b>4</b></p> <p style="text-align: center;"><b>АВАРИЯ, НЕ СОПРОВОЖ- ДАЕМАЯ ЗНАЧИТЕЛЬНЫ М РИСКОМ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ</b></p>	<p>Внешний выброс радиоактивности, приводящий к получению критической группой дозы облучения порядка нескольких миллизивертов. Необходимость в защитных мероприятиях за пределами площадки при таком выбросе обычно маловероятна, за исключением, возможно, местного контроля продуктов питания.</p> <p>Значительное повреждение ядерной установки. Такая авария может включать в себя повреждение ядерной установки, в результате которого возникают серьезные проблемы, например, частичное расплавление активной зоны энергетического реактора и соизмеримые события на нереакторных установках, требующие восстановительных работ на площадке.</p> <p>Облучение одного или нескольких работников, приводящее к переоблучению с высокой вероятностью ранней смерти / 10 млн.</p>	<p>Завод по переработке топлива в Уиндскейле, Соединенное Королевство, 1980 год</p> <p>АС “Сен-Лоран”; Франция, 1980 год</p> <p>Критическая сборка в Буэнос-Айресе, Аргентина, 1983 год</p>
<p style="text-align: center;"><b>ИНЦИ- ДЕНТЫ</b></p> <p style="text-align: center;"><b>3</b></p> <p style="text-align: center;"><b>СЕРЬЕЗНЫЙ ИНЦИДЕНТ</b></p>	<p>Внешний выброс радиоактивности, приводящий к получению критической группой дозы облучения порядка нескольких десятых миллизиверта. При таком выбросе защитные мероприятия за пределами площадки могут не потребоваться.</p> <p>События на площадке, приводящие к получению персоналом доз облучения, достаточных для возникновения острых последствий для здоровья, и (или) событие, приводящее к сильному распространению загрязнения, например, к выбросу с активностью в несколько тысяч терабеккерелей во вторичную защитную оболочку, откуда радиоактивное вещество может быть возвращено в зону хранения, удовлетворяющую соответствующим требованиям.</p> <p>События, при которых следующий отказ систем безопасности может привести к аварийным условиям, или же ситуация, в которой системы безопасности будут не в состоянии предотвратить аварию в случае возникновения определенных исходных событий / 1 млн.</p>	<p>АС “Вандельос” Испания, 1989 год</p>

УРОВЕНЬ/ НАЗВАНИЕ	ХАРАКТЕР СОБЫТИЙ/МАСШТАБ ИЗДЕРЖЕК, \$	ПРИМЕРЫ
2 ИНЦИДЕНТ	<p>События со значительными нарушениями мер обеспечения безопасности, когда, однако, сохраняется достаточная глубоко эшелонированная защита, обеспечивающая нейтрализацию дополнительных отказов. К таким инцидентам относятся также события, при которых фактически произошедшие отказы могут быть классифицированы на уровне 1, однако при этом обнаруживаются значительные дополнительные организационные несоответствия или недостатки культуры безопасности.</p> <p>Событие, приводящее к получению персоналом дозы облучения, превышающей установленную годовую предельную дозу, и (или) событие, при котором значительные количества радиоактивности на установке образуются в зонах, не предназначенных для этого по проекту, где требуется применение корректирующих мер / 10 тыс.</p>	-
1 АНОМАЛИЯ	<p>Отклонение от разрешенного режима эксплуатации, при котором сохраняется достаточная глубоко эшелонированная защита. Причиной может быть отказ оборудования, ошибка человека (оператора) или нарушение регламента (инструкций), и оно может относиться к любой сфере деятельности, охватываемой шкалой, например эксплуатации станций (установок), перевозке радиоактивного материала, обращению с топливом и хранению отходов. Примеры включают: нарушение технических требований или правил перевозки; инциденты без прямых последствий для безопасности, при которых обнаруживаются недостатки в организационной системе или культуре безопасности; небольшие дефекты в трубопроводах, превышающие ожидаемые при выполнении программы контроля / 1 тыс.</p>	-
0 ОТКЛОНЕНИЯ НИЖЕ ШКАЛЫ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Отклонения, при которых не превышаются эксплуатационные пределы и условия и которые надлежащим образом устраняются в соответствии с предписанными инструкциями. Примеры включают: однократный случайный отказ в резервной системе, обнаруженный во время периодических проверок или испытаний; нормально протекающий плановый быстрый останов реактора; ложное срабатывание систем защиты без значительных последствий; утечки в эксплуатационных пределах; незначительное распространение загрязнения в пределах контролируемых зон без широких последствий для культуры безопасности.</li> </ul>	<b>НЕ ИМЕЮТ ЗНАЧИ- МОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ БЕЗОПАС- НОСТИ</b>

Здесь же во втором столбце приведены значения уровня издержек (в долларах), необходимых для ликвидации последствий, взятые из американских источников. Шкала ИНЕС – это результат соглашения международной группы специалистов, организованной МАГАТЭ. Российская классификация событий содержится в нормативном документе [64], который в целом не противоречит ИНЕС, но является более четким, учитывающим отечественную практику.

Мне уже доводилось отмечать [28], что когда в 1998 г. было введено в действие [64], то число нарушений нормальной эксплуатации резко повысилось за счет перевода нарушений, прежде считавшихся цеховыми, в разряд стационарных, подпадающих под действие [64]. Уже в 1999 г. число нарушений на АС вновь начало снижаться.

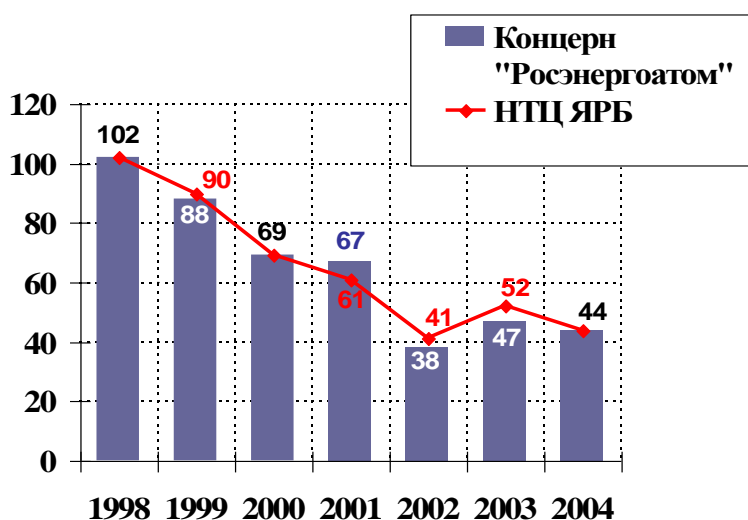


Рис. 3-4. Количество нарушений эксплуатации, оцененных концерном "Росэнергоатом" и НТЦ ЯРБ

Рис. 3-4 иллюстрирует, что количества нарушений эксплуатации, зафиксированные и оцененные концерном "Росэнергоатом" и рассмотренные независимо от него НТЦ ЯРБ, вполне коррелируют между собой.

Вместе с тем, с сожалением следует отметить, что не удалось найти систематизированные данные об инцидентах и авариях на АС с 1954 г. Это связано и с особыми условиями хранения сведений об аварийности в СССР, с отсутствием до 1983 г. независимого государственного регулирующего органа и с межведомственными проблемами обмена информацией. По существу, только с момента образования в 1979 г. ВНИИАЭС эта информация стала более-менее доступной. Во ВНИИАЭС база данных о нарушениях систематически ведется с 1986 г. Вся предыдущая информация, сформированная по документам соответствующих ведомств, до сих пор находится только на самих АС и должным образом не обобщена. НТЦ ЯРБ ведет статистику нарушений в виде базы данных “ИСИ-НАДЗОР” с 1988 г., практически сразу с момента его создания. Эти данные использованы в табл. 3-7.

**Таблица 3-7**

**Статистика аварий и происшествий  
в работе российских АС  
(по базе данных “ИСИ-НАДЗОР”)**

Дата события	АС, № блока	Уровень по ИНЕС	Категория по ПНАЭ	Краткое описание причин	Краткая характеристика последствий
14.08.1989	КУР АС 2 блок	Шкала ИНЕС еще не введена	ПНАЭ Г-12-005-87 Техническая авария	Разгерметизация ТК в районе стыка “сталь-цирконий”.	Останов блока. Без радиационных последствий.
24.03.1992	ЛЕН АС 3 блок	2	ПНАЭ Г-12-005-91 П-01	Разгерметизация ТК из-за снижения расхода теплоносителя в результате разрушения седла ЗРК (запорно-регулирующего клапана).	Выброс радиоактивных веществ в атмосферу, превышающий пределы безопасной эксплуатации.



Дата события	АС, № блока	Уровень по ИНЕС	Категория по ПНАЭ	Краткое описание причин	Краткая характеристика последствий
2.02.1993	КОЛ АС 1,2 блоки	3	П-02	Обесточивание секций надежного электроснабжения 1, 2 категорий вследствие внешнего воздействия от энергосистемы из-за ураганного ветра. При этом произошел отказ автоматического запуска всех дизель-генераторов системы аварийного электроснабжения.	Останов 1, 2 блоков действием АЗ-1. Без радиационных последствий.
14.03.1998	БИЛ АС 4 блок	3	П-01	Нарушение персоналом технологии производства работ по консервации ОТВС в бассейне выдержки. Нарушение персоналом установленного порядка контроля за радиационно опасными работами.	Радиоактивное облучение персонала, превышающее пределы безопасной эксплуатации.

Условные обозначения:

ПНАЭ – правила и нормы атомной энергетики (федеральные нормы и правила);

П – происшествия (инциденты);

ТК – технологический канал;

ОТВС – отработавшая тепловыделяющая сборка;

КУР АС – Курская АС;

ЛЕН АС – Ленинградская АС;

КОЛ АС – Кольская АС;

БИЛ АС – Билибинская АС.

Все перечисленные события – это так называемые проектные инциденты, для предупреждения и ликвидации последствий которых в проектах предусмотрены системы безопасности. И даже в тех случаях, когда события развивались по сценариям, не предусмотренным в проектных перечнях аварий, си-

стемы безопасности выполняли свое предназначение и уровень инцидентов не превышал отметок 3 по шкале ИНЕС и П-02 – по российскому классификатору.

Важно подчеркнуть, что это **классификация уже произошедших событий, характерными признаками которых являются тяжелые последствия**. Труднее классифицировать аварии, которые только **могут произойти в результате реализации потенциальных угроз**.

### 3.1.3. Анализ подходов к описанию возможных аварий

В основе представлений о потенциальных угрозах лежат различные определения того, что считать аварией. В [26] содержатся определения понятия “авария” для различных производств, в частности, для горнорудной, угольной промышленности, магистрального трубопроводного транспорта и т.п. В [27] также приводятся различные определения аварий для объектов использования атомной энергии. Следует указать на принципиальное отличие содержания понятия “авария” в атомной отрасли и в общепромышленных отраслях. В [27] основным признаком аварии является нарушение эксплуатации, при котором произошел выход радиоактивных веществ или ионизирующего излучения за установленные пределы в количествах, превышающих пределы безопасной эксплуатации.

Так вот в качестве последствий аварии в [27] нигде нет и в помине таких событий, как разрушение объекта, гибель людей, взрыв и т.п. Аварией уже называется такое событие, которое сопровождается превышением пределов повреждения твэлов даже, если оно не привело к переоблучению людей. В общепромышленных отраслях аварии характеризуются разными признаками исходных событий, путей протекания и содержанием последствий: гибель людей или загрязнение водостока, разрушение объекта или неконтролируемый взрыв, перерыв движения или приостановка эксплуатации, приводящая к возникновению чрезвычайной ситуации, способность привести к гибели или химическому загрязнению. То есть **события, называемые**

**аварий, качественно различны в разных отраслях по всем существенным признакам.**

Оценка вероятностей аварий – это предсказание, экстраполяция, суждение о событии, которое, может быть, никогда не наступит в будущем. Эта оценка выполняется технологами, специалистами, изучающими эксплуатацию тех объектов, на которых может произойти авария. На рис. 3-5 показаны примерные значения вероятностей различных событий, которые могут быть связаны между собой. Отказ оборудования приводит к аварии, в результате аварии человек может заболеть или умереть. Но это только одна из цепочек событий. Авария на летательном аппарате почти всегда приводит к коллективным летальным исходам. Авария на полностью автоматизированном объекте, расположенном вдали от населенных пунктов, может не сопровождаться воздействием на здоровье населения. Авария может произойти не вследствие отказа оборудования, а от внешних воздействий. Смысл рис. 3-5 – показать, как изменяются значения вероятностей различных последствий.

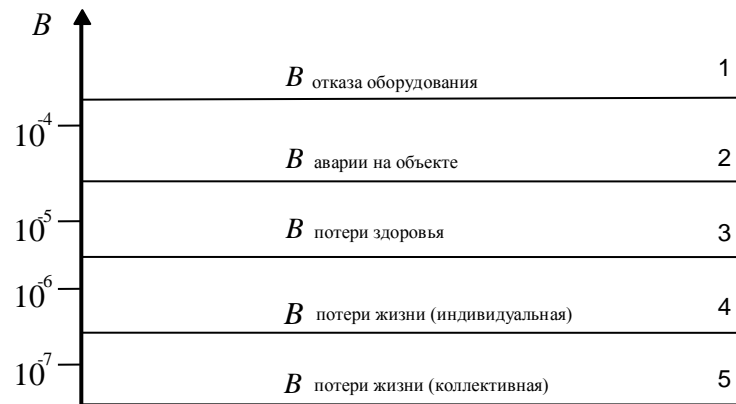


Рис. 3-5. Различные величины вероятностей

В атомной отрасли методика вероятностного анализа безопасности, о которой подробно будет говориться в разделе 5.3, дает значения частоты повреждения активной зоны порядка  $10^{-4} - 10^{-5}$  1/реактор-год. Размерность этой величины та же, что  $P_{\text{ср}}^i$ , рассчитанной по (3-1). Однако сопоставление приведенных

значений с данными табл. 3-4 неправомерно, так как в этой таблице аварией называется событие с летальными исходами. То есть в атомной технике рассчитываются вероятности события уровня 2 на рис. 3-5, а в обычной промышленности – уровня 4 и 5.

Авария всегда сопровождается выбросом энергии, вещества или, говоря обобщенно, выбросом информации о воздействии объекта на себя самого и окружающую его среду, включая человека. Последствия же оценивают различные специалисты в зависимости от сущности рассматриваемых воздействий на человека, природу, техногенную среду.

В [36] представлена современная классификация возможных радиационных аварий, описаны разные типы аварий и даже приводятся оценки их вероятностей в год, которые объединили в виде табл. 3-8.

**Таблица 3-8**

**Классификация возможных радиационных аварий**

<b>Наименование объекта</b>	<b>Вероятность возникновения радиационных аварий в год</b>
Предприятия по обогащению урана и изготовлению ядерного топлива	$10^{-3}-10^{-8}$
Объекты по переработке отработавшего ядерного топлива	$10^{-5}-10^{-6}$
Объекты по переработке и хранению радиоактивных отходов	$10^{-5}-10^{-6}$
Попадание транспортного контейнера в зону пожара при транспортировании:	-
отработавшего ядерного топлива ВВЭР-1000	$1,5 \cdot 10^{-3}$
гексафторида урана	$5 \cdot 10^{-9}$

Наименование объекта	Вероятность возникновения радиационных аварий в год
Запроектная авария на реакторах:	
ВВЭР-440	$3 \cdot 10^{-4}$
ВВЭР-1000	$5 \cdot 10^{-4}$
РБМК-1000	$5 \cdot 10^{-4}$
БН-600	$2 \cdot 10^{-11}$

Не надо забывать, что с общефилософской точки зрения каждая авария уникальна. Но анализы аварий в технике рассматриваются для того, чтобы найти их общие черты, по возможности предотвратить повторение аварий, а при необходимости уменьшить их последствия. Поэтому произошедшие аварии регистрируются, классифицируются, обобщаются и т.п., и, по сути дела, **идеология безопасности объектов, содержащих потенциальные и комплексные угрозы, имеет дело с анализами и изучением возможных нарушений нормальной эксплуатации, включая аварии.**

### 3.1.4. Классификация аварий

В различных общепромышленных отраслях существуют классификации нарушений эксплуатации и соответственно определения того, какое событие называется аварией. В частности, по критерию частоты крупных аварий в год методы изучения аварий делятся на апостериорные и априорные, то есть в одних отраслях аварии происходят, а в других предупреждаются. Под крупной аварией принято понимать такую аварию, при которой гибнет не менее 10 человек [26]. Произошедшие, апостериорные аварии анализируются статистическими методами со всеми присущими им достоинствами и недостатками.

Сразу вспоминается известное изречение, приписываемое Дж. Ст. Миллю: “Есть три вида лжи: простая ложь, наглая ложь и статистика”. Столь уничижительное определение имеет своим основанием то обстоятельство, что статистические методы опе-

рируют идеальными понятиями: однородные условия, одинаковые объекты, множество испытаний и т.п. Тогда как в реальности абсолютно одинаковые объекты отсутствуют, и все зависит от принципов, по которым условия признаются однородными.

В рассказе Джека Лондона герой, наблюдая за рулеткой, обнаружил влияние нагревания на ее колесо, что позволило ему регулярно получать крупные выигрыши. Монета со смещенным центром тяжести демонстрирует различие частот выпадения орла или решки. Но на множествах рулеток и монет при большом числе испытаний эти различия уменьшатся. При увеличении количества выстрелов постепенно и закономерно изменяются параметры и характеристики самого орудия.

Рассмотрим трубопровод, заполненный некой средой под давлением, представляющий пример потенциальной угрозы, которая возникает только в случае его разуплотнения. Статистика нарушений эксплуатации трубопроводов огромна, но последние отличаются по материалу, диаметру и толщине стенки, наличию сварных соединений, параметрам, составу и фазовому состоянию наполняющей среды и т.п. Различаются и причины разрушений трубопроводов: дефекты изготовления, монтажа, эксплуатации, коррозия и эрозия, внешние воздействия и т.п. Статистика нивелирует все эти различия, обобщая неизвестные причины произвольным образом. **Любые базы данных зависят от классификации, положенной в их основу.** То есть результат любой статистики зависит от субъективных, часто неосознанных предпосылок, принятых при отборе объектов статистики, принципов нормирования и т.п.

Целесообразно напомнить основные постулаты, положенные в основу вероятностных расчетов [60, 65, 66]. Случайные отклонения неизбежно сопутствуют любому закономерному явлению. Физические процессы протекают при различных воздействиях – основных и второстепенных. Рассеяние снарядов, бросание монеты – классические примеры приложения теории вероятностей. Снаряды движутся под действием основных сил: тяжести и сопротивления. К второстепенным факторам относятся разная масса снарядов, неоднородность взрывчатого

вещества, ветер и т.п. Но в совокупности многих однородных случайных явлений обнаруживаются закономерности. Закономерности практически не зависят от индивидуальных свойств каждого объекта испытаний при определенных условиях. На этих моментах внимание не заостряется, они подразумеваются: явления однородны, предметы одинаковы, испытаний множество и всегда есть кто-то (эксперт), кто изначально решает, какие факторы относить к основным, какие к второстепенным. От эксперта зависят постановка задачи, глубина анализа и интерпретация его результатов.

Это очень важный момент любых статистических расчетов. По сути дела, набор изучаемых аварий в какой-либо отрасли промышленности должен быть четко описан, то есть должен быть сформулирован перечень показателей, по которым статистически учитываемые события могут быть признаны однородными. В рассмотренном примере разрыва трубопровода эти показатели перечислены, и в зависимости от целей анализа аварии из генеральной совокупности всех событий следует четко выделить те из них, показатели которых характеризуют свойства объектов частных выборок.

Также четко должны быть определены характеристики аварий, по которым проводится статистический анализ:

- по исходным событиям (разгерметизация трубопроводов, падение грузов, пожар, землетрясение и т.п.);
- по последствиям (число пострадавших, количество погибших, материальный ущерб и т.п.).

Например, пожар может быть исходным событием аварии, а может явиться последствием землетрясения. Также трубопровод может разорваться из-за коррозии, а может в результате падения груза.

При сопоставлении аварий должны быть известны правила нормирования полученных результатов. В одних случаях количество погибших при аварии может относиться к общему населению страны, в других – к числу работников предприятий, при авиаперевозках, например, – к количеству авиапассажиров или количеству часов полетов и т.д. В литературе зачастую

встречаются данные о вероятностях без указания, к чему они относятся, и методов нормирования статистических результатов.

Так как авария – это реализация потенциальной угрозы, то от определения, что считать аварией, зависят статистика первичных данных об аварийности и последующие расчеты: вероятностей, ущербов и рисков аварий. Дать некое обобщенное понятие аварии возможно, но это немедленно навлечет огонь критики специалистов, в своих профессиональных областях использующих иные нормативные определения. Но надо ясно понимать, что отсутствие единого определения аварии – это та причина, по которой становится некорректным сопоставление частот аварий и вероятностей последствий аварий, возможных в разных промышленных отраслях. Классификация аварий, происходящих в разных отраслях, также весьма затруднительна. Например, в обзоре [67] в качестве характерного признака аварии принято определение из украинского стандарта: “превышение нормируемых пределов воздействия”. Оно соседствует с известным определением В.А. Легасова: “процесс разрушительного высвобождения собственного энергозапаса предприятия, создающий поражающие факторы для окружающей среды”.

Сам факт превышения нормируемых пределов воздействия, пожалуй, тоже не может служить определяющим признаком аварии. Известно, что на ряде угольных ТЭС, металлургических и химических производств предельно допустимые концентрации некоторых веществ в воздухе регулярно превышаются при “нормальной” эксплуатации этих предприятий. То есть те события, которые в атомной энергетике были бы признаны аварией, на угольных ТЭС, в металлургии или на химических производствах относятся к якобы нормальной эксплуатации. Например, в [30] отмечается регулярное превышение среднегодовых концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе предельно допустимых концентраций в 207 городах России, где проживает 65,4 млн. чел. Встречаются и такие данные [68, 69], что более 100 млн. россиян проживают в экологически неблагоприятных условиях. Вместе с тем около 40 % горожан подвергаются периодическому превышению в атмосфере ПДК вредных



веществ в 5-10 раз. С точки зрения тех, кто устанавливал атомные нормативы, эти люди постоянно проживают в условиях аварии на промышленных объектах. Согласно классификации главы 2, они подвергаются активному химическому воздействию.

Такое положение дел настолько общепринято, что в форме 1-Т государственной статистической отчетности [61, т. 3] имеются показатели, “занятые в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам” и “характеризующие работу под воздействием различных вредных производственных факторов”. По этим показателям учитывается численность работников, на рабочих местах которых шум, вибрация и т.п. превышают предельно допустимые уровни, а запыленность, загазованность и т.п. – предельно допустимые концентрации.

Там же имеется форма № 7, содержащая сведения о травматизме на производстве и профессиональных заболеваниях, фиксирующая количество пострадавших в целом, количество пострадавших со смертельным исходом, частично утративших трудоспособность и численность лиц с впервые установленным профессиональным заболеванием.

Это значит, что само по себе нарушение эксплуатации с выходом опасных веществ и (или) излучений за предусмотренные проектом или нормативными документами пределы в обычной промышленности не обязательно является признаком аварии. Или, скажем, обрушение конструкций может не сопровождаться выходом опасных веществ, не быть причиной несчастного случая и т.п. Зато на дорогах любой контакт автомобилей расценивается как авария, хотя бы никаких воздействий на человека не было. А в воздухе любой контакт летательных аппаратов практически неминуемо приводит к смертельным случаям.

Смысл всех этих рассуждений в том, чтобы показать объективно существующие сложности в определении произошедших и возможных аварий, которые влекут за собой различные в разных отраслях методики подсчета событий.

С учетом сказанного все аварии можно классифицировать (табл. 3-9).

Таблица 3-9

**Классификация аварий**

<b>Авария, ЧС</b> (техногенная, природная, биолого-социальная)	<b>Произошедшая, реализовавшаяся, апостериорная, реальное событие</b>	<b>Возможная, прогнозируемая, предполагаемая, априорная, виртуальное событие</b>	
<b>Последствия</b>	Многообразные		Фиксированные
<b>Чем оценивается безопасность</b>	Ущерб от аварии	Риск аварии	Вероятность аварии
<b>Наименование аварий в области использования атомной энергии</b>	Радиационная, ядерная и радиационная		Тяжелая запроектная (ядерная) авария

**3.2. О различии между ядерной и радиационной безопасностью**

Эпитеты в заголовке раздела столь тесно связаны, что в речи произносятся скороговоркой, а на письме входят в состав самых разных текстов, например, в название нашего института. В [28] есть глава, посвященная понятиям безопасности, используемым в атомной отрасли. В ней разграничение понятий принято для более точного применения их в нормативных документах. Этой проблеме также посвящен раздел в очень интересной и полезной книге [70], написанной ведущими специалистами Росатома в области идеологии ЯРБ.

В результате дискуссий, проходивших в конце 90-х годов, в Госатомнадзоре было выработано межведомственное соглашение о разграничении сфер надзора между Госатомнадзором и Санэпиднадзором. Рис. 1-1 удобен для иллюстрации существа соглашения. Все проблемы, связанные с надзором за

здоровьем человека (население, персонал, будущие поколения), решаются Санэпиднадзором (ныне – Роспотребнадзор). Надзор за состоянием объектов – сфера деятельности Госатомнадзора (ныне – Ростехнадзор). Иными словами здесь налицо лингвистическая проблема, требующая непременно родительного падежа после слова “безопасность”. В умах врачей – безопасность человека, в умах технических специалистов – безопасность объекта. И различные аспекты безопасности имеют различную феноменологию и обеспечиваются разными средствами.

Это вполне разумное и ясное разделение, хотя и приводило к тому, что на объекте сталкивались два ведомства, но не мешало их работе: врачи надзирали за обеспечением здоровья человека, технари – за техническими условиями обеспечения безопасности объекта. То, что надзор осуществлялся **за разными аспектами безопасности**, не проявлялось, так как не имело практического значения.

Это различие стало горячо обсуждаться после вступления в силу закона [1], когда нынешние Ростехнадзор и Росатом вели борьбу с Роспотребнадзором за право разрабатывать общий технический регламент “О ядерной и радиационной безопасности”, которая завершилась общим сотрудничеством. Но в ней, помимо амбиций руководителей ведомств, проявились содержательные проблемы, не достаточно разработанные, не вполне ясные, что позволяло умышленно или невольно манипулировать аргументами с нечетким смыслом. Идеи, развиваемые в данной книге, позволяют прояснить некоторые из этих проблем.

Освежив определения понятий в табл. 1-1, отметим, что если радиационная безопасность (РБ) определяется современными нормативными правовыми документами, то ядерная безопасность (ЯБ) в них отсутствует, и в [25] применяется только комплексное понятие “ядерная и радиационная безопасность”. В [28] подробно проанализированы причины такого употребления терминов и сделан вывод, что “именно величина последствий возможной ядерной аварии служит ее отличительным, превалирующим и решающим фактором при последующем рассмотрении разных видов опасностей”.

Используя предложенную выше классификацию угроз и аварий, разовьем этот вывод. Радиационное воздействие существует в нормальных условиях без всяких аварий, распространяется на всю планету и является **активной угрозой**. Оно усиливается вблизи скопления радиоактивных веществ, радоносодержащих минералов, таких источников, генерирующих излучение, как катодные трубки, рентгеновские установки и т.п. В [71] приводятся известные данные о сопоставлении вклада различных источников излучения в индивидуальную эффективную дозу облучения населения России (табл. 3-10).

**Таблица 3-10**

**Вклад различных источников излучения  
в индивидуальную эффективную дозу облучения  
населения России (среднее значение)**

<b>Источник</b>	<b>Доза, мЗв/год</b>
Космическое излучение	0,32
Гамма-излучение (естественные радионуклиды)	0,48
Внутреннее облучение (естественные радионуклиды)	0,37
Дочерние продукты радона	1,20
Угольная энергетика (плюс зола)	0,09
<b>Всего за счет природного фона</b>	<b>2,46</b>
Рентгенодиагностика	1,69
Ядерная энергетика:	
без Чернобыльской аварии	0,0002
с учетом Чернобыльской аварии	0,008
Профессиональное облучение	0,006
Испытания ядерного оружия	0,02
Прочие источники	0,05
<b>Всего за счет техногенных источников</b>	<b>1,78</b>
<b>Итого</b>	<b>4,24</b>

Эти данные свидетельствуют, что за счет природного фона население получает 58 %, за счет медицинских обследований – 40 %, а за счет ядерной энергетики, включая Чернобыль, профессиональное облучение и т.д., – 2 % от всей дозы. В эти 2 % входят дозы, полученные персоналом АС и других объектов использования атомной энергии. И ежедневный санитарный надзор осуществляется за соблюдением норм радиационной безопасности в условиях **активной угрозы** радиоактивного воздействия. Разумеется, такие нормативные документы, как [72, 73], содержат нормы радиационной безопасности и для аварийных условий, но надзор за соблюдением этих норм будет осуществляться только в тех случаях, когда авария произошла и условия реализовались.

Очень важно, что коллективная доза, **получаемая**, например, персоналом при нормальной работе АС в тысячи и десятки тысяч раз ниже, чем доза, которую **может получить** этот же персонал в случае аварии. Даже само построение предыдущей фразы характеризует различие между детерминистски обусловленным реальным и виртуальным, вероятностным воздействиями. То есть **обеспечение радиационной безопасности** врачами состоит в постоянном контроле получаемых доз и надзоре за соблюдением условий, при которых эти дозы, реально получаемые человеком, не превышали бы нормативных значений. Обеспечение радиационной безопасности техническим персоналом состоит в предотвращении возможных аварий, контроле и надзоре за безопасностью.

Как следует из приведенного в разделе 3.1 анализа, инциденты, которые не считаются по шкале ИНЕС ядерными авариями, в ряде случаев признаны радиационными авариями. То есть большая часть нарушений нормальной эксплуатации АС представляет собой только радиационные аварии. Происходит это благодаря существующим системам обеспечения безопасности, о которых подробнее будет говориться в разделе 3.3. И только аварии с возникновением цепной реакции, с повреждением топлива называются ядерными. При этом некоторые ядерные аварии могут сопровождаться радиационным воздей-

ствием, не превышающим санитарные нормы, благодаря работе систем безопасности (табл. 3-7).

Сказанное выше можно проиллюстрировать рис. 3-6. Большинство событий на ядерных установках с нарушением пределов безопасной эксплуатации относится к радиационным авариям. Как правило, повреждение твэлов сопровождается превышением радиационных пределов, хотя некоторые аварии могут происходить без превышения радиационных пределов для персонала. Поэтому понятие “радиационная безопасность” даже для ядерных установок значительно шире, чем ЯРБ.



Рис. 3-6. Иллюстрация понятия “ядерная и радиационная безопасность”

На таких объектах, как радиационные источники или пункты хранения, не содержащие ядерных материалов, ЯБ вообще не рассматривается.

Поэтому **обеспечение ЯРБ** состоит **в предупреждении, предотвращении** нарушений эксплуатации, включая аварии, при которых радиационное воздействие на человека может быть, как уже говорилось, много выше, чем при нормальной эксплуатации. То есть **надзор за ЯРБ имеет совершенно иные цели и использует принципиально иные средства и методы, чем надзор за РБ.**

Все это было положено в основу аргументов Ростехнадзора в пользу того, что общий технический регламент “О ядерной и радиационной безопасности” должен содержать такие правовые и технические нормы, которые направлены на предотвращение реализации потенциальной угрозы, которую несут объекты использования атомной энергии. И можно надеяться, что углубление нашего понимания сущности различия между РБ и ЯРБ приведет к более четкому взаимодействию разных ведомств и, в конечном счете, к обеспечению безопасности объектов.

В этих спорах, в анализе указанных различий выявилось еще одно важное обстоятельство, связанное с многозначностью определений. Когда в 1896 г. Беккерель открыл, что соли урана испускают неизвестное излучение, он назвал это явление радиоактивностью (деятельное излучение). Через два года супруги Кюри обнаружили новый элемент и назвали его радий (излучающий). Было показано, что это излучение состоит из  $\alpha$ -частиц,  $\beta$ -частиц (электронов) и  $\gamma$ -излучения (электромагнитные волны с частотой, большей рентгеновских). Впоследствии обнаружены ядерные реакции, в результате которых излучаются позитроны, нейтроны, протоны, кластеры (ядра легких элементов). То есть в результате ядерных реакций излучаются и частицы, и волны. В ядерной физике под термином радиация чаще всего понимается именно  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучение.

В общей физике радиация – это синоним любого излучения, представляющего собой электромагнитные волны (солнечная радиация, перенос тепла радиацией и т.п.). Например, радиационная температура не имеет отношения к радиационной безопасности и представляет собой температуру абсолютно черного тела. Эта хорошо известная специалистам терминологическая многозначность конкретизируется контекстом и, в частности, не мешает понимать под РБ защищенность от радиоактивного излучения, вызванного ядерными реакциями.

Но в обиходе слово “радиация” используется чаще всего в узком смысле как радиоактивное излучение, с конкретизацией тем самым и понятия “радиационная безопасность”. Вот почему

в [21] используется понятие “источник ионизирующего излучения”, которое отражает специфику воздействия излучения на человеческое тело, связанного с ионизацией его атомов. Это общее понятие, объединяющее все источники: и атомные станции, и радиационные источники, и ядерные материалы, и радиоактивные вещества по их воздействию на человека. Ионизирующее излучение не включает в себя световое и ультрафиолетовое излучение, так как энергии этих волн, как правило, не достаточно для ионизации атомов, из которых состоят биологические молекулы.

Таким образом, РБ – это состояние защищенности прежде всего биологических объектов от ионизирующего излучения, а ЯРБ – свойство объекта использования атомной энергии при нормальной эксплуатации и нарушениях эксплуатации, включая аварии, ограничивать все воздействия, в том числе и радиоактивное излучение, нормативными пределами. Данный комментарий разъясняет нормативные определения этих понятий

### **3.3. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности**

Рассмотрим подробнее ядерный реактор как объект, представляющий собой характерный пример комплексной угрозы. Для комплексной угрозы должна быть предусмотрена комплексная защита. В ядерной энергетике наличие такой защиты требуется нормативным документом [25]:

“Безопасность АС должна обеспечиваться за счет последовательной реализации концепции глубоко эшелонированной защиты, основанной на применении системы физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности, а также по защите работников, населения и окружающей среды.

Система физических барьеров блока АС включает в себя топливную матрицу, оболочку твэлов, границу контура теплоносителя реактора, герметичное ограждение реакторной установки и биологическую защиту”.



Система технических и организационных мер в соответствии с современными нормами должна образовывать пять уровней глубоко эшелонированной защиты и включать следующие уровни:

- условия размещения АС и предотвращение нарушений нормальной эксплуатации;
- предотвращение проектных аварий системами нормальной эксплуатации;
- предотвращение запроектных аварий системами безопасности;
- управление запроектными авариями;
- противоаварийное планирование.

“При нормальной эксплуатации все физические барьеры должны быть работоспособными, а меры по их защите находиться в состоянии готовности. При выявлении неработоспособности любого из предусмотренных физических барьеров или неготовности мер по его защите РУ\* должна быть остановлена и приняты меры по приведению блока АС в безопасное состояние.

Технические и организационные решения, принимаемые для обеспечения безопасности АС, должны быть апробированы прежним опытом или испытаниями, исследованиями, опытом эксплуатации прототипов и соответствовать требованиям нормативных документов. Такой подход должен применяться не только при разработке оборудования и проектировании АС, но и при изготовлении оборудования, сооружении и эксплуатации АС, при реконструкции АС и модернизации ее систем (элементов)” [25].

Любые системы (элементы), из которых состоит АС, подразделяются на **активные**, функционирование которых зависит от работы другой системы, и **пассивные**, функционирование которых связано с вызвавшим ее работу событием и не зависит от работы другой активной системы. В свою очередь, пассивные системы делятся на системы с механически движущимися частями (такими, как обратные клапаны) и системы без движущихся частей. К последним относятся трубопроводы, сосуды, защитная оболочка и т.п. То есть физические барьеры

---

\* РУ – реакторная установка.

глубоко эшелонированной защиты представляют собой пассивные системы без механически движущихся частей. Целостность же этих барьеров обеспечивается как активными, так и пассивными системами безопасности.

Основными источниками радиоактивного излучения при нормальной эксплуатации являются ядерное топливо, расположенное в активной зоне, и отработавшие тепловыделяющие сборки – в бассейне выдержки. Активная зона проектируется таким образом, чтобы при нормальной эксплуатации и проектных авариях обеспечивалась ее механическая устойчивость и отсутствие деформаций, нарушающих нормальное функционирование средств воздействия на реактивность и аварийные остановки реактора или препятствующих охлаждению твэлов.

Полезно перечислить принципы обеспечения безопасности, сформулированные МАГАТЭ в одном из последних документов [74]:

1. Практическая деятельность и вмешательства, сопряженные с радиоактивным облучением, подлежат обоснованию.
2. Дозы облучения для отдельных лиц поддерживаются на уровне ниже установленных пределов.
3. Меры безопасности подлежат оптимизации, а аварии должны предотвращаться.
4. Необходимо уделять должное внимание всем возможным случаям облучения человека как в настоящем, так и будущем, являющимся результатом практической деятельности или вмешательства.
5. Необходимо уделять должное внимание возможным последствиям деятельности для окружающей среды, в том числе для иных биологических видов, нежели человеческие.
6. Вся полнота ответственности за защиту и безопасность остается за оператором.
7. Правительственные органы должны устанавливать, реализовывать и поддерживать правовую и государственную инфраструктуру, предназначенную для за-

- щиты и безопасности, включая действительно независимый регулирующий орган.
8. Регулирующий орган устанавливает требования к защите и безопасности, соразмерные уровню регулируемого риска.
  9. Для целей защиты и безопасности создается, реализуется и поддерживается система административного управления.
  10. Глобальная стратегия достижения цели безопасности состоит в применении концепции глубоко эшелонированной защиты.
  11. Необходимо систематически выполнять и через определенные промежутки времени пересматривать оценку безопасности и верификацию по видам осуществляемой деятельности.
  12. Заблаговременно принимаются меры для эффективного снижения последствий любого непредусмотренного события, которое может подвергнуть риску меры защиты и безопасность.

И все перечисленные выше пять барьеров призваны снизить эту угрозу до значений, меньших нормативных. Существует ряд также нормативно установленных показателей, которые характеризуют состояние безопасности при эксплуатации энергоблоков АС. Эти показатели ежегодно представляются в отчетах эксплуатирующей организации [75-77] для характеристики:

- эффективности работы энергоблока;
- герметичности твэлов;
- герметичности контура теплоносителя реактора;
- неготовности систем безопасности;
- неготовности системы управления и защиты реактора;
- частоты срабатываний систем безопасности;
- устойчивости работы энергоблока;
- снижений мощности энергоблока;
- срабатывания аварийной защиты реактора;
- качества технического обслуживания и ремонта;

- неправильных действий персонала;
- эффективности радиационной защиты населения и окружающей среды;
- уровня радиационной защиты персонала;
- количества и условий обращения с радиоактивными отходами.

Похожие показатели используются в Германии [78, 79], где надзор за безопасностью энергоблоков АС выполняется органами технической инспекции по поручению региональных министерств экологии, здравоохранения и защиты потребителей. В [80] приведен перечень из шести основных индикаторов, которые, по мнению немецких специалистов, достаточно полно характеризуют безопасность объекта:

- число активируемых нарушений нормальной эксплуатации;
- активность теплоносителя первого контура;
- число несчастных случаев;
- коллективная доза облучения станционного персонала;
- величина выброса радиоактивных газов;
- объемы низко- и среднеактивных отходов.

В настоящее время некоторые из упомянутых выше отечественных нормативных документов пересматриваются с учетом появившихся за последние годы рекомендаций МАГАТЭ и накопленного опыта эксплуатации самого концерна “Росэнергоатом”. Тем не менее весьма интересно рассмотреть эти показатели с учетом предложенной классификации угроз.

Показатели **эффективности работы энергоблока** являются интегральными характеристиками работы блока на мощности за отчетный период времени [75]. Безусловно, комплект указанных показателей характеризует безопасность АС, но каждый из них делает это по-разному. Эффективность работы энергоблока, строго говоря, не может быть признана показателем безопасности, так как характеризует устойчивость и стабильность работы энергоблока и скорее служит показателем **экономичности**.

Зато весьма характерным примером для практики расчета апостериорных показателей является подход к расчету коэффициента использования установленной мощности (КИУМ). По нему принято сопоставлять эффективность работы энергоблоков между собой, а также отечественные блоки с зарубежными. Так вот иногда встречаются графики роста КИУМ без учета блоков, остановленных на модернизацию. Разумеется, такой метод дает возможность получать более высокие значения КИУМ, и отечественные блоки оказываются не так уж сильно отстающими от зарубежных.

В данном подходе есть определенная логика: принимать во внимание только реально эксплуатируемые блоки. Если бы эта логика была признана и за рубежом. В противном случае есть все основания считать, что такие показатели скорее искажают картину и вводят в заблуждение. То есть это характерный пример того, что при сопоставлении любых показателей, относящихся к разным объектам, методики их расчета, допущения и принципы нормирования должны быть идентичными.

Показатели **герметичности твэлов** рассчитываются по удельной активности теплоносителя, индикатором которой выбирается активность нуклида, характерного для конкретного реактора, с учетом работы систем контроля герметичности оболочек и очистки теплоносителя. По этим данным рассчитываются параметр потока отказов тепловыделяющих сборок (ТВС) из-за разгерметизации и средний параметр потока обнаружения ТВС с негерметичными твэлами, которые сопоставляются с нормативными значениями эксплуатационных пределов повреждения твэлов и пределами безопасной эксплуатации твэлов. То есть эти показатели характеризуют **активную постоянную** составляющую **радиационной** безопасности, связанную с нарушением второго барьера глубоко эшелонированной защиты. Такие измеряемые показатели могут рассматриваться как предвестники **ядерной** аварии, так как существуют нормативные пределы безопасной эксплуатации твэлов, превышение которых расценивается как авария.

Показатели **герметичности контура** теплоносителя для разных типов реакторов, показатели **неготовности систем управления** и защиты реактора рассчитываются на 1000 ч работы, исходя из обнаруженного количества неплотностей и отказов систем управления и защиты. Показатель герметичности контура так же, как показатель герметичности твэлов, характеризует **активную постоянную** составляющую **радиационной** безопасности, связанную с нарушением третьего барьера, и также может рассматриваться как предвестник ядерной аварии, поскольку даже небольшая неплотность контура теплоносителя может оказаться иницирующим событием крупного разрушения. Показатели же неготовности упомянутых систем характеризуют нарушения нормальной эксплуатации, не влияют на радиационную безопасность, но свидетельствуют о недостатке обеспечения **ядерной** безопасности.

То же можно сказать о показателях **неготовности систем безопасности**, которые характеризуются вероятностью отказа на требование и рассчитываются отдельно для каждой системы, для каждого типа реактора, и о показателях **частоты срабатывания систем безопасности**, учитывающих поток включений систем в работу по требованию. Количество отказов – величина измеряемая, а вот оценка, приводит ли отказ к невозможности осуществлять проектную функцию, выполняется экспертно. Понятно, что неготовность или несрабатывание систем безопасности в отсутствие аварий также никак не влияют на радиационную безопасность, но свидетельствуют о недостатке обеспечения ядерной безопасности.

**Устойчивость работы** энергоблока характеризуется показателями: **снижения мощности** и **срабатывания аварийной защиты** на 1000 ч работы. Причем последний относится многими специалистами к числу важнейших, учитываемых в опубликованных отчетах концерна “Росэнергоатом” о нарушениях [81-82]. Разумеется, количество остановов реактора действием автоматической защиты из критического состояния относится к числу событий, свидетельствующих о нарушениях нормальной эксплуатации. Но вместе с тем это свидетельство защищенности

реактора от воздействия, не сопровождающегося радиационными последствиями и не являющегося предвестником ядерной аварии. Например, на исследовательских реакторах срабатывание аварийной защиты – обычное явление и рассматривается как элемент их нормальной эксплуатации. То есть эти показатели характеризуют скорее стабильность работы энергоблока, чем его ядерную и радиационную безопасность. Кстати, в годовых отчетах этот показатель приводится в разделе “Устойчивость работы энергоблока” [83].

Показатели **качества технического обслуживания** и ремонта характеризуются числом отказов оборудования важных для безопасности систем, приведших к нарушению работы энергоблока и имевших причинами некачественный ремонт, который может инициировать радиационную аварию и стать причиной ядерной. К сожалению, опыт эксплуатации фиксирует относительно частое число событий, приведших к нарушениям эксплуатации по причинам некачественного ремонта. Но их надо рассматривать по существу, так как в их результате могут быть радиационные последствия и (или) предвестники ядерных аварий, а могут и не быть. Здесь также эксперты определяют, являлись ли техническое обслуживание и ремонт причинами зарегистрированных отказов.

Показатель **неправильных действий персонала** определяется количеством неправильных действий, приведших к возникновению и развитию нарушений в работе энергоблока. Это очень важный показатель, так как в большинстве крупных аварий человеческий фактор играл определяющую роль. Многие помнят бериевский императив: “У каждой аварии есть фамилия”. На АС ежегодно готовится специальный отчет по культуре безопасности в соответствии с [76]. Неправильные действия могут сопровождаться радиационными последствиями, могут стать причиной ядерной аварии, а могут и не иметь радиационных последствий. То есть в зависимости от их существа они могут характеризовать и активную, и потенциальную угрозу. Количество неправильных действий персонала, приведших к воз-

никновению нарушения в работе энергоблока и к развитию нарушения, определяется экспертно.

К показателям **эффективности радиационной защиты** относятся:

- величина эффективности очистки выбрасываемого воздуха от радиоактивных аэрозолей и йодов на фильтрах газоочистки (по результатам регламентных проверок);
- величина общей эффективности снижения выбросов инертных радиоактивных газов установкой подавления активности на тех энергоблоках, где она имеется;
- отношение измеренного значения общей активности и активности отдельных радионуклидов в выбросах к их допустимому значению;
- отношение измеренного значения объемной активности жидких сбросов и объемной активности отдельных радионуклидов в них к допустимому значению величины общей объемной активности и активности отдельных радионуклидов.

Эти величины рассчитываются по показаниям системы радиационного контроля и также, как и следующие, характеризуют активную угрозу.

Показатели **уровня радиационной защиты** персонала определяются суммой годовых эквивалентных доз, полученных всеми контролируемыми лицами. Они также рассчитываются по результатам измерений годовых эквивалентных доз. И, наконец, показатели **обращения с радиоактивными отходами** характеризуются абсолютными измеряемыми величинами по массе, объему и активности отходов, отнесенными к мегаватту установленной мощности, а также относительными количествами отверженных, переработанных, подготовленных к захоронению и т.п. отходов в зависимости от их агрегатного состояния.

Все эти показатели характеризуют различные аспекты ядерной и радиационной безопасности (активные и потенциальные угрозы). Одни показатели рассчитываются по результатам



измерений, другие оцениваются экспертно, третьи рассчитываются с использованием мнений экспертов. По некоторым показателям могут сопоставляться различные состояния энергоблока АС или разные АС между собой, но вся их совокупность **не позволяет давать комплексную оценку ядерной и радиационной безопасности**, пригодную для количественного сравнения состояний энергоблока АС. Более того, можно заключить: само наличие нескольких показателей безопасности ведет к тому, что оценка различных состояний АС по значениям этих показателей может быть сделана лишь экспертно, что, по нашему мнению, существенно снижает значимость такой оценки.

Действительно, если сравнивать два состояния одного энергоблока, для которых показатель  $A$  выше, чем у другого, а показатель  $B$  ниже, то надо иметь “веса” этих показателей, то есть знать величину вклада показателей  $A$  и  $B$  в значение безопасности или иметь функциональную зависимость безопасности от показателей. А так как этого нет, то характеристики потенциальной составляющей **ядерной безопасности** АС, которая может быть нарушена в результате аварии, оцениваются экспертно. Предполагается, что безопасность определяется тенденцией изменения указанных показателей при эксплуатации. Таков общепринятый подход. Но остается открытым вопрос, как оценивать безопасность даже одного объекта в разные периоды времени, если тренды различных показателей меняются по-разному.

Иногда кажется, что мы, как слепцы из индийской притчи, ощупываем разные части слона, принимая его то за змею, то за столб, то за черепаху.

Если мощность дозы в месте установки какого-либо детектора системы безопасности возрастает выше нормативно установленных пределов, то это свидетельствует или о нарушении барьера безопасности, или о дефекте технических мер обеспечения безопасности. Но в зависимости от физических причин возрастание радиоактивной дозы может быть, а может и не быть предвестником ядерной аварии. Во всяком случае данный инцидент – нарушение нормальной эксплуатации, который

регистрируется, расследуется и запоминается. По результатам расследования принимаются меры, и эксплуатирующая организация тщательно анализирует все нарушения нормальной эксплуатации. При некоторых из них, также нормативно установленных, подобный анализ независимо проводят органы государственного регулирования безопасности [64].

Само количество нарушений нормальной эксплуатации также считается показателем безопасности, хотя, повторяю, отдельные из них сопровождаются активными угрозами радиоактивного загрязнения, некоторые могут рассматриваться предвестником ядерной аварии, другие свидетельствуют об устойчивости работы энергоблока, о чувствительности и работоспособности систем безопасности. В целом же количество нарушений нормальной эксплуатации отчасти характеризует безопасность АС, а отчасти – **стабильность эксплуатационных режимов**. И большое число нарушений не сигнализирует о наличии потенциальных угроз, также как и отсутствие нарушений не свидетельствует о ядерной безопасности. Хорошо известно, что при малых количествах нарушений нормальной эксплуатации до 26 апреля 1986 г. Чернобыльская АС была одной из лучших. Хотя по количеству управляющих воздействий за смену РБМК, эксплуатировавшихся до Чернобыльской аварии, существенно превышали другие типы реакторов.

Действующая практика управления использованием атомной энергии придает большое значение количеству нарушений нормальной эксплуатации. Разумеется, это правильно, но зачастую указанный показатель абсолютизируется и воспринимается, как основной показатель безопасности просто потому, что иных мы не знаем. И в отчетах эксплуатирующих организаций, и в докладах высокопоставленных руководителей, например, количество срабатываний аварийных защит напрямую связывается с ядерной безопасностью АС, хотя радиационных последствий такие инциденты не имеют.

Как в старом анекдоте, мы ищем монету не там, где потеряли, а там, где светлее. Количество нарушений нормальной эксплуатации – величина важная, понятная, имеющая отноше-

ние к ядерной безопасности, но не являющаяся ее основным показателем. То есть комплексную угрозу, которая представляет собой ядерная опасность, можно оценивать только вероятностными методами, к рассмотрению которых мы обратимся в главе 5.

### 3.4. Обеспечение безопасности полетов

Для иллюстрации различных подходов к анализам безопасности в разных отраслях рассмотрим, как обеспечивается и оценивается безопасность полетов, используя [11-13].

Обеспечение безопасности полетов включает в себя:

- строгую регламентацию проектирования, постройки, испытаний и сертификации воздушного судна, его двигателей и оборудования ( $V_{из}$ );
- полный перечень технических требований и нормативов к характеристикам воздушного судна, его элементам, системам, агрегатам и оборудованию ( $V_{тт}$ );
- систему технической эксплуатации с приложением регламентирующей документации для каждого типа и парка воздушных судов в целом с включением перечня обязательных правил по их подготовке и обслуживанию ( $V_{тэ}$ );
- технические требования и нормативы к аэропортам, гражданским аэродромам и воздушным трассам и их оборудованию, а также правила их сертификации ( $V_{аз}$ );
- правила, устанавливающие организацию управления воздушным движением ( $V_{увд}$ );
- организационную схему и порядок работы службы метеобеспечения полетов ( $V_{мет}$ );
- систему организационных мероприятий, обеспечивающих безопасную летную эксплуатацию авиационной техники ( $V_{лэ}$ );
- систему расследования авиационных происшествий и разработку мероприятий по их предотвращению ( $V_{р}$ );

- систему обобщения опыта эксплуатации воздушных судов и других элементов авиационной транспортной системы ( $V_{OЭ}$ );
- систему контроля обеспечения безопасности полетов на всех этапах создания и эксплуатации воздушного судна ( $V_{КЭ}$ ).

В общем виде безопасность полетов можно представить как функционал:

$$V = (V_{ИЗ}, V_{ГТ}, V_{ГЭ}, V_{АЭ}, V_{УВД}, V_{МЕТ}, V_{ЛЭ}, V_{Р}, V_{OЭ}, V_{КЭ}),$$

где всю совокупность аргументов можно рассматривать как совокупность **критериев безопасности**.

Этот функционал – **комплексная характеристика безопасности** воздушного транспорта и авиационных работ, определяющая способность выполнять полеты без угрозы для жизни и здоровья людей.

Для обеспечения безопасности полетов воздушное судно допускается к эксплуатации в условиях, называемых *ожидаемыми условиями эксплуатации*, которые определяют область расчетных условий, эксплуатационных ограничений, рекомендуемых режимов полета и включают:

- параметры состояния внешней среды;
- эксплуатационные факторы;
- параметры и режимы полета.

В результате отклонения параметров полета от заданных возникает *особая ситуация*.

*Особая ситуация* – ситуация, возникающая в полете в результате воздействия неблагоприятных факторов или их сочетания и приводящая к снижению безопасности полетов.

К неблагоприятным факторам относятся:

- отказы и неисправности элементов функциональных систем;
- воздействие неблагоприятных внешних условий;
- недостатки в наземном обеспечении полета;
- ошибки и нарушения правил эксплуатации функциональных систем и пилотирования;

- проявление неблагоприятных особенностей аэродинамики, устойчивости, управляемости и прочности воздушного судна.

Особые ситуации делятся на следующие виды, для которых в единых нормах летной годности транспортного самолета установлены вероятностные критерии согласно [87]: усложнение условий полета – особая ситуация, характеризующаяся незначительным увеличением психофизиологической нагрузки на экипаж или незначительным ухудшением аэродинамических характеристик. Усложнение условий полета не приводит к изменению плана полета. Для усложненных условий полета допустимая вероятность не регламентируется, но желательна не более  $10^{-3}$ .

Сложная ситуация – особая ситуация, характеризующаяся заметным повышением психофизиологической нагрузки на экипаж, заметным ухудшением летных характеристик, выходом одного или нескольких параметров за эксплуатационные ограничения, но без достижения предельных ограничений. Полет возможен, но требуется немедленное изменение плана, профиля или режима полета. Суммарная вероятность возникновения сложной ситуации, вызванной отказным состоянием, не должна превышать  $10^{-4}$  на 1 ч полета, при этом вероятность отказного состояния должна быть менее  $10^{-5}$ .

Аварийная ситуация – особая ситуация, характеризующаяся значительным повышением психофизиологической нагрузки на экипаж, ухудшением летных характеристик, приводящих к достижению (превышению) предельных ограничений. Суммарная вероятность возникновения аварийной ситуации, вызванной отказным состоянием, не должна превышать  $10^{-6}$  на 1 ч полета, при этом вероятность отказного состояния должна быть менее  $10^{-7}$ .

Катастрофическая ситуация – особая ситуация, при возникновении которой предотвращение гибели людей или потери воздушного судна оказывается невозможным. Суммарная вероятность возникновения катастрофической ситуации, вызванная отказным состоянием, не должна превышать  $10^{-7}$  на 1 ч полета,

при этом вероятность отказного состояния должна быть менее  $10^{-9}$ .

Особые ситуации по вероятности возникновения, отнесенной к 1 ч полета или к одному полету, разделяются на следующие:

- повторяющиеся –  $> 10^{-3}$ ;
- умеренно вероятные –  $10^{-3} \div 10^{-5}$ ;
- маловероятные –  $10^{-5} \div 10^{-7}$ ;
- крайне маловероятные –  $10^{-7} \div 10^{-9}$ ;
- практически невероятные –  $< 10^{-9}$ .

Разумеется, естественная ограниченность моих профессиональных знаний не позволяет дать критику рассмотренных показателей безопасности полетов, как это сделано в предыдущем разделе. Но важно подчеркнуть, что все эти вероятностные критерии – результат анализа произошедших событий, среди которых основное место занимают произошедшие аварии. А в разделе 3.3 рассмотрены произошедшие нарушения нормальной эксплуатации с целью предотвращения перерастания их в аварии. То есть приведенные выше вероятностные показатели основываются на реальных авариях, тогда как в атомной отрасли такой статистики практически нет. Однако, нелишне напомнить, что эти события происходили на разных типах летательных аппаратов, имеющих разную грузоподъемность, продолжительность полетов и т.п. Кроме того, после- и предполетная подготовка и диагностика призваны снизить виртуальную возможность события и в конечном счете обеспечивают высокую безопасность полетов.

### **3.5. Количественная оценка безопасности АС**

Безопасность относится к числу измеряемых или рассчитываемых свойств объектов. Однако в силу различной феноменологической природы угроз масштабы, меры и размерности различных типов угроз оказываются разными.

Даже в энциклопедической монографии [63] раздел о показателях безопасности нельзя признать удовлетворительным.

Например, в качестве интегральных показателей предлагаются следующие.

1. Математическое ожидание числа аварий за период эксплуатации:

$$N = mP(t),$$

где  $P(t)$  – вероятность появления аварии в одной кампании (смене, месяце, годе),

$m$  – число кампаний (смен, месяцев, лет). [Кажется, будто этот показатель механически перенесен из общепромышленных отраслей. После тяжелой запроектной аварии на АС вряд ли можно ожидать последующих кампаний (смен, лет).]

2. Критерий обеспечения заданных потребностей в энергии:

$$P_{\text{озп}} = 1 - \sum_i \sum_j \sum_k [Q_a(t)]_{ijk},$$

где  $[Q_a(t)]_{ijk}$  – вероятность возникновения за время  $t$   $i$ -й радиационной,  $j$ -й ядерной и  $k$ -й технической аварий. (Представляется, что объединение столь разнородных по исходным событиям и последствиям аварий в единый функционал не имеет большого смысла без ясного указания методов его расчета.)

3. Риск аварии:

$$R_v(t) = \sum_{v=1}^l Q_v(t) C_v,$$

где  $R_v(t)$  – риск аварии  $v$ -го типа,  $Q_v$  – вероятность  $v$ -й аварии,  $C_v$  – ущерб от аварии  $v$ -го типа. (Этот показатель характеризует лишь потенциальную составляющую безопасности и суммирование рисков аварий различных типов необоснованно.)

В случае **активных угроз** безопасность может измеряться концентрацией вредного вещества или мощностью дозы излучения в различных точках. Сопоставление с предельно допустимыми концентрациями или дозами дает понятные, наглядные масштабы, благодаря которым можно сопоставлять безопасность различных состояний объекта или объекты между собой по их безопасности. Как уже отмечалось ранее, на АС показатели герметичности твэлов и контура теплоносителя, показатели эффективности и уровня радиационной защиты характеризуют

**активную** составляющую радиационной безопасности. Их нормативные предельные значения, по существу, – это мера, масштаб этой составляющей, но не всей ядерной и радиационной безопасности, как иллюстрировал рис. 2-3.

Очень заманчиво по имеющимся измеряемым показателям активной составляющей безопасности оценивать безопасность объекта в целом. Это тем более кажется возможным, что факторы, влияющие на активную и потенциальную составляющие, представляются сходными. Чем больше зарегистрировано отказов, срабатываний аварийной защиты, чем выше радиоактивность теплоносителя и мощность дозы в помещениях, тем менее обеспеченной представляется безопасность. Собственно существующие методики анализа опыта эксплуатации АС как раз и исходят из подобных соображений. Например, в [88] показано, как в разных странах анализируется опыт эксплуатации с применением большого числа различных показателей.

Такой подход похож на давно известный российским специалистам так называемый метод радаров, с помощью которого формируется система измеряемых показателей, как показано на рис. 3-7, и по площади фигур предлагается сравнивать безопасность объектов. Метод нагляден и применяется до сих пор [89].

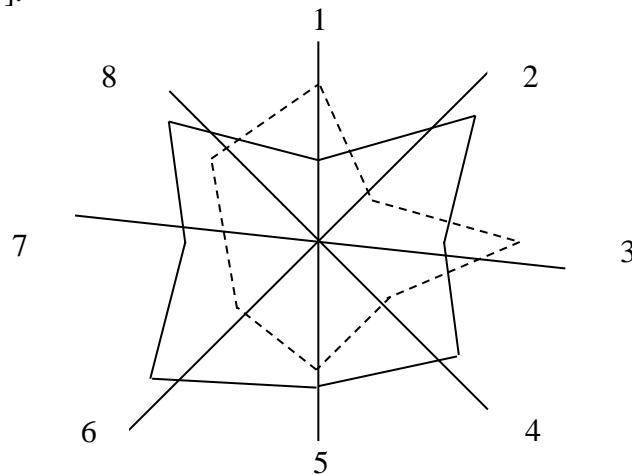


Рис. 3-7. Применение метода радаров для двух разных состояний энергоблока



Анализ этого подхода обнаружил ряд особенностей. Очевидно, что площадь геометрических фигур при сохраняющихся масштабах на осях зависит от последовательности расположения осей. Для расположения осей в виде, скажем, 1, 3, 5, 7, 2, 4, 6, 8, площадь многоугольников будет иной. Значит, для сравнения нужно выбрать не только одинаковое число показателей, но и зафиксировать их последовательность, что, в общем, несложно. Хуже, что единицы измерения каждого показателя не сравнимы между собой и важность вклада разного показателя в величину безопасности различна.

Поэтому **потенциальные** угрозы количественно могут оцениваться величиной вероятности аварий. Разумеется, аварии бывают разные – по существу, масштабам и последствиям. Об этом еще будем говорить ниже, но для одинаковых объектов могут быть выделены сходные типы аварий: взрывы на шахтах, пожары на электрооборудовании и т.п. Хотя и здесь существуют градации: пожар пожару рознь. Поэтому в общепромышленных отраслях количественной оценкой, мерой безопасности является риск аварии, учитывающий как величину вероятности аварии, так и масштабы ее последствий. Подходам к расчетам этих рисков будут посвящены следующие главы.

Здесь же мы рассмотрим оценку безопасности АС, для которых нормативно зафиксированы и четко определены общие последствия того, что называется тяжелой запроектная авария [25]. Основной признак этой аварии – повреждение твэлов, превышающее установленные пределы безопасной эксплуатации [25, 86], или, как ее часто называют, авария с повреждением активной зоны реактора [37-39] независимо от его типа. Такой подход не нов в истории человечества. Еще в морском страховании различали большую аварию – потерю всего судна с грузом, малую аварию – частичное повреждение груза, эмбарго – захват судна пиратами и т.п.

В [25] содержатся три связанных между собой целевых вероятностных показателя. Они характеризуют стремление всех участников использования атомной энергии к тому, чтобы тяжелые запроектные аварии на один реактор в год происходили с

вероятностью, не большей  $10^{-5}$ , разрушение корпуса реактора – с вероятностью, не большей  $10^{-7}$ , а предельный аварийный выброс радиоактивных веществ также с вероятностью, не большей  $10^{-7}$ .

Это не критерии безопасности, недостижение которых требует регулирующих мер, а целевые показатели, устанавливающие ориентиры безопасности прежде всего при проектировании и эксплуатации АС. Как идеал, стремление к которому освещает судьбу, а достижение воспринимается как счастье. Реальные вероятности тяжелых запроектных аварий, рассчитанные для действующих энергоблоков находятся в диапазоне  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$  и при модернизациях энергоблоков уменьшаются. То есть в отечественной практике использования атомной энергии декларируемое стремление реализуется.

Я уже неоднократно отмечал, что в общепромышленных отраслях существует принципиально иной подход к обеспечению безопасности – минимизация издержек от возможного проявления аварийности, травматизма, вредных выбросов, понижающих качество и конкурентоспособность производства [90-95]. Это характерно для отраслей, где аварии неизбежно происходят, но непригодно для атомной энергетики, где любая крупная авария может поставить под вопрос само существование атомной отрасли. В ней меры по обеспечению безопасности должны исключать тяжелые запроектные аварии на весь период эксплуатации АС (30-60 лет). Поэтому для атомной отрасли так важны ясные и общепринятые показатели безопасности.

Чем выше вероятность аварии  $P$ , тем меньше безопасность. Поэтому иногда в литературе встречаются предложения оценивать безопасность разностью  $(1-P)$  [96], предполагая, что безопасность равна единице при вероятности аварии, равной нулю. Так же оценивается безопасность полетов без авиационного происшествия [12]. Могут быть рассмотрены и иные количественные масштабы измерения безопасности. Их введение связано с тем, что по существу величины вероятностей аварий столь малы, что только специалисты ощущают их реальный смысл.

Вместе с тем оценка безопасности объектов необходима не только специалистам, но и широкой общественности. Она должна быть наглядной и ясной. Например, вероятность угадать в лотерею 5 цифр из 36 составляет около  $2,5 \cdot 10^{-6}$ , что также может служить масштабом для понимания количественных оценок безопасности. В табл. 3-11 приведены такие масштабы количественного измерения безопасности для практически значимого диапазона изменения вероятностей аварий  $10^{-3}$ - $10^{-7}$  на потенциально опасных объектах.

**Таблица 3-11**

**Масштабы измерения безопасности**

Наименование	Обозначение, формула	Значения масштаба				
		1	2	3	4	5
Номер варианта	$i$	1	2	3	4	5
Вероятность	$P_i$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
Масштабы измерения безопасности	$r_i = 1 - P_i$	0,999	0,9999	0,99999	0,999999	0,9999999
	$t_i = \frac{P_3}{P_i}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	10	100
	$s_i = -\lg P_i$	3	4	5	6	7

Показатель  $r_i$  вряд ли может быть признан наглядным и ясным. Величина  $t_i$  рассчитывается, как мера стремления к показателю вероятности тяжелой запроектной аварии, равному  $10^{-5}$ . Она представляется искусственной, сконструированной специально для области использования атомной энергии, где принят этот целевой показатель.

Наиболее прост и нагляден показатель  $s_i$ . Им часто пользуются при представлении зависимостей ущерба от вероятности в логарифмических координатах. Далее дело вкуса и соглашения специалистов, какой из представленных показателей наиболее пригоден в качестве масштаба измерения безопасности.

Понятно, что так же, как для оценки активных угроз, безопасность потенциально опасных объектов измеряется этими показателями в некой точке безотносительно к тому, кто или что будет помещено в эту точку: человек, зверек или дерево. То есть до того, как мы задаем вопрос о последствиях аварии, который будет рассмотрен в главе 4. Неопределенность как раз и пытаются устранить введением понятия “риск аварии”. Мерой опасности, риском события может служить величина:

$$R=PY, \quad (3-9)$$

а мерой безопасности:

$$R=(1-P)Y. \quad (3-10)$$

Тогда возникает необходимость в расчете величины последствий аварии, которая получается с еще большим числом допущений и неопределенностей. Но не только эти обстоятельства объективно привели к тому, что многие авторитетнейшие специалисты не доверяют результатам вероятностных анализов, сомневаются в возможности их использования для принятия управляющих и регулирующих решений, для диалога с общественностью и т.п.

На сегодняшний день не существует количественных методик сопоставления потенциальных угроз для безопасности разных типов реакторов. Детерминистский анализ безопасности проводится для конкретной реакторной установки, чтобы определить условия, при которых исключение запроектной аварии возможно с помощью свойств внутренней самозащищенности и принципов устройства реактора. Но этот анализ не дает количественного масштаба измерения ядерной безопасности для выбора более безопасного реактора. Детерминистский анализ свидетельствует, что заранее установленный, конечный перечень исходных событий не приводит к повреждению топлива.

Вероятностный анализ безопасности в настоящее время используется для оценки сбалансированности проекта, установления вклада исходных событий в вероятность ядерной аварии и принятия на этой основе технических решений для конкретного реактора. Количественные величины, получаемые в вероятностных анализах, не должны вводить в заблуждение и пока могут

использоваться как масштаб измерения безопасности только при соблюдении прочих равных условий для разных объектов. Может быть впоследствии вероятностные анализы будут развиты для этой цели.

Поэтому при сегодняшних возможностях вероятностных анализов их результаты относятся лишь **к сопоставлению безопасности различных состояний одного реактора, но не для сравнения разных типов реакторов между собой.**

Еще более затруднена разработка масштабов безопасности для объектов, содержащих **комплексные угрозы**. Уже отмечалось в разделе 2.2, что у специалистов постепенно возникает ясное понимание, что активные и потенциальные угрозы имеют различную природу, описываются разным математическим аппаратом, количественно несопоставимы и качественно независимы друг от друга.

Принципиальное отличие феноменологии послечернобыльской атомной энергетики от иных промышленных отраслей состоит в том, что из практики эксплуатации АС исключены ядерные аварии, соответственно нет статистики этих аварий, вероятности запроектных аварий служат для оценки безопасных состояний конкретной реакторной установки, а не для сопоставления реакторов между собой. Следовательно, тем более величины вероятностей аварий не могут сопоставляться с вероятностями статистически рассчитанных аварий, произошедших на промышленных объектах.

Также бессмысленно сравнивать риски, скажем, смерти от ядерных аварий с реально произошедшими рисками летальных исходов в авиации или на шахтах. Вероятностные анализы безопасности второго и третьего уровней служат для совершенствования мер аварийного реагирования, а не для сравнения с другими отраслями.

Однако эти выводы касаются сегодняшнего состояния методов вероятностного анализа безопасности. Необходимо совершенствовать методики расчетов, базы данных, накапливать опыт его проведения. И со временем он возможно станет ин-

струментом для измерения потенциальных угроз, а значит для измерения безопасности атомных объектов.

### **3.6. Предельная оценка ядерной и радиационной опасности АС\***

Любая промышленная технология, в которой имеются градиенты давлений, температур, концентраций и т.п. или используются горючие, взрывоопасные, токсичные и т.п. вещества, содержит потенциальные угрозы, то есть опасна в случае аварии. И при реализации инновационных проектов, на начальных этапах развития технологий эти опасности оцениваются по максимуму, иными словами – при реализации наихудших условий. Затем по мере накопления опыта эксплуатации эти предельные оценки уточняются, становятся более реалистичными. На базе эксплуатационного опыта создаются нормативные документы, в том числе концентрирующие информацию о размерах и масштабах возможных нарушений эксплуатации.

Именно в этом смысле надо понимать известную поговорку, бытующую в общепромышленных отраслях: “Нормы пишутся кровью”. Нормативы пересматриваются по мере накопления эксплуатационного опыта. Такой подход сохраняется во всем мире. Например, в [99] содержатся предельные количества опасных веществ, превышение которых способно привести к трансграничному воздействию: аммиак – 500, хлор – 25, фос-ген – 0,75 т и т.д. Разумеется, трансграничный перенос зависит от расстояния до межгосударственной границы, условий окружающей среды и т.п. Но в основу нормативных значений положены результаты именно предельных оценок промышленной безопасности.

На заре развития атомной энергетики прежде всего было доказано, что на энергетических реакторах невозможны аварии, происходящие по типу атомной бомбы. Но при этом рассматри-

---

\* При подготовке этого раздела расчеты предельных выбросов выполнялись сотрудниками НТЦ ЯРБ Д.А. Белоусом, Д.Е. Носковым под руководством А.А. Строганова и А.В. Любарского.

вались сценарии по принципу: “Что будет, если...” и реализуются самые худшие условия, приводящие к максимальным радиационным воздействиям на персонал и окружающую среду [98].

Существующая и по сей день международная шкала ядерных событий сформирована на базе показателей максимальных выбросов радиоактивных веществ и максимальных коллективных доз радиоактивного излучения (табл. 3-6).

Концепции безопасности в ядерной энергетике изменялись по мере роста знаний об аварийных процессах, совершенствования систем безопасности, углубления в механизмы произошедших и возможных аварий. Вместе с тем совершенствовались средства изучения аварийных процессов на экспериментальных установках, электронных вычислительных машинах, возрастали требования к надежности оборудования и диагностике его состояния.

В концепции максимальной проектной аварии считалось, что самым тяжелым событием, на которое должны быть рассчитаны системы безопасности, является разрыв трубопровода системы охлаждения реактора. Для одних реакторов такой аварией считался разрыв трубопровода Ду-100 с вставкой ограничителем расхода, для других – гильотинный разрыв главного циркуляционного трубопровода.

В дальнейшем было показано, что аварии с разрывами трубопроводов небольшого диаметра при неблагоприятных обстоятельствах могут также сопровождаться тяжелыми последствиями. В настоящее время рассматривается перечень проектных аварий, для которых предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие (с учетом принципа их единичного отказа) непревышение последствий установленными в нормативных документах пределами.

Поскольку ядерное топливо заключено в твэлах, то основные проектные пределы ограничивают их повреждение за счет образования трещин, по количеству дефектных твэлов, температуре их оболочек, глубине окисления и т.п. [86]. Но, в конечном счете, так как ядерная авария определяется радиационным воздействием, величины последнего устанавливаются в

[21, 72] для персонала и населения, для нормальной эксплуатации и условий аварии. Там, например, в нормальных условиях допускается облучение персонала “в годовой эффективной дозе до 0,05 Зиверта при условии, что средняя годовая эффективная доза, исчисленная за пять последовательных лет, не превысит 0,02 Зиверта”.

Это один из показателей допустимого радиационного воздействия – “мера риска возникновения отдаленных последствий облучения организма человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности” [21].

Вероятность события – величина безразмерная, поэтому **риск события должен измеряться в единицах измерения его последствий**. Риск ядерной аварии для персонала будет измеряться величиной радиоактивного воздействия, в том числе эффективной дозой, возникающей после аварии. Эта величина зависит от множества разнородных факторов. Так, для аварии на ядерном реакторе эффективная доза радиоактивного излучения будет зависеть от координат точки, где измеряется доза, состава нуклидов, мощности реактора, при которой произошла авария, времени кампании, коэффициентов поглощения среды и т.п. Риск ядерной аварии для населения, наряду с перечисленными факторами, будет зависеть от плотности населения, метеоусловий в момент аварии, эффективности мер аварийного реагирования и т.п.

Всякое явление, где существуют сложные зависимости между его параметрами, целесообразно рассматривать в асимптотическом приближении, то есть свести его к более простому. К числу подобных крайних случаев можно отнести предельную аварию, в результате которой разрушаются все твэлы, сопровождающуюся мгновенным разрушением контура охлаждения реактора и герметичного ограждения. В этих условиях произойдет не только выброс газообразных продуктов деления, накопленных внутри оболочек твэлов, но и распыление накопленных радионуклидов. Для профессионалов такая постановка представляется дикой, но зато эффективная доза в точке, расположенной на срезе отверстия в защитной оболочке, может счи-



таться **предельным, максимальным радиационным воздействием от ядерной аварии**, хуже которого невозможно представить.

В качестве примера рассмотрим результаты расчетов доз при аварии на реакторе ВВЭР-1000. В расчетах использовались данные о нуклидном составе активной зоны на момент аварии, произошедшей на 558 сутки с начала кампании.

В авариях на реакторе основное внимание концентрируется на количестве радиоактивности, потенциально способной быть выброшенной в окружающую среду. Именно эта радиоактивность – самый существенный фактор, определяющий последствия аварии (под которыми понимаются немедленные смертельные случаи персонала и населения, латентные смертельные случаи и болезни в будущих поколениях, материальный ущерб, связанный с радиоактивным загрязнением окружающей среды, и т.п.), и реакцию населения на риск, связанный с эксплуатацией действующих и строительством новых АС.

Как физическое явление, реакторная авария с выходом радиоактивности в атмосферу отличается чрезвычайной сложностью, представляя собой, совокупность различных по своей природе физико-химических процессов, не все из которых поддаются адекватному описанию даже при численном моделировании развития аварии и тем более при описании реальной аварии.

Вообще говоря, существует несколько факторов, влияющих на выход радионуклидов при нагреве топливного элемента и его расплаве. Наиболее значимый фактор – максимальная температура, достигаемая в топливе, и период времени, в течение которого топливо находится при данной температуре. Второй по значимости фактор – состав и скорость потока через активную зону пароводородной смеси, так как отношение количества пара к водороду определяет эффективный потенциал окисления, значение которого влияет на изменение химической формы выходящих нуклидов. Давление пара также воздействует на летучесть некоторых материалов. Наконец, расплавленная циркониевая оболочка твэлов может реагировать с  $UO_2$ , формируя жид-

кие растворы  $UO_2$  при температурах значительно ниже точки плавления  $UO_2$ , вследствие чего изменяется интенсивность выхода радионуклидов. Таким образом, выход радионуклидов – сложная функция, зависящая от времени, температуры топлива и многих других физико-химических факторов.

Для решения поставленной задачи все перечисленные факторы принимались такими, чтобы заведомо получить наихудший результат. Все радионуклиды, находящиеся в активной зоне на момент начала аварии, были традиционно разделены на три условные группы: благородные газы, туго- и легкоплавкие элементы. Дело в том, что развитие аварии со временем предполагает различные моменты времени выхода радионуклидов. Но для проведенных расчетов консервативно предполагалось, что все, что может покинуть активную зону, мгновенно выходит за пределы защитной оболочки в атмосферу.

В табл. 3-12 представлены суммарные значения доз от радионуклидов, входящих в данные группы.

**Таблица 3-12**

<b>Нуклиды</b>	<b>Доза за 72 мин, Зв</b>
РБГ (Кр-87, Кр-88, Хе-135, Хе-137 и т.д., всего 15)	1,82E+04
Легкоплавкие элементы (Cs-134, I-131, I-132, I-133 и т.д., всего 24)	2,2E+05
Тугоплавкие элементы (La-140, Nb-95, Np-239, Zr-95 и т.д., всего 79)	1,44E+06

Таким образом, суммарная эффективная доза в месте выхода активности из защитной оболочки составила  $1,7 \cdot 10^6$  Зв. Это огромная величина. Время 72 мин выбрано из условия выброса суммарной активности порядка  $10^{19}$  Бк, соответствующего выбросу, произошедшему при Чернобыльской аварии за все время распространения радиоактивности. Для сравнения: пожарные на крыше 4 блока Чернобыльской АС получили около 100 Зв. В

следующей главе будет упомянуто, что при дозе более 6 Зв все пораженные погибнут, а нормативная годовая эффективная доза для населения 0,005 Зв.

Если консервативно представить, что рассчитанное максимальное значение дозы каким-то невероятным образом может быть получено населением, то можно предложить весьма интересный параметр, который назовем **предельной вероятностью радиационного воздействия** от аварии на АС. Исходя из определения риска потери здоровья (3-9), равного нормативной годовой дозе, и полагая ущерб от аварии, равным полученной максимальной дозе, рассчитаем предельную вероятность:

$$P_{\text{пр}} = \frac{R}{Y} \approx 3 \cdot 10^{-9}.$$

То есть авария, происходящая с вероятностью порядка  $10^{-9}$ , представляет в соответствии с классификацией табл. 2-1 ничтожную угрозу. Полученное значение вероятности весьма близко к значениям, которые устанавливались умозрительно, экспертно как предел количественных показателей, используемых в вероятностных расчетах. Так, в [71, 116] утверждается, что вероятности порядка  $10^{-9}$  выходят за пределы человеческого опыта. По-видимому, имеются в виду оценки времени существования человека на Земле порядка 1 млрд. лет. Правда, эти оценки выполнены в рамках дарвиновской гипотезы о происхождении видов. Гипотеза многократного инфицирования жизни на нашей планете увеличивает показатель степени в этих оценках.

Когда рассматриваются проекты детерминистски безопасных реакторов и рассчитываются самые невероятные стечения обстоятельств, то исходные события аварии, результирующая вероятность которых меньше  $10^{-9}$ , могут считаться исключенными. Наличие предельной вероятности радиационного поражения при ядерной аварии позволяет уточнить характеристику важнейших свойств так называемого детерминистски безопасного реактора, включив в нее не только три экспертно декларируемые свойства, нуждающиеся в подтверждении детерминистскими расчетами, но и вероятностный показатель:

- Любые отказы оборудования, ошибки персонала и внешние воздействия не приводят к ядерным авариям, которые характеризуются сверхнормативным повреждением активной зоны, выбросами в атмосферу радиоактивных и токсичных веществ и могут потребовать эвакуации.
- Теплоотвод от активной зоны при любых нарушениях эксплуатации обеспечивается естественными процессами (конвекция, излучение, теплопроводность). Ядерные аварии исключаются с помощью собственных естественных свойств внутренней самозащитности, то есть наличием отрицательных обратных связей при любых воздействиях на реакторную установку.
- Частота сверхнормативного повреждения активной зоны не должна превышать величины  $10^{-9}$  (реактор-год)<sup>-1</sup>, обусловленной военным нападением или другими экстремальными воздействиями, приводящими к полному разрушению реакторной установки.

Кстати сказать, этот количественный показатель даже меньше риска смерти в естественной среде обитания (табл. 5-1). Интересно сравнить рассчитанное значение предельной дозы с величиной средней коллективной годовой дозы, которую может получить население при тяжелой запроектной аварии на ВВЭР-1000. Этот расчет выполнялся по программе MACCS2, разработанной национальной лабораторией Сандиа и освоенной специалистами нашего института.

Эта программа позволяет оценивать следующие факторы тяжелых запроектных аварий на АС:

- перенос по направлению ветра, рассеивание и осаждение радиоактивных веществ, выходящих в окружающую среду из поврежденной защитной оболочки;
- дозы облучения, полученные населением прямыми путями (облучение от радиоактивного облака, вдыхание радиоактивных веществ, находящихся в воздухе в виде газов и аэрозолей, вдыхание осажженных и по-

вторно поступающих в воздух радиоактивных веществ) и непрямыми путями (через продукты питания) в течение короткого и длительного периодов времени;

- смягчение доз облучения, получаемых населением, защитными мерами (эвакуация, использование укрытий, перемещение людей после аварии, ограничение в употреблении молока, хлеба и мяса, получаемых с зараженных территорий; дезактивация, временное запрещение использования зданий и земли или их признание опасными для использования);
- оценка количества смертельных случаев и заболеваний, ожидаемых в течение одного года после аварии (ранние воздействия на здоровье), и замедленные (латентные) раковые смертельные случаи и болезни, проявление которых возможно в течение периода жизни облученных людей;
- экономические последствия тяжелых запроектных аварий.

Программа MACCS2 позволяет моделировать выброс радиоактивных материалов в атмосферу в виде ряда последовательных сегментов выбросов, которые могут иметь различные характеристики, такие, как время выброса, его продолжительность, высота и энергия выброса, а также состав радиоактивных веществ, соответствующих каждому сегменту выбросов.

В этой программе моделируется снижение концентрации радиоактивных веществ в облаке вследствие радиоактивного распада, вымывания радиоактивных веществ, зависящего от интенсивности осадков, диффузии и осаждения на поверхности. Комбинированная скорость снижения концентрации радиоактивных веществ в облаке вследствие диффузии и гравитационного осаждения моделируется эмпирическим значением скорости осаждения, зависящим от размеров частиц. В качестве входных параметров задается распределение размеров радиоактивных частиц. Процессы вымывания дождем и выветривания уменьшают поверхностное загрязнение поверхности радиоактивными ма-

териалами, осажденными на землю. В программе также моделируется уменьшение активности за счет радиоактивного распада.

Дозиметрическая модель программы MACCS2 состоит из трех взаимодействующих частей:

- прогноз индивидуального облучения из-за радиоактивного загрязнения по семи путям облучения;
- смягчение облучения путем реализации защитных мероприятий или использования средств защиты;
- вычисление реальной дозы облучения с учетом принимаемых защитных мер.

Суммарное значение дозы облучения человеческого органа определяется суммированием доз, полученных по всем путям облучения.

Программа MACCS2 позволяет моделировать три группы населения:

- 1) эвакуируемое население;
- 2) население, использующее укрытия;
- 3) неэвакуируемое население.

В качестве защитных коэффициентов использовались средние значения защитных коэффициентов для различных зданий.

Результате расчетов показали, что годовая эффективная доза облучения составляет **2750 Зв**, то есть консервативный, но реалистичский расчет дает величину в **десять тысяч раз меньшую**, чем максимальное предельное значение эффективной дозы, которую может получить население при предельной запроектной аварии.

#### **Глава 4. Методы расчета последствий аварий**

В этой главе рассмотрим последствия, которыми сопровождается реализация угроз, то есть поговорим об ущербе. Определения терминов в этой области также еще не устоялись. Последствия ЧС, воздействия аварий, ущерб от аварий – все эти близкие по смыслу понятия удобнее рассматривать как почти синонимы, чем давать им отдельные определения, которые мо-

гут быть неприемлемы для специалистов разных отраслей. Даже в материалах МЧС используемые термины не всегда четко определены и иногда противоречат друг другу в разных документах [36, 44, 47, 32]. В этих условиях, избегая полемики о терминах, попытаемся представить действующую классификацию ущербов на основании информации в вышеупомянутых документах МЧС.

#### 4.1. Определения и классификация ущербов

Для понимания понятия ущерба можно привести те, которые определены в [32, 100]:

- оцененные в стоимостной форме последствия ЧС, характеризующие потери ценностей субъектом ущерба;
- нанесение физического повреждения или другого вреда жизни и здоровью граждан и (или) их имуществу, имуществу юридических лиц, убытки и упущенная выгода, а также вред, причиненный природной среде.

Видно, что ущерб определяется через последствия, вред, убытки и в этих документах связывается с произошедшей или могущей произойти ЧС или аварией, то есть при реализации как активных, так и потенциальных угроз.

Учитывая классификацию угроз, приведенную в главе 2, следует подчеркнуть, что химическое загрязнение воды, воздуха, почвы наносит ущерб и здоровью, и имуществу, и природе до всяких аварий и ЧС. Поэтому его можно было бы назвать **фоновым**, чтобы отличать от **чрезвычайного**, возникающего при авариях и ЧС, расчетам которого и посвящены методики МЧС [32, 100]. При этом можно различать ущербы от предупреждения ЧС, от самой ЧС и при ликвидации ее последствий. В [32] содержатся необходимые определения, может быть недостаточно четко прописанные. Можно ущерб от предупреждения ЧС включать в затраты при сооружении объекта, а ущерб от ликвидации последствий – в ущерб от самой ЧС. Все

зависит от постановки задачи, но при сопоставлении ущербов от разных ЧС правила учета ущербов должны быть одинаковы.

Также от поставленных задач зависит и классификация ущербов. Так, например, при анализе ущербов от возможных аварий на АС в [100] предложено рассматривать виды ущербов, приведенные в табл. 4-1.

**Таблица 4-1**

<b>1. Ущерб третьим лицам</b>	
Y <sub>11</sub>	Вред для здоровья населения
Y <sub>12</sub>	Ущерб имуществу населения
Y <sub>13</sub>	Ущерб имуществу юридических лиц
Y <sub>14</sub>	Потери сельскохозяйственного производства (вывод земель из хозяйственного использования, недополучение продукции)
<b>2. Ущерб окружающей среде</b>	
Y <sub>2</sub>	Ущерб окружающей среде
<b>3. Ущерб персоналу и самой АС</b>	
Y <sub>31</sub>	Вред для здоровья персонала
Y <sub>32</sub>	Ущерб оборудованию реакторного отделения
Y <sub>33</sub>	Ущерб оборудованию за пределами реакторного отделения
Y <sub>34</sub>	Ущерб от невыработки электроэнергии (ущерб от останова и перерыва в эксплуатации АС)
Y <sub>35</sub>	Затраты на дезактивацию оборудования и помещений АС
<b>4. Затраты на ликвидацию последствий аварии</b>	
Y <sub>41</sub>	Затраты на отселение
Y <sub>42</sub>	Затраты на реабилитацию загрязненных территорий
Y <sub>43</sub>	Затраты на обращение с РАО

Такой подход позволяет адресно рассчитывать затраты. Но при самих расчетах, например, ущерб здоровью и населению определяется по одной и той же методике, хотя население входит в первый, а персонал – в третий раздел табл. 4-1.



Поэтому чаще классифицируют ущерб по направлению угрозы. Из рис. 1-1 видно, на кого направлены угрозы, о чьей безопасности идет речь, кто несет ущерб: человек, окружающие его объекты, включая и тот объект, от которого исходит угроза, и природу. Ущерб жизни и здоровью называют социальным, медико-биологическим и т.п., ущерб объектам – экономическим, природе – экологическим. Вместе с тем, например, в [32] экономический ущерб от ЧС включает социальные и экологические потери, экологический ущерб в [100] – ущерб, причиненный среде и человеку. Социально-экономические связи и интересы достаточно сложны, и трудно четко очертить ущерб для одной из сторон, пострадавших от ЧС.

В весьма содержательном комплексе работ [101-103] описан интегрированный подход к расчетам воздействия различных энергетических объектов на окружающую среду, использующий совместно методы функции ущерба и многокритериальные методы для расчета внешних издержек (экстерналистей) при производстве электроэнергии. Эти методы развиты для условий нормальной эксплуатации и могут быть использованы для расчетов ущерба от аварий.

На основании данных о стоимости статистической жизни в США, равной 4 млн. долларов, рассчитана эта величина для России, равная 0,4-0,53 млн. долларов. Особенно полезны примеры конкретных расчетов экономического ущерба от аварий, сделанные для условий России.

В исследованиях [54, 55] риск аварии рассматривается как математическое ожидание ущерба и рассчитывается по формуле, аналогичной (3-9):

$$M[Y] = \sum_{i=1}^n p_i Y_i, \quad (4-1)$$

где  $Y_i$  – возможные значения случайного ущерба от аварии в рассматриваемый период времени;

$p_i$  – вероятности возникновения аварий;

$n$  – число вариантов аварий.

При этом используется классификация ущерба, вполне согласующаяся с практикой, которая формализована в виде табл. 4-2.

**Таблица 4-2**

**Классификация ущербов**

<b>Виды</b>	<b>Человек</b>	<b>Природа</b>	<b>Рукотворная среда</b>
<b>Субъект</b>	Персонал, население, будущие поколения	Воздух, вода, земля, недра, растительный и животный мир	Строения, оборудование, коммуникации, транспорт
<b>Содержание последствий</b>	Заболевания, потеря трудоспособности, смерть	Загрязнение, заражение, нарушение баланса, уменьшение разнообразия видов, уничтожение	Повреждение, невозможность использования, затраты материальных ресурсов, уничтожение
<b>Время</b>	В период аварии		
	Длительное последствие		
<b>Характер</b>	Разовый		
	Множественный		
<b>Масштаб</b>	Площадка объекта		
	Регион		
	Страна		
	Трансграничный		
<b>Тип</b>	Прямой		
	Косвенный, в том числе с отдаленными последствиями		
<b>Вид последствий</b>	Обратимые, накопительные, необратимые		

Там же приводится укрупненный, но достаточно подробный перечень основных аварий на опасных производственных

объектах по общепромышленным отраслям (взрывы, пожары, разрывы и т.п.).

Детально описана методика расчета трех видов ущерба с учетом всех составляющих потерь и затрат. По сути, они представляют собой элементарное суммирование составляющих ущерба с учетом имеющихся нормативных документов. Собственно отсутствие полного комплекта нормативных рекомендаций является основным дефектом этой, да и любой подобной методики.

К числу интересных выводов можно отнести отсутствие корреляции между объемом производства в целом ряде общепромышленных отраслей и числом аварий со смертельным исходом, а также анализ ретроспективных данных о материальном ущербе от аварий в 11 отраслях промышленности, которые начали систематически сопоставляться с 1999 г. Боюсь, что полученные до этого данные было бы трудно сопоставлять по годам с учетом всех финансовых изменений, произошедших в нашей стране. Показательны данные, взятые для трех первых общепромышленных отраслей (табл. 3-3). За анализируемый период не было резких колебаний курса рубля, так что масштаб измерений ущерба вполне можно считать постоянным. Поэтому столь резкие колебания ущерба от 2 до 400 раз по годам вряд ли можно признать реалистичными. Подобные сведения скорее характеризуют отсутствие единого методического подхода при расчетах ущерба, когда разные коллективы специалистов по различным методикам получают результаты, которые нельзя сравнивать.

Социальный ущерб может состоять в потере здоровья, трудоспособности или жизни. Он, в свою очередь, подразделяется на ущерб личности (**индивидуальный**) и обществу (**коллективный**). Также и экономический ущерб может быть нанесен отдельному человеку или группе лиц, объединенных территорией, профессией или интересами их частной собственности. Конечно, существуют взаимосвязи разных видов ущерба. Потеря трудоспособности имеет экономический аспект, а ущерб собственности может влиять на состояние здоровья. Иногда эконо-

мический ущерб называют техногенным или техническим. Представляется, что содержания этих определений близки по смыслу.

Экологический ущерб рассматривается по отношению к природе и может состоять в загрязнении или даже уничтожении ее элементов, уменьшении разнообразия видов флоры и фауны и т.п. Так как природные ресурсы необходимы и для обеспечения жизнедеятельности, и для использования в экономике, то ущерб природе имеет социальный и экономический аспекты.

Попытка одними эпитетами (социальный, экономический) классифицировать ущерб вполне возможна в рамках отдельного исследования или расчета ущерба. Но именно в силу сложности жизни сопоставление результатов разных расчетов приводит к неточности в сопоставлении сравниваемых величин. Поэтому весьма плодотворной представляется классификация ущерба дополнениями, как это, кстати, и сделано авторами [100] в табл. 4-1: ущерб здоровью, жизни, имуществу и т.п. В таблице содержатся элементы, кирпичики, из которых можно составить разные виды ущерба. Например,

- ущерб жизни и здоровью человека =  $Y_{11} + Y_{31}$ ;
- ущерб объектам =  $Y_{12} + Y_{13} + Y_{32} + Y_{33} + Y_{34}$  и т.д.;
- ущерб природе =  $Y_{14} + Y_2$ .

Если при анализах ЧС на других промышленных объектах возникают иные виды ущерба, то они легко включаются в состав предложенного подхода к классификации. Например, в этот ряд табл. 4-1 можно ввести косвенный ущерб здоровью, произошедший вследствие перерыва электроснабжения в больницах, или косвенный ущерб промышленным объектам из-за аварийного отключения потребителей и т.п. Вообще разделение ущерба на прямой и косвенный, наверное, целесообразно, но пока еще осуществляется недостаточно четко, так как зависит от того, что считать “первичным звеном экономики”, для которого рассчитывается прямой ущерб.

Очень важно различать **фактический** ущерб от произошедших ЧС и **предполагаемый**, возможный, виртуальный ущерб, рассчитываемый для возможных ЧС с целью планирова-

ния противоаварийных мероприятий, людских и материальных резервов, систем аварийного реагирования и т.п.

Важно также определение **натурального** ущерба, выражаемого в натуральных показателях (количество погибших, коллективная доза, площадь отчуждаемой территории и т.п.). С помощью экономических коэффициентов натуральный ущерб может быть приведен к эквивалентному, экономическому, выражаемому в денежной форме.

Многообразие видов ущерба, неточности и разночтения в их определениях – одна из причин различного определения понятия “риск”. Подробнее об этом будем говорить в следующей главе, а пока рассмотрим имеющиеся методы расчета разных видов ущерба.

#### **4.2. Методы расчета ущерба здоровью и жизни**

Современная медицина классифицирует ущерб здоровью по двум основным эффектам: **детерминированным и стохастическим** [104-107]. Первый характеризуется тем, что обычно проявляется вскоре после облучения и существует порог дозы, ниже которой он вообще не происходит. При организации радиационной защиты стремятся к тому, чтобы нормативные значения ПДД были ниже этого порога. При воздействии опасных химических, микробиологических веществ та же логика используется при установлении ПДК. То есть существуют болезни, которые непременно возникают при превышении некоторой пороговой концентрации (ПК) или пороговой дозы (ПД). К числу таких болезней как результат радиационного воздействия относятся острая и хроническая формы лучевой болезни, катаракта хрусталиков глаз и т.п.

Конечно, эти явления проявляются с разной эффективностью, но факт их возникновения устанавливается современной медициной достоверно, с вероятностью, близкой к единице (рис. 4-1а).

Конечно, из общих соображений о разнообразии человечества трудно представить детерминированную обусловлен-

ность воздействия каких-либо факторов на здоровье. При одном и том же воздействии одни люди заболевают, другие – нет. Поэтому пороговые концентрации и дозы надо воспринимать как статистические консервативные оценки. Так, в [104] отмечено, что различные формы лучевой болезни развиваются при дозах свыше 1 Зв, а при дозах более 6 Зв в 100 % случаев наблюдается летальный исход. Но летальный исход при радиационном поражении проявляется в течение какого-то времени, он не мгновенен, как при авиационной катастрофе. Поэтому оценка ущерба напрямую зависит от момента времени после поражения, когда подсчитывается ущерб.

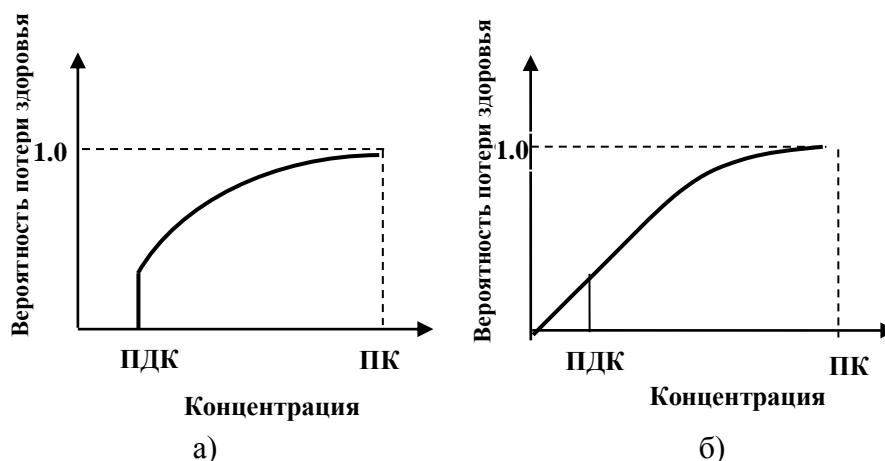


Рис. 4-1. Гипотезы порогового а) и беспорогового б) воздействия

К стохастическим эффектам относится широкий круг раковых и генетически обусловленных болезней, часть из которых может наследоваться и которые могут и не возникнуть в течение многих лет после вредного воздействия или облучения. Считается, что в отличие от детерминированных эффектов у стохастических эффектов отсутствует порог дозы, ниже которого они не могут происходить. Они возникают не у каждого облученного лица; однако вероятность того, что у того или иного человека или у кого-либо из его потомков в последующих поколениях

может появиться одно из этих последствий, возрастает с увеличением получаемой дозы. Таким образом, даже если доза очень мала, все-таки существует вероятность, пусть и весьма незначительная, что у такого человека возникнут указанные эффекты.

Для больших групп населения, все члены которых подверглись воздействию незначительных доз облучения, может быть дана статистическая оценка ожидаемого числа дополнительных стохастических эффектов. Однако поскольку другие причины, не связанные с облучением, могут вызвать аналогичные последствия, невозможно с точностью определить, у кого именно из подвергшихся такому воздействию указанные последствия проявятся в качестве непосредственного результата радиационного облучения.

То есть для стохастических эффектов применяется линейная беспороговая гипотеза воздействия радиационных эффектов на здоровье (рис. 4-1б). Так, согласно оценкам международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) при дозе 1 Зв выход лейкозов составляет  $5 \cdot 10^{-3}$ . Следуя этой гипотезе, при дозе 0,01 Зв выход лейкозов будет равен  $5 \cdot 10^{-5}$  [104]. Иными словами, получив дозу в 1 Зв, человек заболевает лучевой болезнью в какой-либо форме, но при этом вероятность заболеть раком составляет  $5 \cdot 10^{-3}$ .

Надо сказать, что такая трактовка принята МКРЗ и не разделяется рядом ученых. Как достоверно установлено [108], малые дозы в пределах нескольких сантизивертов могут оказывать положительное влияние на здоровье. Например, у лиц, переживших ядерную бомбардировку и получивших дозы внешнего общего гамма-облучения в диапазоне 0,004-0,2 Зв, частота смертности от лейкемии меньше, чем у тех, кто не подвергался этому воздействию. Вспоминается давняя гипотеза, что в рамках классической теории о происхождении видов радиационное воздействие могло явиться причиной разделения полов. Так что благодаря малым дозам ионизирующего излучения человечество испытывает радости секса. В этой области еще остается недостаток знаний о радиационных воздействиях на здоровье, но

принято, что существующие рекомендации также имеют консервативный характер [109].

После аварии с выбросом в атмосферу радиоактивных веществ суммарная доза, получаемая населением, как правило, складывается из различных компонентов – от весьма высоких доз, получаемых незначительным числом людей, до весьма малых доз, получаемых подавляющей частью населения. Обычно основная часть ожидаемых раковых заболеваний возникает в большой группе населения, получившего меньшие дозы, чего в полной мере не могут предотвратить никакие защитные меры. Таким образом, максимум, что может быть достигнуто с помощью мер аварийного реагирования, – сокращение вероятного числа случаев раковых заболеваний настолько, насколько это возможно в разумных пределах. Это будет означать сосредоточение усилий на отдельных лицах, получающих более высокие дозы, что позволит достичь наибольшего эффекта для наименьшего числа людей, затронутых какими-либо защитными мерами.

Согласно [110, 111], в России канцерогенный радиационный риск, то есть вероятность заболеть раком, при мощности дозы 10 мЗв/год составляет  $5 \cdot 10^{-4}$ , при 1 мЗв/год –  $5 \cdot 10^{-5}$ . Вместе с тем вероятность заболеть раком при концентрациях химических веществ в воздухе на уровне ПДК более  $10^{-4}$  (рис. 4-2).

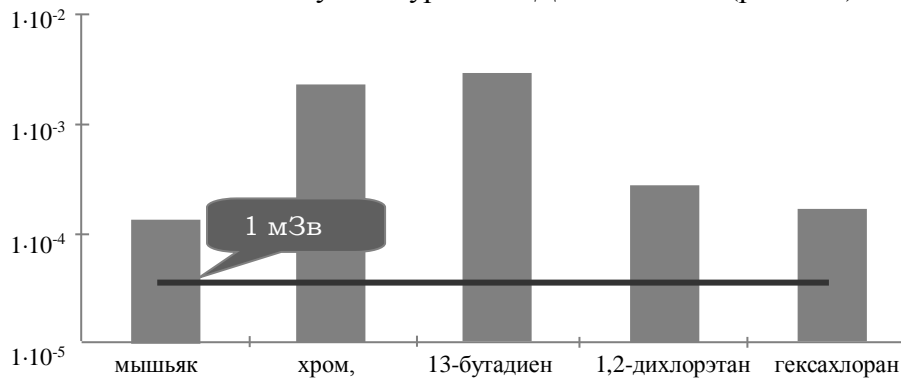


Рис. 4-2. Канцерогенные риски от химических и радиоактивных веществ на уровне нормативов



Можно было бы согласиться с выводом моих коллег [71, 111-113] – влияние радиационных факторов явно переоценивается по сравнению с опасностью химического загрязнения. Однако для убедительности следовало бы привести данные о том, что эти оценки и нормативы получены по единой методике расчета и правилу нормирования как химических, так и радиационных воздействий.

Для конкретных расчетов ущерба прежде всего необходимо очертить зону аварии, внутри которой рассчитывается ущерб, а за пределами ущерб пренебрежимо мал. И это одно из важнейших допущений расчета, так как размеры зоны зависят и от начальных условий выброса, и от мер аварийного реагирования, и от топологических, демографических, метеорологических и ряда других факторов. Так, например, для радиационного воздействия зоной аварии считается [100] территория, на которой накопленная за первый год после аварии средняя эффективная доза облучения лиц из критической группы населения (в соответствии с [72]) превышает 1 мЗв.

Указанное значение – результат экспертной оценки и, разумеется, может подвергаться сомнению. Например, среди специалистов по радиационной медицине Швеции до сих пор идут дискуссии о причинах увеличения частоты заболеваемости раком в стране. Есть мнения, связывающие этот факт с последствиями Чернобыля, есть исследования, их опровергающие. Во всяком случае включение Швеции в зону Чернобыльской аварии – предмет последующего накопления наших знаний о ее последствиях.

Вот как классифицируют коллеги из Минздрава потенциальную радиационную опасность на территории России [45]. К зоне **высокой потенциальной радиационной** опасности отнесены 11 субъектов федерации, в которых расположены АС. В их число вошла Ульяновская область, где расположен НИИАР со своим комплексом исследовательских реакторов.

К зоне **повышенной** потенциальной радиационной опасности отнесены 12 субъектов федерации, расположенных вблизи АС. К зоне потенциальной радиационной опасности – 56 субъек-

ектов, которые находятся в радиусе 1000 км от АС. Предполагается, что при тяжелой запроектной аварии радиоактивные вещества могут распространяться на расстояние 1000 км.

И, наконец, к зоне радиационной безопасности отнесены оставшиеся 10 субъектов. Такое районирование позволяет медикам формировать различные требования к планам медицинского обеспечения населения при радиационной аварии и планам аварийного реагирования.

Понятно, что границы зон аварий для расчета ущербов здоровью, объектам, природе могут быть различны. Для произошедших ЧС разрушения объектов наглядны и более очевидны, чем ущербы здоровью или природе. Можно даже сказать, что границы зон аварии устанавливаются пропорционально нашему знанию о предмете. И хорошо, что в настоящее время исследования в этой области ведутся достаточно интенсивно.

Таким образом, ущерб здоровью и жизни должен рассчитываться с учетом детерминистских и стохастических эффектов. Ущерб от стохастических эффектов оценивается:

$$Y_c = S_c Z_c, \quad (4-2)$$

где  $S_c$  – коллективная эффективная доза, полученная популяцией (персонал, население, критическая группа и т.п.), чел.·Зв;

$Z_c$  – денежный эквивалент единицы коллективной дозы, млн. руб./чел.·Зв. В [100] он принимается равным 0,3 млн. руб./чел.·Зв.

Ущерб от детерминистских эффектов оценивается:

$$Y_d = N_d Z_d, \quad (4-3)$$

где  $N_d$  – количество лиц с детерминистски обусловленными поражениями;

$Z_d$  – денежный эквивалент оценки тяжести поражения, млн. руб./чел.

Ущерб от летального исхода оценивается:

$$Y_l = N_l Z_l, \quad (4-4)$$

где  $N_l$  – количество погибших;

$Z_d$  – денежный эквивалент человеческой жизни (цена жизни), млн. руб./чел. В [100] он принимается равным 11 млн. руб./чел., что практически совпадает с расчетами [101]. Тогда общий ущерб здоровью и жизни, измеренный в рублях, будет равен сумме составляющих:

$$Y_3 = Y_c + Y_d + Y_l. \quad (4-5)$$

Применение предложенной методики сопряжено с решением ряда проблем. Для произошедших ЧС значения  $S_c$ ,  $N_d$ ,  $N_l$  – функция ряда факторов и времени, на момент которого рассчитывается ущерб. То есть ионизирующее излучение после аварии представляет активную угрозу со всеми отмеченными выше особенностями.

Для возможных ЧС ионизирующее излучение – это потенциальная угроза, и ее величины могут рассчитываться или экстраполяцией данных произошедших ЧС, как рекомендуется в [32], или вероятностными методами, например, как математическое ожидание этих величин.

Кстати, авторы [32] отказываются рассчитывать стоимость человеческой жизни, справедливо указывая на сложность и спорность любой оценки. При этом все лица, пострадавшие от ЧС, классифицируются на понесших материальные потери, заболевших или раненых и погибших. Последние две группы объединяются в разряде пораженных в результате ЧС. Подробно этот вопрос будет рассмотрен в разделе 4.5.

В завершение раздела уместно привести одни из последних данных (табл. 4-3), обобщающих ущерб от произошедших радиационных аварий [114]. Там же приведены данные об ущербе от техногенных аварий, произошедших в 2000 г. (табл. 4-4).

Представленные материалы иллюстрируют, что опасность для жизни человека от деятельности ядерной отрасли и использования ядерных технологий значительно меньше, чем в других отраслях промышленности, не связанных с ядерными технологиями.

Накануне 20-летия Чернобыльской аварии опубликованы результаты международной комиссии ООН [115], которые обработаны мной в табл. 4-5 и характеризуют объективные данные

мирового сообщества специалистов по радиационной медицине о последствиях.

**Таблица 4-3**

**Обобщение сведений о радиационных инцидентах на территории бывшего СССР по материалам регистра ГНЦ ИБФ на 30 июня 2003 г.**

Классификация установок и инцидентов	Количество инцидентов	Количество пострадавших, чел.	
		Всего	В том числе умерших
Радиоизотопные установки и радиационные источники	92	170	16
Рентгеновские установки и ускорители	39	43	-
Реакторные инциденты, потеря контроля над критичностью (без Чернобыльской аварии)	33	82	13
Местные лучевые поражения на ПО "Маяк" 1949-1956 гг.	168	168	-
Атомные подводные лодки	4	133	12
Другие инциденты	12	17	2
Чернобыльская авария	1	134	28
<b>Итого</b>	<b>349</b>	<b>747</b>	<b>71</b>

**Таблица 4-4**

**Характеристика техногенных чрезвычайных ситуаций,  
произшедших на территории Российской Федерации  
в 2000 г.**

Классификация объектов и инцидентов		Количество инцидентов	Количество пострадавших, чел.	
			Всего	В том числе умерших
Аварии на железнодорожном, водном и авиационном транспорте		42	316	86
Дорожно-транспортные происшествия		157596	179401	29594
Аварии на трубопроводах и химически опасных объектах		76	32	12
Пожары	на промышленных объектах	54	234	67
	в помещениях жилого назначения (город)	167633	9968	9366
	в помещениях жилого назначения (сельская местность)	78203	6898	4015
Боеприпасы и взрывчатые вещества		15	3	3
Выброс отравляющих веществ		38	117	10
Радиационно опасные объекты (нарушения, незначимые с точки зрения безопасности пер-		19	-	-

сонала)			
Разрушение производственных и жилых зданий	20	93	20
Аварии энергетических, коммунальных систем и тепловых сетей	100	523	8
Гидротехнические сооружения	2	7	2
Итого	403798	194689	46086

**Таблица 4-5**

### **Последствия Чернобыльской аварии**

1.	Количество людей, проживавших в зоне строгого контроля	400 тыс.
2.	Из них переселено:	346 тыс.
3.	▪ в том числе сразу после аварии в 1986 г.	116 тыс.
4.	▪ в последующие годы	230 тыс.
5.	Количество работников аварийно-спасательных служб в 1986-1987 гг.	200 тыс.
6.	Количество людей, постоянно проживающих на загрязненных территориях	270 тыс.
7.	Количество погибших или людей, которые могут погибнуть в будущем от острого лучевого поражения из общего числа 586 тыс. (строки: 3+5+6)	4000
8.	Из них живы	3940
9.	Погибли:	
	▪ от острого лучевого поражения	50
10.	▪ от рака щитовидной железы (дети)	9

### **4.3. Методы расчета материального ущерба промышленным объектам**

Основные недостатки расчетов материального ущерба состоят в том, что любые методы приближенны, результаты расчетов не достоверны, а их погрешности не определены. Это связано с трудностями подсчета пострадавших, с отсутствием достоверных данных об оценке имущества и с произвольным выбором различных коэффициентов расчета. Главная причина недостатков – отсутствие единой методики расчета материаль-

ного ущерба, непредназначенность действующей государственной системы сбора и обработки статистических данных для этих целей, постоянно меняющиеся классификаторы статистической отчетности. А, может быть, причина глубже и существует принципиальная невозможность охватить все многообразие жизненных обстоятельств одной системой отчетности.

Справедливости ради следует отметить, что существующие в стране формы статистической отчетности [61-62] содержат нужную информацию о последствиях аварий в ряде промышленных отраслей. Однако она разбросана по различным формам и явно не предназначена для расчетов величины ущерба, пригодных для разных отраслей.

Так, формы 35-ГА, 52-М, 24-ВТ содержат сведения о происшествиях на самолетах и вертолетах гражданской авиации, аварийности на море и внутренних судоходных путях соответственно. В первую включены данные о числе катастроф, аварий, сумма которых равна числу происшествий в авиации. Там же есть сведения о пострадавших в этих происшествиях, в том числе количества погибших и раненых. В двух других понятия катастрофы нет, есть сведения об авариях, и можно только догадываться, что в них авария – это то же, что летные происшествия в первой форме. В формах нет данных о количестве объектов, времени их работы, количестве пассажиров и т.п.

Также есть форма отчетности, содержащая количество автомобилей и мотоциклов, но в ней нет сведений об аварийности и числе пострадавших. То есть нужные данные существуют, но их можно найти в других формах. А в отсутствии единой методики расчета ущерба методы заполнения этих форм также различны. И то, что в одной форме называется аварией, в другой – имеет иное определение.

Следует заранее признать, что расчеты материального ущерба при существующем положении в статистической отчетности не достоверны и не могут проводиться с удовлетворительной точностью. В противном случае предлагаются внешне вполне благопристойные методы, произвольность которых со-

средоточена в поправочных коэффициентах, принимающихся без достаточных обоснований.

По существу, этот взгляд разделяется и авторами наиболее современной методики [32], которые признают достоверность метода оценки ущерба субъективным понятием. Обоснование величины ущерба – согласие всех заинтересованных сторон. Ведь если некоторые этапы расчетов могут опускаться из-за отсутствия необходимой информации, то это и есть неустранимый дефект расчетов.

В [32] содержатся предлагаемые формы статистической отчетности, которые действительно удобны и наглядны для расчетов ущерба, если бы была разработана такая же очевидная методика их заполнения, особенно в отчетных графах по уже произошедшим ЧС, так как в предложенных формах предусмотрена возможность прогнозирования ЧС на основе данных за предыдущие годы. На мой взгляд, очень правильное предложение специалистов МЧС, свидетельствующее о системности их подхода. После принятия унифицированной методики расчета ущерба следует разработать унифицированные для разных отраслей формы отчетности, сопроводив их методикой и процедурой заполнения этих форм. Но и здесь еще предстоит многое сделать.

Расчеты материального ущерба **произошедшей** ЧС требуют тщательного учета всех юридических и физических лиц, понесших ущерб, и расчетов их потерь, которые уже произошли. Сделать это очень непросто, так как существующая практика расследования последствий аварий свидетельствует о неустраняемой тенденции различных сторон уменьшить масштабы события. В этом сиюминутно заинтересованы и владельцы, и власти, и страховщики, и, как ни странно, зачастую сами пострадавшие. Вместе с тем очевидно, что часть имущества после ЧС утеряна безвозвратно и данные о нем не всегда могут иметь документальное подтверждение. Расчеты материального ущерба **прогнозируемой, возможной** ЧС, напротив, требуют оценки числа пострадавших лиц и объектов, зато все имущество находится в наличии и может быть оценено.



Однако оценка степени повреждения этого имущества в результате возможной ЧС – также дело непростое. Методика [100] относится ко второму случаю возможной ЧС. В ней материальный ущерб физических и юридических лиц, ущерб самой АС и т.п. рассчитывается по простым полиномам с учетом недопроизводства продукции, дисконтирования стоимости работ, затрат на восстановление там, где это возможно, и т.п. Именно обилие допущений и произвольность выбора коэффициентов пока являются неустраняемыми дефектами существующих методик.

#### **4.4. Методы расчета ущерба природе**

Все оговорки о недостатках информации, статистической отчетности и произвольности методов расчета, о которых шла речь в предыдущем разделе, с еще большим основанием могут быть повторены по отношению к расчетам ущерба природе. Материальные ценности в нашей стране хоть как-то учитывались. Но обилие “лесов, полей и рек” воспевалось без особого понимания их ценности и в прямом, и в переносном смысле. Ведь любая цена должна быть сформулирована количественно.

Во всем мире потребительское отношение человека к природе начало меняться только в XX веке. Безусловно, многое сделано для сохранения природы во всем мире и у нас в стране. В частности, [24] – это уже второй закон в России на эту тему. Но количественные методы расчетных воздействий на природную среду развиты еще недостаточно [116], а нормативные методики еще не разработаны. По крайней мере, нам не удалось найти работ, подобных [32, 100], для расчета ущерба природе. В [100] рассматривается лишь вывод из оборота сельскохозяйственных земель. Тем больший интерес представляет [40], в которой содержатся весьма перспективные подходы к решению задачи количественной оценки экологической опасности.

В этой работе развит ряд важных методологических приемов. Прежде всего следует отметить реалистический подход к постановке задачи. У нас в стране не развиты механизмы четко-

го государственного учета всех негативных воздействий предприятий на окружающую среду, особенно при авариях. Существующее законодательство позволяет предприятиям скрывать информацию не только о произведенных сверхлимитных выбросах и сбросах, но даже о потенциально опасных для природы технологиях и веществах, хранящихся на предприятии. Поэтому, не имея возможности сделать все, что нужно, авторы пытаются реализовать хотя бы то, что можно.

Важным надо признать стремление классифицировать опасности применительно к различным объектам. Мы обобщили предложенную классификацию в виде табл. 4-б.

**Таблица 4-б**

**Классы опасности загрязняющего вещества**

<b>Класс опасности</b>	<b>Номер класса для атмосферы и воды</b>	<b>Номер класса для почвы</b>
Чрезвычайно опасные	1	-
Высоко опасные	2	1
Опасные	3	-
Умеренно опасные	4	2
Мало опасные	-	3
Неопасные	-	4

Конечно, предложенная классификация вызывает много вопросов. Получается, что для воды и воздуха все вещества так или иначе опасны, а для почвы нет чрезвычайно опасных веществ. Но кажется, что на данном этапе важнее сама попытка классификации, чем уточнение ее деталей или методов отнесения загрязняющих веществ к тем или иным классам. Тем более, что предложенные классы используются для последующих количественных расчетов.

Правильной представляется попытка введения сводного индекса опасности в виде комплексного числа. В статьях, опубликованных в 2001-2003 гг., я впервые предложил использовать

комплексное число как аналогию для характеристики угроз, учитывающую как реальную, так и потенциальную составляющие [117]. В условиях информационной разобщенности есть все основания полагать, что авторы [40] осуществили свой подход вполне независимо, исходя из логики анализа реальных и потенциальных угроз. Однако они пошли дальше и предложили рассматривать и рассчитывать индексы опасности и впрямь как комплексные числа. И это характерный пример того, как аналогия приводит к ошибочным выводам.

Методика численных расчетов базируется на раздельном вычислении действительной  $D$  и мнимой  $R$  части комплексного индекса опасности  $Z$ :

$$Z = D + iR; \quad (4-6)$$

$$D = \frac{d_{\phi}}{4} (d_{\text{поч}} + d_{\text{вод}} + d_{\text{воз}} + d_{\text{отх}}); \quad (4-7)$$

$$R = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I_j + I_{\text{отх}} \right), \quad (4-8)$$

где  $d_{\phi}$  – коэффициент опасности объекта для флоры и фауны;

$d_{\text{поч}}$ ,  $d_{\text{вод}}$ ,  $d_{\text{воз}}$  – составные индексы опасности для почвы, воды и воздуха;

$d_{\text{отх}}$  – индекс опасности хранения отходов производства и потребления.

Все индексы  $d$  относятся к безаварийной работе;

$I_j$  – составной индекс опасности  $j$ -го загрязняющего вещества, учитывающий его совокупный объем на объекте;

$I_{\text{отх}}$  – составной индекс опасности образования отходов ликвидации ЧС.

Такой подход требует сравнивать величины индексов опасности по модулю:

$$|Z| = \sqrt{D^2 + R^2}, \quad (4-9)$$

а соотношение активных и потенциальных воздействий по величине угла:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{R}{D}. \quad (4-10)$$

Тем самым становится очевидной искусственность прямого использования аналогии, которую проще всего продемонстрировать на примере концентраций. Если поместить в некую точку датчик, то концентрация, измеренная при перманентном воздействии, будет складываться с концентрацией, измеренной при аварии, аддитивно, а не по (4-9). Зоны влияния в конечном счете рассчитываются по величинам концентрации на их границах. Так что использование комплексных чисел удобно и наглядно, но не отражает физическую природу, феноменологию опасных воздействий.

Важным и также спорным элементом предложенной методики является использование функции:

$$f = \frac{2x}{x + x_0}, \quad (4-11)$$

где  $x$  – параметр опасности;

$x_0$  – допустимое, базовое значение параметра опасности.

По этой формуле рассчитываются все упомянутые выше индексы  $d$  и  $I$  в зависимости от соответствующих параметров опасности.

Так

$$d_{\phi} = \frac{2S_{3B}}{S_{3B} + S_{C33}}, \quad (4-12)$$

где  $S_{3B}$  – площадь зоны влияния, под которой понимается территория, на которой суммарное загрязнение атмосферы от всей совокупности источников выброса превышает 5 % от ПДК;

$S_{C33}$  – площадь санитарно-защитной зоны.

Далее  $d_{\text{поч}}$  рассчитывается через

$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{2C}{C + \text{ПДК}}, \quad (4-13)$$

где  $C$  – концентрация  $j$ -го вещества. Для расчета  $d_{\text{воз}}$ , наряду с (4-13), используется комплекс

$$\frac{2K_{\text{оп}}}{K_{\text{оп}} + K_3}, \quad (4-14)$$

где  $K_{\text{оп}}$  – категория опасности предприятия для атмосферы, а  $K_3=10^3$  – базовое значение, принятое для предприятий 3-й категории опасности, а категории опасности в свою очередь рассчитываются через классы опасности (табл. 4-6). К слову сказать, методику [40] выгодно отличает полнота всех используемых формул, которая позволяет проследить и при необходимости проверить весь ход расчетов. Все расчетные коэффициенты и сделанные допущения тщательно описаны, хотя и существуют некоторые неточности в размерностях предложенных уравнений.

Использование (4-11) в качестве некой универсальной зависимости для расчета индексов опасности, концентраций и категорий опасности – основной системный недостаток методики. Как будто все эти величины непременно должны находиться в диапазоне  $[0, 2]$ . В этот же диапазон попадают и все значения  $R$ , а диапазон  $D$  составляет  $[0, 4]$ . Выражение (4-11) – это просто удобное авторам уравнение, а не закон природы или результат научного обобщения наблюдений за природой.

Кстати сказать, в области использования атомной энергии, где радиоактивное воздействие при аварии много выше, чем при нормальной эксплуатации, функцию  $f$  можно представить в виде:

$$f = \frac{NX}{(N-1)X + X_0}$$

или

$$f = \frac{NX}{X + (N-1)X_0}.$$

Эти функции также проходят через  $[X_0, 1]$ , также имеют асимптоты  $\frac{N}{N-1}$  или  $N$ , но  $N$  составляет величину в диапазоне  $10^4 - 10^6$  в зависимости от многих факторов аварии, а  $\varphi$  практически равно  $90^\circ$ .

Требует научных обоснований и выражение (4-7). Ни из чего не следует, что составные индексы опасности для разных сред аддитивны, а коэффициент опасности для флоры и фауны должен умножаться на суммарный коэффициент опасности загрязнений. Представляется, что цель экологических исследований собственно и состоит в выяснении закономерностей воздействия загрязняющих веществ на те или иные объекты животного и растительного мира.

Например, в области использования атомной энергии возможные радиоактивные воздействия при авариях на порядки выше, чем при нормальной эксплуатации, а радиологическое воздействие на человека прослеживается при тщательном анализе пищевых цепочек, учете поступления радиоактивных веществ через дыхание и т.п.

Таким образом, в настоящее время мы еще на пути к созданию методов расчета ущерба природе, и в этом направлении сделано меньше, чем для расчета ущерба здоровью, жизни и промышленным объектам.

#### **4.5. Отступление в отвлеченные сферы**

Длительное чтение материалов о вероятностях смерти, потери здоровья и т.п., постоянные размышления на эти темы понуждают задуматься и о некоторых смежных с ними проблемах: о стоимости человеческой жизни, о цене, которую общество готово платить за ее спасение и которую иногда платит в реальности, и тому подобных предметах, косвенно относящихся к основной идее данного раздела.

Существует расхожее мнение, что в мире есть только одна абсолютная истина, гласящая, что абсолютных истин нет. Энгельс писал: “В мире нет ничего раз и навсегда установленного, безусловно святого, на всем лежит печать неизбежного падения...”. Внешняя привлекательность этого дерзкого парадокса постепенно исчезает в лучах нашего собственного жизненного опыта. И первым же эмпирически доказываемым фактом является утверждение, что каждый человек непременно умрет. До

сих пор нет ни одного исключения из этого правила. Однажды я слышал возражение со ссылкой на Иисуса Христа. Но думается, что это все-таки предмет веры, а не эмпирического опыта.

Столь же абсолютной истиной является необратимость времени жизни, невозможность вернуться в прошлое, “остановить мгновенье”, “войти дважды в одну реку” и т.п. Как было сказано однажды: “Есть, как минимум, три абсолютных истины: необратимость жизни, неотвратимость смерти и невыразимость нашей печали об этом”.

Так вот из утверждения о неизбежности смерти вытекают два прямо противоположных следствия, которые я бы назвал варварским и библейским. Поскольку смерть неизбежна, жизнь ничего не стоит, человек – лишь средство для достижения высших целей (“племя, родина, род”, победа, коммунизм), “человек есть нечто, что должно превозмочь” и не стоит тратить силы и средства на спасение любой человеческой жизни. Правда, в таких рассуждениях подразумевается исключение для собственной жизни говорящего.

В библейском подходе, на котором основана вся западная цивилизация, из утверждения о неизбежности смерти вытекает понимание уникальности каждой человеческой жизни, ее бесценность, стремление к наивысшему качеству жизни, утверждение прав и свобод, которые, кстати, записаны и в нашей Конституции.

Переход от одного типа мышления к другому зависит не только от типа культуры, но и от располагаемых финансовых средств: у примитивных сообществ нет средств на культуру безопасности, цивилизованные общества тратят иногда огромные деньги на спасение жизни своих членов. Пренебрежение жизнью, подход к людям, как к винтикам, представления о человеке, как о средстве для достижения великой цели, были характерны для советского общества. “Единица – ноль...” – громыхал “лучший и талантливейший” певец этой эпохи.

Эта система взглядов лежала в основе и впечатляющих подвигов самопожертвования, описания которых наполнена вся послевоенная литература, и потрясающих воображение прика-

зов командующих войсками, чьи примеры содержатся в истории последней страшной войны. В великой русской литературе считанные эпизоды самопожертвования, но ими пестрят страницы литературы советской. У Пушкина, Достоевского, Чехова есть множество художественных образов маленьких людей, малость которых определяется отсутствием самоуважения и вытекающим из этого пренебрежением и к своей собственной жизни, и к жизни других. “Мы не любим себя, разве можно любить нас таких?..”

Я уже писал [28], что православие более других христианских конфессий основывается на соборности, общинности, хоре, церкви... Это философский фундамент советской идеологии, причудливо сочетавшийся с махровым атеизмом и богоборчеством “воинствующих безбожников”. Воспитание советского человека “нового типа” сопровождалось гекатомбами, в которых погибли лучшие представители русской культуры, носители и биологического, и нравственного генофонда. И мы все, нравится нам или нет, – потомки этих искалеченных подобным отбором людей. “Свободные люди не рождаются от рабынь”.

В истории Российского государства есть еще один сюжет, прямо относящийся к этой теме. Во многих определениях [118-120] такого уникального общественного явления, как русская интеллигенция, подчеркивается ее характерная черта – нелюбовь к власти и власть предрержавшим, приведшая ее сначала к народничеству и социализму, а впоследствии – к диссидентству и самиздату. Государство воспринимается не как необходимое условие человеческого общежития, а как сторонняя чуждая сила. Не в этом ли причина почти поголовного воровства в советское время и уклонения от уплаты налогов, увода денег за границу и тому подобных черт нашего общества? Да и как можно доверять государству, которое собственную казну держит за границей? “Когда государство жаждет крови своих подданных, оно называет себя Родиной”.

К сожалению, наши государство и общество, как они сформировались сейчас по-прежнему демонстрируют пренебрежение индивидуальной жизнью, а “восстание масс”, постигшее весь мир, выражается в интернациональной “попсовой”



культуре, оглупляющей и оглушающей нас посредством самых современных средств коммуникаций, где центральное место занимает ТВ.

Примеры государственной политики содержатся повсюду. Терроризм, захват заложников заняли свое место в классификации чрезвычайных ситуаций (см. табл. 3-2). Притом, что страхование жизни и собственности находятся в зачаточном состоянии, государственные обязательства компенсации за погибших не определены законом. То есть пока государство платит в случаях таких трагедий, но может и перестать. Московская власть доплачивает сверху, но делает это по собственному произволу. А нет худшего врага свободе человека, чем произвол власти.

Сами абсолютные величины этих финансовых компенсаций также не установлены законом, а вытекают из “практики”: 100 тыс. руб. – за погибшего, 50 тыс. руб. – за пострадавшего, отнесение к числу пострадавших проводится чиновниками экспертно. Сравните с цифрами раздела 4.2. Для справки: в США компенсации родственникам погибших в теракте 11 сентября составили 6 млн. долларов за человека. Дело не в том, что наше общество беднее американского (это, так сказать, эмпирический факт), а в том, что только трагедии вынуждают власти оценить стоимость жизни своих граждан. Зато сейчас эта цена установлена и может быть использована в расчетах социального ущерба от аварий наряду с теми величинами, о которых говорилось в разделе 4.2.

Есть еще один социальный аспект этой темы: расчет средней продолжительности жизни, которая во многих работах принимается равной 70 годам. К сожалению, эта цифра устарела и является завышенной. В России сложилась парадоксальная ситуация, когда средняя продолжительность жизни 58 лет для мужчин, ниже, чем законодательно установленный возраст выхода на пенсию. Хорошо, что хоть женщины живут дольше, так что в качестве расчетной продолжительности жизни целесообразней принимать величину в 60 лет. И каждый год потерянной жизни может оцениваться в 1,7 тыс. руб.

Разумеется, следует различать компенсацию за ущерб здоровью и жизни от стоимости предотвращения этого ущерба, которая должна сопоставляться с суммарным ущербом от ЧС (социальным, экономическим и экологическим). И хотя часто говорится, что предотвращение аварий выгодней, чем ликвидация всех ее последствий, но наша экономическая практика, увы, свидетельствует об обратном.

## **Глава 5. Методы оценки риска**

### **5.1. Определение и классификация риска**

Постоянно приходится сталкиваться с тем, что в разных источниках и даже в разных законах одно и то же понятие определяется по-разному. Особенно наглядно различие и непонимание характерно для термина “риск”. Немного известно понятий, определения которых бы так различались, как это. Есть даже некоторые работы, целиком посвященные критике этих различий и установлению нового определения тем или иным автором. Очень подробный и обоснованный анализ этого вопроса дан в [29]. В [43] содержится критика предложенного подхода. Разумеется [26, 27], также фиксируют различные определения терминов:

- мера опасности;
- вероятность или частота;
- количество пораженных;
- комбинация вероятности возникновения ущерба и его величины.

Даже в нормативных документах одного ведомства, например, [122], “количественными показателями риска” предлагается считать такие разнородные величины, как:

- “вероятность отказа технических устройств...”;
- “частота поражений отдельного человека...”;
- “ожидаемое количество пораженных...”;
- “частота реализации поражающих факторов...”;
- “математическое ожидание величины ущерба...”;

- “зависимость частоты возникновения событий...” от числа пораженных.

Понятно, что не только существо понятия различно в этих определениях, но и даже размерность. Вероятность не имеет размерности, частота – величина, обратная времени, количество пораженных измеряется натуральными величинами, а ущерб – соответствующими значениями в зависимости от постановки задачи. Существует одно принципиальное различие интерпретации понятий “безопасность” и “риск”. В первом случае, кратко изложенном в разделе 1, разные определения безопасности непротиворечивы и могут быть примирены, контаминированы. Напротив, разные определения риска предлагают различную сущность, различные аспекты, и стоило бы разобраться в причинах такого положения дел.

Сталкиваясь с различными определениями риска в разных областях, многие специалисты пытаются ответить на вопрос, существует ли обобщенное определение риска. Так, например, в [29] говорится:

“Проведенный анализ множества источников из различных областей знания, в которых используется понятие “риск”, позволил прийти к заключению, что в настоящее время используется множество различных определений риска.

Риск толкуется и как опасность, и как вероятность неблагоприятного события (возможность потери), и как ожидаемый ущерб от неблагоприятного события, и как векторная величина, составляющими которой являются вероятность события и ущерб от события, и др.

Существующее многообразие определений риска создает впечатление аморфности, отсутствия опорной линии в развивающемся в настоящее время прикладном направлении, связанном с управлением рисками и в био-, техно- и социосферах. Такое множественное представление понятия “риск” приводит к значительным трудностям решения практических задач, связанных с обеспечением безопасности человека и общества”.

Подобные представления существуют и во многих других работах [43, 121]. То есть риск гибели должен измеряться числом погибших, риск болезни – вероятностью заболеть при получении, скажем, эквивалентной дозы облучения, экономический риск должен измеряться в рублях, экологический – в тех

единицах, которыми измеряются экологические последствия, и т.п. Так что никакого противоречия нет в том, что разные специалисты дают определение риска, как вероятность, ущерб, или измеряют его в натуральных показателях.

Пример того, как важно точное лингвистическое оформление результатов, уместно привести в этом разделе. Из сказанного выше следует, что техногенный риск аварии оценивается количеством пострадавших в ней. Но переставьте слова, и риск техногенной аварии уже оценивается и количеством пострадавших, и величинами экономических и экологических последствий. В первом случае эпитет техногенный в соответствии с [122] выделяет вид риска, а во втором – определяет характер аварии. Надо сказать, что подобные примеры иногда встречаются и во вполне солидных и интересных работах [123,124].

Повторим еще раз. **Произошедшие** аварии или ЧС оцениваются величиной уже нанесенного ущерба. Вероятность или риск этих событий возникают при стремлении экстраполировать последствия произошедших ЧС в будущем, при прогнозе ЧС.

**Потенциальные** ЧС принципиально должны изучаться вероятностными методами, так как в реальности воздействий нет, но они могут быть, и для их характеристики вводится понятие “риск”. При всем многообразии определений этого понятия [34, 117, 85], о которых мы уже говорили и будем говорить еще, как и ранее, примем, определение риска  $R$  как произведение вероятности события  $P$  на величину его последствий  $Y$  (3-9).

Такое определение, как и в случае определения понятия “ущерб”, требует непрямого дополнения в родительном падеже после слова “риск”: потери здоровья, смерти, аварии, нанесения материального ущерба и т.п. И проблема оценки потенциальных угроз, оценки безопасности потенциально опасных объектов распадается на две равноправные, но принципиально различные по методам решения задачи: оценка вероятностей аварий и оценка последствий вероятных аварий.

Понятно, что риски измеряются теми же единицами, что и последствия, и поэтому риски разнородных событий уже нельзя сравнивать, как это сделано на рис. 3-5. Хотя весьма привле-

кательны и перспективны попытки оценивать все виды ущерба единой мерой, рассчитывая на нивелирующую и обобщающую силу денег. В зависимости от природы событий разрабатываются различные методики расчета их последствий. Врачи изучают последствия выброса на здоровье, экологи исследуют природные явления, экономисты подсчитывают материальный ущерб, технологи определяют воздействие выброса на сам объект и т.п.

Очевидно, что такой количественный показатель очень ограниченно может использоваться для характеристики безопасности самого объекта в разные периоды эксплуатации и для сопоставления объектов между собой. Не от хорошей жизни для оценки риска применяют экспертные оценки и упрощенные методики. К сожалению, у нас в стране не отлажен механизм создания, наполнения и сопровождения баз данных по отказам даже наиболее часто используемого оборудования. Это отчетливо понимают авторы [122], но несмотря на ограниченные данные, Методические указания, разумеется, весьма полезны для анализов опасностей различной природы, при оценках мер безопасности на модернизируемых объектах и т.п.

Помимо дополнения, следующего за словом: риск аварии, риск смерти, риск несчастного случая и т.д., используются предшествующие этому понятию эпитеты: технический риск, индивидуальный риск, коллективный риск и т.п. В нынешних условиях вряд ли кто-нибудь осмелится настаивать на правильности одного определения “всесильного, потому что оно верно”. Для целей разных исследований, методик, документов используются и будут использоваться все указанные определения тем более, что они установлены в целом ряде законов, нормативных правовых актов Президента и Правительства, ГОСТов, руководящих документов и т.п. [26]. И только постепенно, со временем, по мере осознания специалистами необходимости говорить на одном языке, органичного вымирания амбициозных упрямец, возможно, будет взаимопонимание и упорядочивание в применении этого термина.

Исключительно для целей данной книги далее, анализируя чужие работы, будем по возможности интерпретировать их

результаты в рамках определения (3-9). А так как различным подходам к расчетам вероятностей была посвящена глава 3, а расчетам ущерба – глава 4, то в данной будут рассмотрены, по сути, методы расчета и оценки объединения этих составляющих.

Из (3-9) очевидно, что все сказанное выше о различных определениях риска можно отнести к определениям ущерба [26]: их много, они различны в разных отраслях и т.д. Весьма продуктивной представляется типология рисков, предложенная в [125] (рис.5-1).



Рис. 5-1. Общая типология рисков

Также классификации рисков и ущербов вполне согласуются между собой: социальный (потеря рабочих мест, трудоспособности, болезнь, смерть); экономический (повреждение оборудования, зданий, объектов, сокращение выпуска продукции и т.п.); экологический (загрязнение окружающей среды, истощение природных ресурсов, уменьшение природного разнообразия и т.п.). Как уже говорилось в главе 1, такая классификация удобна и общепринята, несмотря на некоторую условность: загрязнение окружающей среды может вызывать болезни, повреждение объекта уменьшает занятость населения и т.д.

При этом сохраняется принципиальное отличие подходов в разных отраслях к расчетам риска аварий так же, как к расчетам их вероятностей: в одних случаях аварии происходят (**статистические, апостериорные** подходы), в других – аварии предупреждаются, то есть вероятности и риски аварий рассчитыва-

ются **априорно** моделированием возможных аварий по статистике отказов, а не самих аварий.

Вместе с тем при расчете рисков аварий возникает фундаментальная проблема: в каких единицах оценивать социальные, экономические и экологические риски, учитывая их различное содержание и объективную природу. Анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствует, что только деньги служат тем единственным эквивалентом, который обеспечивает сопоставление различных составляющих риска между собой и рисков аварий на различных объектах [35, 126]. И в блистательном исследовании [35], надолго опередившем свое время и до сих пор недостаточно оцененном в наше, содержатся не только аргументы в пользу такого подхода, но и конкретные рекомендации расчетов цены риска немедленной гибели. Однако соображения раздела 4.5 подтверждают, что пока в России нет необходимой статистической и методологической базы для реализации этих рекомендаций.

## **5.2. Оценка риска в общепромышленных отраслях**

В общепромышленных отраслях разработан ряд методических документов по оценке риска и последствий аварий [122, 126-129]. Для оценки вероятностей аварий в [122] рекомендуется использовать:

- статистические данные об аварийности;
- логические методы анализа деревьев событий и (или) отказов, имитационные модели возникновения аварий;
- экспертные оценки.

В приложении к [122] описано шесть методов анализов риска, часть которых может быть использована для качественных оценок опасности, а часть – для количественных. В основном, цели этих методов состоят в предоставлении:

- информации о состоянии безопасности;
- сведений о наиболее опасных, “слабых” местах на объекте;

- рекомендаций по уменьшению риска.

Основная претензия к перечисленным методам состоит даже не в том, что большая часть предложенных нормативных методов качественные, а в том, что даже количественные методы, как правило, основываются на экспертных оценках. Конечно, и экспертные оценки можно математизировать с помощью известных подходов, описанных, например, в [130-131]. Но вынужденная мера вытекает из несовершенства, а чаще отсутствия баз данных об отказах элементов и оборудования. И если мы хотим иметь не “информацию о состоянии безопасности”, а количественную ее оценку, то следует выработать организационные и экономически оправданные требования к созданию таких баз данных, их наполнению и сопровождению эксплуатирующими организациями.

Конечно, экспертно можно оценить “слабые” места в безопасности объектов, это, безусловно, важный аспект регулирования безопасности. Но указанная деятельность полностью определяется подбором экспертов, их добросовестностью и квалификацией при обработке результатов. С учетом вышесказанного понятно, что если у нас нет количественной меры риска, то говорить обоснованно об его уменьшении некорректно. Иными словами, без количественных методов его расчета поставленная цель вряд ли может быть достижима.

Претензии к существующим методам оценки техногенного риска становятся еще большими после изучения существующих подходов к использованию данных о риске летальных исходов, например, в [71], где приводится табл. 5-1.

**Таблица 5-1**

**Масштабы риска смерти (на человека в год)**

<b>Риск</b>	<b>Источник риска и причина смерти</b>
$10^{-8}$	Естественная среда обитания
$10^{-7}$	Излучение телевизоров



<b>Риск</b>	<b>Источник риска и причина смерти</b>
$10^{-6}$	Выбросы АС (нормальная эксплуатация)
$10^{-5}$	Все виды естественных катастроф; общественный транспорт
$10^{-4}$	Несчастные случаи (в среднем); автомобиль
$10^{-3}$	Болезни (все население); курение
$10^{-2}$	Тяжелая радиационная авария (ближняя зона Чернобыльской АС)

Хотя табл. 5-1 четко говорит о масштабах риска смерти, в [71] содержится характерное замечание: “Значение риска  $10^{-6}$  в год означает, что от вредного влияния выбросов и сбросов атомной станции может в течение одного года наблюдаться **вредный эффект** у одного человека из миллиона”. В таком контексте “вредный эффект” надо понимать как летальный исход.

Но и в этой очень правильной и разумной статье не оговорено, к чему отнесены представленные значения. Для всех строк табл. 5-1, за исключением 3-й и 7-й, это, по-видимому, “все население” (страны? планеты?). А в отмеченных строках, например, риск умереть в “ближней (?) зоне Чернобыльской АС” касается лишь живущих в ней. Ведь для эскимосов он просто равен нулю. Иногда ретроспективные, апостериорные риски смерти относятся к численности населения, хотя, в основном, смерть наступает персонал. Может быть только природные риски смерти стоит нормировать на численность населения, а техногенные – на число работников отрасли. Эти значения интересно сопоставить с данными о фоновых удельных показателях риска гибели, представленных в [95] (табл. 5-2).

Как можно предположить, фоновые показатели риска и есть статистические данные [51, 56, 57, 48] о гибели людей, отнесенные к величине произведенной продукции в каждой из отраслей: млн. т добытого угля или нефти, млрд. м<sup>3</sup> добытого газа, тыс. шт. общего числа объектов и т.п. При такой обработке еще можно сопоставлять аварийность в одной отрасли по годам, что очень важно. Но сравнивать показатели аварийности между от-

раслями можно, только приводя их, скажем, к одному периоду времени, для чего надо знать годовую производительность отрасли. Если в двух добывающих отраслях (первые две строки табл. 5-2) добыто по 1000 млн. т, то в угольной погибли 65 человек, а в горнодобывающей – 4 человека. Это абсолютные показатели, и для их сравнения с данными табл. 5-1 у нас нет сведений, к чему отнесены значения табл. 5-1.

**Таблица 5-2**

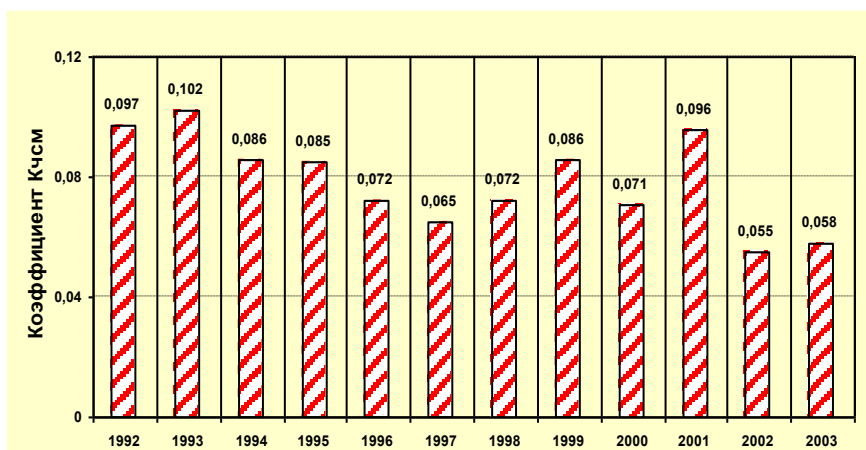
Поднадзорные объекты	Фоновые удельные показатели риска гибели людей за год		
	размерность	в аварии (по данным за 2000-2003 гг.)	в аварии или несчастном случае (по данным за 1994-2003 гг.)
Угольная промышленность	чел/млн. т добытого угля	$(6,56 \pm 5,15) \cdot 10^{-2}$	$(5,82 \pm 2,29) \cdot 10^{-2}$
Горнодобывающие производства	чел/млн. м <sup>3</sup> добытой горной массы	$(4,25 \pm 1,43) \cdot 10^{-3}$	$(7,47 \pm 1,04) \cdot 10^{-2}$
Нефтедобывающие производства	чел/млн. т добытой нефти	$(1,04 \pm 0,39) \cdot 10^{-2}$	$(7,51 \pm 1,38) \cdot 10^{-2*}$
Газодобывающие производства	чел/млрд. м <sup>3</sup> добытого газа	$(2,56 \pm 0,96) \cdot 10^{-3}$	$(5,27 \pm 4,05) \cdot 10^{-3*}$
Магистральный трубопроводный транспорт	чел/тыс. км общей протяженности магистральных трубопроводов	$(1,30 \pm 0,49) \cdot 10^{-2}$	$(3,04 \pm 0,70) \cdot 10^{-2**}$
Химическая, нефтехимическая и нефтеперерабатывающая промышленность	чел/млн. т общего объема производства	$(3,47 \pm 3,42) \cdot 10^{-2}$	$(9,94 \pm 3,30) \cdot 10^{-2}$
Металлургическая промышленность	чел/млн. т общего объема производства	$(6,08 \pm 0,33) \cdot 10^{-3}$	$(2,15 \pm 0,71) \cdot 10^{-1}$
Котельные установки, сосуды, работающие под давлением, трубопроводы пара и горячей воды	чел/тыс. шт. общего числа установок	$(2,70 \pm 0,10) \cdot 10^{-3}$	$(1,17 \pm 0,70) \cdot 10^{-2***}$
Объекты подъемных сооружений	чел/тыс. шт. общего числа сооружений	$(1,98 \pm 0,35) \cdot 10^{-2}$	$(1,54 \pm 0,14) \cdot 10^{-1}$
Объекты газоснабжения	чел/тыс. км общей протяженности подземных газопроводов	$(3,07 \pm 0,06) \cdot 10^{-3}$	$(3,52 \pm 1,15) \cdot 10^{-2}$

\* По данным за 1992-2003 гг.

\*\*\* По данным за 1997-2003 гг.

\*\* По данным за 1998-2003 гг.

Понимая проблему, авторы [70] приводят фоновые показатели производственного травматизма, отнесенного к 1000 работающих, что позволяет сопоставлять указанные показатели по годам (рис. 5-2). При желании эти данные можно экстраполировать на последующие годы. Тогда значения риска смерти для персонала Минатома получатся с определенной доверительной вероятностью. Но сопоставлять приведенный риск с данными табл. 5-2 невозможно. Хотя по порядку эти величины весьма похожи, они имеют различный “физический смысл”.



Кчсм – число пострадавших со смертельным исходом на 1000 работающих

Рис. 5-2. Сравнительные данные производственного травматизма со смертельным исходом по Минатому за 1992 – 2003 гг.

Совсем по другой причине некорректно сопоставлять между собой данные табл. 5-3, взятые также из [70]. Хотя, казалось бы, здесь методика нормирования одна и та же, но существо полученных данных различно. Дело в том, что, как уже отмечалось ранее в разделе 3, надо отличать аварии от несчастных случаев на производстве со смертельным исходом. При авариях происходит неконтролируемое высвобождение энергии или вещества в результате повреждения оборудования. Несчастные случаи бывают еще и по неосторожности, по случайному стече-

нию обстоятельств, приведших к гибели человека. Именно эти события регистрировались в Минатоме, где не было ядерных аварий. И количество погибших при нарушениях техники безопасности складывалось с погибшими в авариях, происходивших в разных странах.

**Таблица 5-3**

**Уровень производственного травматизма  
со смертельным исходом в отдельных странах**

<b>Страна</b>	<b>Численность пострадавших на производстве со смертельным исходом на 1000 работающих</b>
Германия	0,042
США	0,048
Япония	0,049
Франция	0,057
Канада	0,066
Бразилия	0,228
Республика Корея	0,327
Россия	0,144
Минатом России	0,058

В статистике смертей по странам объединены летальные исходы в результате аварий с несчастными случаями на производстве. А может быть, в каких-то странах еще учтено количество погибших в природных катастрофах. То есть опять же сопоставление зависит от того определения событий, которые использованы авторами статистических данных.

То, что ранее говорилось о двух видах ущерба здоровью, иллюстрирует рис. 5-3. В расчетах риска здоровью от детерминированных эффектов вероятности аварии умножаются на количество пострадавших, а риск стохастических эффектов рассчитывается как произведение вероятностей аварии на вероятности заболеть. То есть это прекрасный пример того, что даже

одна и та же величина – риск здоровью – имеет разную размерность и подсчитывается по различным методикам в зависимости от характера последствий, конкретных воздействующих на здоровье эффектов.

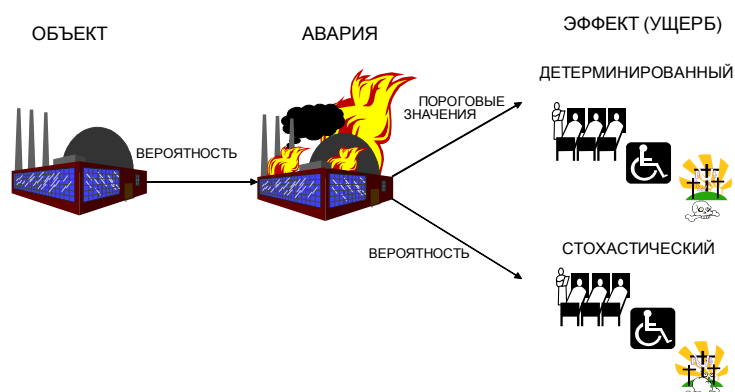


Рис. 5-3. Схема оценки риска здоровью

В табл. 5-4, взятой из [95], сопоставляются фоновые показатели риска гибели человека в техногенных происшествиях.

Таблица 5-4

Техногенное происшествие	Фоновые показатели риска гибели человека в техногенных происшествиях, год <sup>-1</sup>				
	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	В среднем за 2000-2003 гг.
Дорожно-транспортное происшествие	$2,05 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-4}$	$2,29 \cdot 10^{-4}$	$2,45 \cdot 10^{-4}$	$(2,23 \pm 0,17) \cdot 10^{-4}$
Пожар	$1,13 \cdot 10^{-4}$	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,37 \cdot 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$(1,27 \pm 0,11) \cdot 10^{-4}$
Чрезвычайная ситуация*	$7,90 \cdot 10^{-6}$	$8,60 \cdot 10^{-6}$	$1,48 \cdot 10^{-5}$	$8,00 \cdot 10^{-6}$	$(9,90 \pm 3,30) \cdot 10^{-6}$
Авария или несчастный случай на ОПО	$3,20 \cdot 10^{-5}$	$3,10 \cdot 10^{-5}$	$2,60 \cdot 10^{-5}$	$2,70 \cdot 10^{-5}$	$(2,90 \pm 0,30) \cdot 10^{-5}$

\* Все чрезвычайные ситуации природного, техногенного и биолого-социального характера, террористические акты.

И опять же можно только догадываться, к чему отнесены эти данные об аварийности: к числу всех дорожно-

транспортных происшествий, пожаров, ЧС или самих опасных объектов.

К авторам [95] нет претензий. Они лишь зафиксировали требования к вероятностным показателям, существующие в нормативных документах разного уровня и года издания, и в соответствии с этими требованиями представили данные о статистике летальных исходов в разных отраслях промышленности.

Характерный подход вероятностных расчетов потенциальной химической опасности содержится в [46]. Здесь также, только в контексте статьи, можно догадаться, что речь идет о рисках потери здоровья (химического поражения) и потери жизни. Но здесь уже оцениваются виртуальные угрозы. Для этого моделируется выброс отравляющих веществ на объекте и с помощью конкретных метеорологических, геологических и демографических характеристик рассчитываются локальные риски летального исхода за 1 ч, исходя из известного запаса отравляющих веществ на конкретном объекте утилизации химического оружия.

В табл. 5-5 приведены результаты одного из расчетов.

**Таблица 5-5**

Районирование территории	Значения риска летального исхода			
	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
Максимальный радиус зоны, км	0,5	2,7	8,6	12,0

Делается вывод, что для данного объекта зона безопасной жизнедеятельности начинается на расстоянии 500 м от объекта утилизации. Это важный практический результат, который может служить для организации противоаварийных мероприятий, разработки аварийных планов и т.п.

Но сопоставление с результатами апостериорных расчетов неопровержимо потому, что в одном случае вероятность получена из расчета на год, а в другом – на 1 ч. В конце концов,

фоновые годовые значения можно пересчитать на 1 ч, но все эти расчеты будут иметь смысл только в рамках данного исследования и несопоставимы с другими.

Прекрасные примеры сопоставления рисков гибели с риском аварии, сравнение вероятностей аварии на химических и ядерных объектах и т.п. содержатся в [133]. В этом сборнике, на отдельные статьи которого я уже ссылался, есть изложение выступлений на “круглом столе”. В них можно найти очень интересные данные о сопоставлении рисков, величинах потенциальных угроз и т.п. Например, **Н.С. Работнов**: смертность в 10 закрытых городах Минатома, где проживает примерно 600 тыс. чел., составляет 10 чел. на 1000 населения в год, а в Швеции этот риск смерти составляет 11 чел. **А.К. Гуськова**: за 50 лет существования атомной отрасли на стационарных установках и транспортных реакторах ВМФ зарегистрировано 56 и 24 смерти от радиационного поражения соответственно и 600 острых лучевых поражений. Эти цифры того же порядка, что и данные регистра США. В целом, среди основных причин смерти в России можно назвать разводы, курение, алкоголизм.

**Л.А. Булдаков**: в первые годы существования комбината “Маяк” было 18 тыс. персонала, работавшего в тяжелых условиях, которые характеризуются средней эквивалентной дозой 1,22 Зв. В США примерно 36 тыс. людей работали при средней эквивалентной дозе в 30 раз меньшей. Через 50 лет смертность составила 5,6 и 5,9 чел. на 1000 работающих в год соответственно, то есть “уровни радиационного воздействия в пределах до 1,0 Зв не оказывают никакого влияния на продолжительность жизни”.

**Ю.В. Сивинцев**: по данным международного центра, который анализирует последствия атомных бомбардировок, нет никаких достоверных данных об увеличении генетических заболеваний у жертв бомбардировок.

**А.П. Васильев** (цитируя Р.И. Нигматулина):

- ежегодно в России погибает 30-40 тыс. чел. в автокатастрофах, 78 тыс. чел. – в результате убийств, 180 тыс. чел. – в результате самоубийств;

- на 01.01.2001 г. на предприятиях находится 470 млн. м<sup>3</sup> жидких и 45 млн. м<sup>3</sup> твердых РАО с суммарной активностью 2 млрд. кюри, среди них высокоактивных 49 тыс. м<sup>3</sup> твердых и 32 тыс. м<sup>3</sup> жидких отходов. Ежегодно со всех АС выгружается 600 т ОЯТ (а в хранилищах его содержится около 14 тыс. т).

Некоторая часть из приведенной выше информации иллюстрируется и обобщается в [134], где очень аккуратно зафиксированы и величины отнесения, и статистические данные, так что годовые риски смерти от активных угроз различной физической природы представляются вполне обоснованными. Но даже в этом обстоятельном исследовании автор не уберется от соблазна сопоставить риски смерти от активных и потенциальных угроз, то есть сравнивать количества реально произошедших смертей с теми, которые могут произойти при авариях.

В завершение раздела рассмотрим один из последних документов в этой области [129] – очень важный и полезный стандарт, гармонизированный с международными рекомендациями 1995 г. Он часто используется многими специалистами, особенно в области технического регулирования, которое в соответствии с [1] должно осуществляться с учетом “степени риска”. Когда многие из нас впервые прочитали процитированную норму, то казалось, что где-то существуют методика или стандарт, регламентирующие расчеты указанной “степени риска”, без количественной меры которой многие положения [1] теряют смысл.

В настоящее время очевидно, что такие методики еще предстоит разработать, и данная книга, как и [129], может стать некоторым шагом в нужном направлении. Во всяком случае, [129] содержит ряд концептуальных положений, классификаций и процедур, но в нем еще нет количественных методик расчета степени риска. По существу, это переходный документ, и актуальная задача – его пересмотр и дополнение количественными методиками.

Используя вышесказанное, рассмотрим проблемы, которые предстоит решить при разработке количественных методов



расчетов риска потери жизни на примере какой-либо отрасли, например, угольной.

Прежде всего будет непросто определить, каковы границы отрасли, какие объекты в нее входят. То есть следует сформировать базу данных рассматриваемых объектов, входящих в государственный реестр опасных производственных объектов, ведение и актуализация которого в соответствии с пунктом 5.3.5 [4] находятся в числе функций Ростехнадзора. Затем надо очертить круг людей, которые могут подвергнуться смертельной опасности при эксплуатации этих объектов. Иными словами, надо разрабатывать нормативный перечень лиц, непосредственно участвующих в технологических процессах, что тоже непросто: придется предварительно решать, куда относится управленческий, обслуживающий и т.п. персонал.

И, наконец, необходимо вести мартиролог – количество погибших на производстве на всех объектах данной отрасли. При этом также нормативно следует решить, какие летальные исходы относятся к технологии, какие к нарушениям техники безопасности, какие к естественной смерти в рабочее время. Повидимому, расчеты следует вести, как принято, за календарный год. Тогда обозначим:

$M$  – количество объектов;

$K$  – среднесписочная численность производственного персонала в году;

$k_c$  – количество смертельных случаев на производстве за год;

$k_n$  – количество пострадавших на производстве за год.

И сразу возникает целый комплекс вопросов. Как рассчитывать риск смерти? Характеризует ли отношение  $P = \frac{k_c}{K}$  вероятность смертельного случая на производстве, а  $R = \frac{k_c^2}{K}$  – риск смертельного случая?

Или надо вводить время работы на производстве  $t_p$ , общее время работы производства в году  $T$  и рассчитывать вероятности как комбинации этих величин, используя (3-7), например:

$$P = \frac{\sum k_c t_p}{KT},$$

а риск смерти

$$R = \frac{k_c \sum k_c t_p}{KT} ?$$

Или разработать еще более сложный алгоритм расчетов, учитывающий отпуска, время нетрудоспособности и т.п.?

При любом ответе на поставленные вопросы следовало бы разработать нормативный документ с методикой, унифицированной для всех отраслей. Методика служила бы для расчетов риска смерти или риска потери здоровья при замене  $k_c$  на  $k_n$ . Здесь приходится преодолеть искушение самому ответить на поставленные вопросы. Ответы будут по определению ограничены рамками той отрасли, в которой имеется собственный опыт. А нормативное решение должно быть результатом обобщения опыта хотя бы некоторых отраслей.

Таким образом, могут быть созданы нормы расчета риска **произошедших** несчастных случаев на основании данных статистики, которые должны сопровождаться бланками форм статистической отчетности, методиками их заполнения и методиками экстраполяции данных для оценок риска несчастных случаев, **возможных** в следующем году.

Существуют опасения, что для транспорта все эти методики придется разрабатывать особо, так как там надо будет отличать персонал от пассажиров, иметь данные о продолжительности рейсов и тому подобные особенности. Для ядерной же технологии указанные методики будут неприменимы ввиду отсутствия в ней статистики смертельных случаев, произошедших именно вследствие использования технологии, а не нарушений техники безопасности. Риски смерти в ядерной технологии коренятся в ее **потенциальной** опасности, и в ней используются принципиально иные подходы.

### **5.3. Оценка риска в области использования атомной энергии**

Любой сложный технический объект состоит из ряда систем. В свою очередь, последние подразделяются на элементы (трубопроводы, сосуды, насосы, арматура, электронные и электротехнические изделия и т.д.). В общем, можно говорить, что объект включает в себя части, которые сами могут представлять собой технические объекты. Все зависит от степени детализации и целей анализа его работы. По влиянию на безопасность оборудование может быть разделено на важное для безопасности и не влияющее на безопасность.

В атомной энергетике в [25] системы и элементы классифицируются по четырем классам по влиянию их на безопасность. Если нижеследующие рассуждения относить к АС, то будем говорить об элементах АС первых трех классов. Согласно определению [25], это оборудование, отказы которого могут приводить к ядерным авариям. Значит, статистика отказов такого оборудования при эксплуатации, при периодических испытаниях в составе объекта и при заводских испытаниях чрезвычайно важна для оценки безопасности самого объекта. Она определяется, в основном, надежностью оборудования, а также рядом других сопутствующих факторов, о которых пойдет речь далее (методики испытаний, методы обработки данных, экспертные оценки и т.п.).

Само же оборудование, важное для безопасности, по возможностям замены разделяется на три группы, как показано на рис. 5-4, иллюстрирующем огромное значение диагностики в обеспечении безопасности. С помощью специальных методов и технических средств эта наука обеспечивает получение достоверной информации о техническом состоянии с целью повышения его надежности и ресурса [135, 136]. По результатам диагностики принимается решение о своевременных ремонтах или замене оборудования.

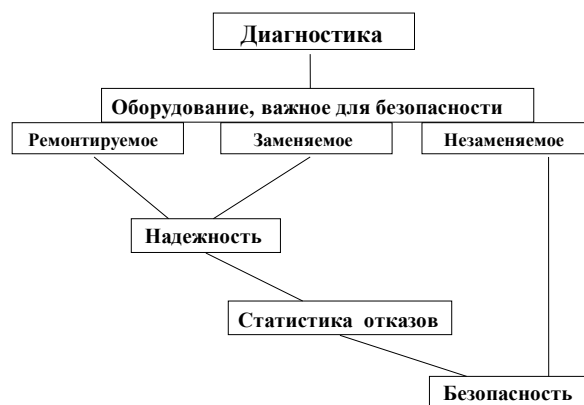


Рис. 5-4. Роль диагностики в обеспечении безопасности

В области использования атомной энергии выполняются оценки риска ядерной аварии, под которой понимается повреждение оборудования, содержащего ядерные материалы, – твэлов, превышающее установленные пределы безопасной эксплуатации, и (или) облучение персонала и (или) населения, превышающее разрешенные пределы. Здесь использовано каноническое определение ядерной аварии на АС [25], удобное для целей данного раздела.

Оценки риска ядерной аварии осуществляются в рамках вероятностного анализа безопасности (ВАБ) или в американской терминологии – вероятностной оценки риска. Далее, в основном, речь будет идти о ВАБ АС.

В соответствии с действующими рекомендациями [137, 138] существуют два уровня ВАБ: ВАБ-1 – расчет вероятностей повреждения твэлов свыше установленных пределов и ВАБ-2 – расчет вероятностей аварийного выброса радиоактивных веществ. На практике существует еще ВАБ-3 – расчет вероятностей сверхнормативного облучения населения и окружающей среды, включая летальные исходы населения.

Все три типа ВАБ с различной полнотой анализа рассчитывают вероятность возможной ядерной аварии, которая может произойти в результате конкретного набора исходных событий. Но последствия аварии могут быть разными: повреждение твэ-

лов может не сопровождаться переоблучением персонала, а облучению персонала не обязательно сопутствует переоблучение населения. Это, как говорилось в разделе 3, фиксированные последствия аварии, зависящие от путей протекания, сценария аварии.

Методология ВАБ позволяет получить комплексную количественную оценку ЯРБ одного конкретного реактора. Эта оценка используется для различных целей: анализа сбалансированности проекта, разработки мероприятий по повышению ЯРБ; оценки надежности важных для безопасности систем, их защищенности от отказов по общим причинам, от ошибок персонала; обоснования эксплуатационной документации, в том числе технологического регламента эксплуатации, разработки программ аварийного реагирования, и т.п. Вот для чего очень осторожно следует использовать ВАБ, так это для сопоставления разных реакторов между собой. Ниже будут представлены аргументы такого скептицизма.

Пока рассмотрим, как выполняется ВАБ для действующих АС. Разумеется, ЯРБ зависит от режима работы станции: номинальная или пониженная мощность, пуск или останов, начало или конец топливной кампании, от заполнения бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива и т.п. Хотя величина оценки ЯРБ для разных состояний и режимов эксплуатации АС будет различна, методика оценки состоит из общих этапов, которые целесообразно представить в виде последовательности решения задач (табл. 5-6).

Поскольку АС – сложный технический объект, при математическом моделировании ее работы принимаются допущения, имеющие, как правило, консервативный характер [37-39]. Полезно привести некоторые из них:

- в случае отказа срабатывания аварийной защиты реактора происходит повреждение твэлов;
- разрывы трубопроводов учитываются как инициирующие события и не моделируются в деревьях отказов систем;

- при запаривании или затоплении машинного зала в ходе аварий все оборудование с электроприводами откажет: работающие насосы остановятся, арматура останется в состоянии, в котором была перед аварией, и т.п.

**Таблица 5-6**

<b>№ этапа</b>	<b>Наименование этапа ВАБ</b>	<b>Результат выполнения этапа применительно к любому источнику опасности</b>	<b>Необходимость участия экспертов в выполнении этапа</b>
1	Изучение АС и сбор информации	Информация, необходимая для учета источников опасности объекта	Нет
2	Идентификация и выбор источников радиоактивных выбросов, находящихся на площадке АС	Определение и выбор источников опасности для последующего анализа	Нет
3	Определение и выбор эксплуатационных состояний АС	Определение того, для каких исходных эксплуатационных состояний источника опасности будет выполняться анализ	Нет
4	Определение состояний повреждения активной зоны или других последствий	Установление (выбор) характеристик состояний источника опасности, которые рассматриваются как наносящие вредные воздействия	Да
5	Выбор и группировка иницирующих	Определение (выбор) полного множества пересекающихся исходных	Да

<b>№ этапа</b>	<b>Наименование этапа ВАБ</b>	<b>Результат выполнения этапа применительно к любому источнику опасности</b>	<b>Необходимость участия экспертов в выполнении этапа</b>
	событий	событий (и их характеристик), с которых могут начаться процессы, приводящие при известном развитии последующих событий и процессов к состоянию источника опасности, наносящему вредные воздействия	
6	Моделирование последовательностей событий	Описание логики возможных последовательностей событий после реализации инициирующих событий	Да
7	Функциональный анализ и определение критериев успеха систем	Определение функций безопасности, которые необходимо обеспечить для предотвращения наступления состояния источника опасности.	Нет
8	Моделирование систем	Построение логических моделей отказов технических средств и ошибочных решений и действий персонала рассматриваемого объекта, при которых не реализуются предусмотренные функции и меры безопасности	Нет
9	Анализ надежности персонала		Да
10	Качественный анализ зависимостей	Уточнение логической модели безопасности объекта	Да

<b>№ этапа</b>	<b>Наименование этапа ВАБ</b>	<b>Результат выполнения этапа применительно к любому источнику опасности</b>	<b>Необходимость участия экспертов в выполнении этапа</b>
11	Оценка частот инициирующих событий	Подготовка количественных данных для последующего расчета с использованием модели безопасности объекта	Да
12	Оценка надежности элементов		Нет
13	Оценка вероятностей отказов по общим причинам		Да
14	Предварительный расчет аварийных последовательностей	Определение набора сочетаний событий, которые могут привести к анализируемому нежелательному состоянию источника опасности в случае реализации любого из инициирующих событий, а также вероятностей наступления таких сочетаний событий	Нет
15	Окончательный расчет аварийных последовательностей		-
16	Интерпретация результатов; анализы значимости и чувствительности	Исследование устойчивости полученных результатов к варьированию допущений и данных, применявшихся при построении модели безопасности и при расчетах. Выявление элементов моделей, существенно влияющих на полученные результа-	Да



№ этапа	Наименование этапа ВАБ	Результат выполнения этапа применительно к любому источнику опасности	Необходимость участия экспертов в выполнении этапа
		ты анализа. Обсуждение полученных результатов	
17	Определение пространственных взаимосвязей	См. пункт 10	-
18	Анализ пожаров	См. пункт 5	-
19	Анализ затоплений		-
20	Анализ землетрясений и других внешних воздействий		-

\* Необходимость привлечения экспертов сама декларирована экспертом, сотрудником НТЦ ЯРБ к.т.н. А.В. Любарским.

В связи с тем, что эти допущения дискредитируют результаты анализа, одно из направлений совершенствования ВАБ состоит в последовательном их исключении, что требует углубления знаний о поведении объекта.

Перечень инициирующих событий базируется на международном опыте проведения ВАБ, сконцентрированном в рекомендациях МАГАТЭ (TECDOC-749) с учетом специфических особенностей конкретного энергоблока АС. Модели развития аварийных последовательностей учитывают наиболее неблагоприятные сценарии развития аварий для групп инициирующих событий. Для этих групп предъявляются одинаковые требования к работе систем и действиям персонала по исполнению функций безопасности (критерии успеха). Для каждой группы событий

разрабатываются модели развития аварий с помощью наборов деревьев событий и деревьев отказов. Так, в [37, 38] рассмотрено 130 видов инициирующих событий, объединенных в 40 групп.

Важная проблема при выполнении ВАБ – оценка частоты возникновения инициирующих событий [84, 85, 97]. Энергоблоки с реакторами даже одного типа имеют разное оборудование. Обобщенная база данных об отказах оборудования должна быть правильно совмещена со специфической базой данных для исследуемого энергоблока. Вместе с тем надо принимать во внимание исходные события, которые никогда не возникали на действующих АС. Интересно, что при вероятностных анализах безопасности практически не рассматриваются так называемые показатели безопасности, проанализированные в разделе 3.2. Иначе говоря, ВАБ не нуждается в анализе произошедших нарушений эксплуатации объекта, используя для моделирования аварий данные об отказах оборудования. Эти отказы, как правило, рассматриваются не как нарушения эксплуатации АС, а как цеховые.

Тем не менее, в ВАБ не обязательно считать вероятности повреждения активной зоны как конечного события анализа. **Очень полезно было бы выполнить расчеты некоторых реальных статистически наблюдаемых нарушений эксплуатации в качестве конечного состояния АС, рассматривая его в качестве эксперимента, проведенного на практике.** Такие расчеты послужили бы отладке элементов моделей ВАБ.

Модель ВАБ представляет собой множество аварийных последовательностей, начинающихся инициирующими событиями и заканчивающихся конечными состояниями активной зоны реактора. В деревьях событий максимально учитывается причинно-следственная и временная логика развития аварий.

Конечные состояния разделяются на успешные и неуспешные. Успешным считается достижение устойчивого безопасного состояния остановленного блока АС в течение минимум 24 ч с момента возникновения инициирующего события и когда в ходе аварии не превышаются пределы повреждения твэ-

лов, установленные для проектных аварий на данном типе реактора. Вместе с тем анализируются факторы, способные привести к повреждению твэлов за пределами 24 ч (исчерпание запасов теплоносителя, сжатого воздуха и т.п.).

Критерием неуспешного конечного состояния ВВЭР и РБМК считается достижение температуры оболочек твэлов 1200 °С в соответствии с [86]. Для понимания объема работ при моделировании систем ВВЭР-1000 можно привести их перечень [37] (см. ниже).

### Перечень систем в модели ВАБ

<b>Системы безопасности</b>
Система аварийной защиты реактора
Система подпитки-продувки
Система гидроаккумуляторов
Система аварийного охлаждения активной зоны высокого давления
Система аварийного охлаждения активной зоны низкого давления
Система главных запорных задвижек 1 контура
Система аварийного газоудаления
Система впрыска в компенсатор объема с напора главных циркуляционных насосов
Спринклерная система защитной оболочки
Система паропроводов “свежего” пара
Система нормального расхолаживания через второй контур
Система аварийного расхолаживания через второй контур
Система локализации защитной оболочки
<b>Вспомогательные системы</b>
Системы контроля и управления
Системы управления запорной арматурой
Системы управления электродвигателем 6 кВ
Системы управления электродвигателем 0,4 кВ
Система технологических защит реакторного отделения

Системы электроснабжения
<b>Вспомогательные системы</b>
Системы аварийного электроснабжения
Системы резервного электроснабжения
Система промежуточного контура системы аварийного охлаждения активной зоны
Система технического водоснабжения ответственных потребителей

В результате расчетов [37, 38] получены следующие значения вероятности того, что истинное значение частоты повреждения активной зоны (ЧПЗ) не превосходит полученной оценки, и параметрической неопределенности (первая строка табл. 5-7).

**Таблица 5-7**

**Результаты расчета вероятностей и параметрической неопределенности по [37, 38] и собственные оценки статистики аварий**

Параметры	Точечное значение ЧПЗ, 1/год	Вероятность того, что истинное значение ЧПЗ не превосходит значения в таблице			
		5 % (нижняя оценка)	50 % (медианная оценка)	Среднее значение ЧПЗ	95 % (верхняя оценка)
Суммарная ЧПЗ для всех ИС. 1 блок Калининской АС [37, 38]	2,39E-4	9,47E-5	1,98E-4	2,46E-4	5,33E-4
Средняя ЧПЗ по всем реакторам мира	2,0E-4	3,56E-5	-	-	4,76E-4
Оценка при продлении срока службы на 15 лет	2,0E-4	4,49E-4	-	2,99E-3	8,94E-3

Вероятности в первой строке табл. 5-7 получены для конкретного энергоблока № 1 Калининской АС при работе на номинальной мощности и учете внутренних исходных событий (ИС). Именно они могут служить комплексной количественной оценкой ЯРБ этого энергоблока. Хотя, как уже говорилось, сами исследования ВАБ-1 используются для других целей:

- обнаружение приоритетных вкладчиков в результирующую величину вероятности;
- разработка рекомендаций по устранению этих вкладчиков и повышению надежности оборудования и систем, что, в свою очередь, приводит к совершенствованию эксплуатации, технического обслуживания и ремонта;
- обоснование технических решений по модернизации.

Необходимость использования мнений экспертов на различных этапах выполнения ВАБ (табл. 5-6), является неустрашимой причиной того, почему современный ВАБ не может служить для сопоставления безопасности разных реакторов. Получается так, что при расчетах конечной величины ЧПЗ на разных этапах используются субъективные экспертные оценки, которые потом связываются математическими зависимостями. И хотя экспертные оценки также обрабатываются математическими методами, это не может завуалировать тот факт, что сами конечные величины ЧПЗ могут назначаться экспертно, а затем также обрабатываться. Это ничуть не лучше экспертных методов [122, 129].

Другой серьезный дефект вероятностных анализов – отсутствие согласованных нормативных подходов к составлению базы данных об отказах и отсутствие единых процедур и методов сбора и обработки этих данных. Хотя повторяю, порядки полученных величин вполне согласуются между собой.

В завершение раздела попробуем подойти к анализу риска аварий в атомной энергетике с помощью статистических расчетов. Интересно сопоставить оценку безопасности, полу-

ченную ВАБ, с обычным статистическим подходом оценки вероятностей событий при следующих предположениях\*:

- общее число энергетических реакторов в мире  $N = 500$ ;
- суммарная наработка всех реакторов  $T = 10^4$  лет;
- различиями в типах и конструкциях реакторов пренебрегаем, то есть выборку реакторов примем однородной;
- число ядерных аварий за этот период  $n = 2$  (Три-Майл Айленд, Чернобыль).

Последнее допущение основывается на данных табл. 5-8, взятой из обстоятельного обзора [139].

**Таблица 5-8**

Место аварии	Дата	Причина	Выброс радиоактивности, Cu, Ки	Площадь загрязнения, км <sup>2</sup>	Число эвакуантов	Число погибших
Кыштым, Ю. Урал	29.09.1959 г.	Взрыв хранилища	2Е6 Cu, в т.ч. 5,4Е4 Cu Sr-90	15 000	100Е3	-
Виндскэйл, Великобритания	10.10.1957 г.	Горение графита	3Е4 Cu, в т.ч. 2Е4 Cu I-131	500	-	-
ТМ1-2, США	28.03.1979 г.	Расплавление АЗ АС	20 Cu I-131	-	-	-
Б. Чажма, СССР	10.09.1985 г.	Разгон реактора АПЛ	7Е6 Cu	2	290	10
Чернобыль, СССР	26.04.1986 г.	Разгон реактора АС	50Е6, в т.ч. 15Е6 I-131 2Е6 Cs-137	2000	120Е3	31

Из табл. 5-8 следует, что остальные три аварии происходили не на энергетических реакторах, а точной статистики о нарушениях эксплуатации и времени эксплуатации этих объектов в открытой печати нет.

Тогда эффективная несмещенная оценка средней частоты ядерных аварий:

\* Эти расчеты проведены к.ф.-м.н. В.С. Солдатовым.

$$\Lambda = \frac{n}{T}.$$

Интервальная оценка  $\Lambda$ :

$$\Lambda_{0,05} = \frac{\chi_{0,05}^2(2n)}{2T},$$

$$\Lambda_{0,95} = \frac{\chi_{0,95}^2(2n)}{2T}.$$

Средняя частота ядерных аварий на один энергоблок:

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\Lambda}{N}.$$

При продлении срока службы на  $t = 15$  лет уравнение (3-6) упрощается, и для одного реактора оценки вероятностей ядерной аварии рассчитываются:

$$P(t) = 1 - e^{-\Lambda t}.$$

Результаты расчетов приведены во второй и третьей строках табл. 5-7. Видно, что существует хорошая корреляция между различными методами расчетов, но это совпадение свидетельствует только о том, что подобные сопоставления преждевременны и необоснованны.

Здесь уместно обратить внимание на бытующие иногда попытки использовать ВАБ для сопоставления проектов будущих реакторов. В той части, в которой будущие реакторы используют действующее оборудование, все сказанное выше об ограниченности ВАБ полностью применимо и к ним. Но наряду с этим оборудованием, будущие реакторы в своей новой части используют оборудование, не имеющее аналогов, опыта эксплуатации и специфической базы данных отказов. Тогда конструкторы **назначают** надежность оборудования, исходя из требований проекта. И трудно преодолеть искушение назначить желаемые высокие характеристики надежности.

Пока ВАБ проектируемых энергоблоков используется для выбора проектных решений одного типа реакторов, в этом нет ничего плохого. Ведь именно проектанты формируют требования к необходимым системам, элементам и их оборудованию. Но затем как-то забывается, что это новое оборудование

пока существует лишь на бумаге, что его реализация ограничена возможностями имеющихся технологий. И полученные значения вероятностей, основанные на **желаемых** характеристиках, сопоставляются с вероятностями, рассчитанными для действительных, реальных характеристик, разумеется, не в пользу последних.

На практике существует много примеров расчетов вероятностей ядерных аварий на проектируемых реакторах, имевших неправдоподобно низкие значения. Это лишний раз подтверждает, что наличествующий сегодня инструмент может применяться для сравнения разных типов реакторов между собой только ограниченно, когда строго выдержаны единообразие методов расчета и одинаковые граничные условия.

Примером такого не вполне корректного сопоставления может служить рис. 5-5, любезно предоставленный специалистами АЭП. На нем нанесены результаты ВАБ-1, выполненные для действующих, проектируемых и строящихся реакторов различных стран и различных типов. Впечатление от такого сопоставления как от толпы на некоторых картинах И. Глазунова: каждый может делать свои выводы, не задумываясь об их обоснованности.

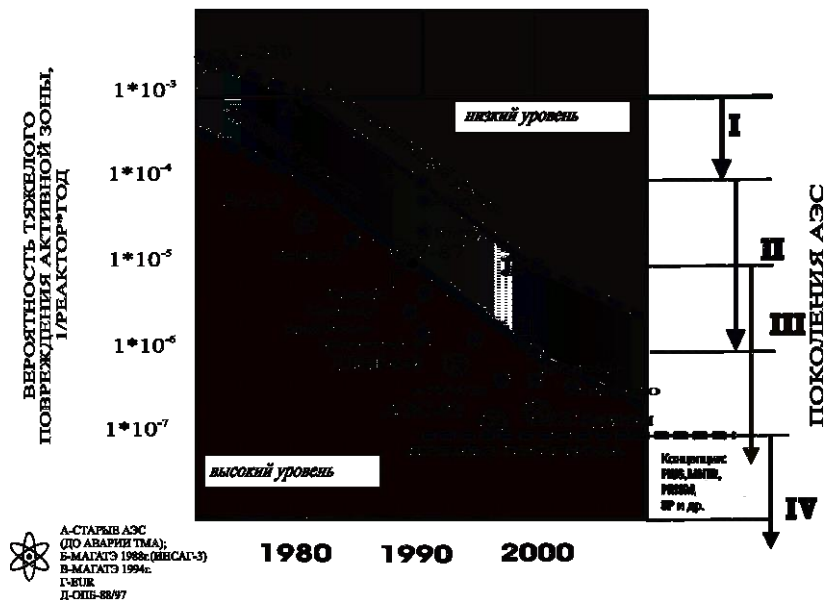


Рис. 5-5. Результаты ВАБ-1 для различных поколений АЭС



Завершая этот раздел, приведем в табл. 5-9 сопоставление статистических (первые три строки) и гипотетических (последние три строки) данных из [133], которые не нуждаются в комментариях, с учетом всего, сказанного выше.

**Таблица 5-9**

**Индивидуальные годовые риски смерти  
для населения России**

Причины	Подвержено, млн. чел.	Риски	Смертей в год
<b>Все причины</b>	<b>69 (мужчин)</b>	$1,5 \cdot 10^{-2}$ (среднее за 1996-1999 гг.)	1 060 000
<b>Несчастные случаи</b>	<b>69 (мужчин)</b>	$3,4 \cdot 10^{-3}$ (среднее за 1996-1999 гг.)	240 000
<b>Сильное загрязнение воздушной среды</b>	70	$1 \cdot 10^{-3}$	70 000
<b>Зона отселения ЧАЭС</b>	0,1 (загрязненные районы Украины, России, Белоруссии)	$8 \cdot 10^{-5*}$	8*
<b>Население вблизи ГХК, СХК, ПО "Маяк"</b>	0,9	$6 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-7*}$	< 3*
<b>Население вблизи АЭС</b>	0,5 - 1	$7 \cdot 10^{-7*}$	< 0,7*

\* Гипотетические риски и смерти в области малых доз в рамках безпороговой концепции.

Вместе с тем следует заметить, что есть принципиальный и неустранимый дефект всех вероятностных расчетов: разные возможности (вероятности) наступления событий не исключают реализации самого невероятного. Примеры этого утверждения

содержатся в истории атомной технологии. В знаменитом докладе Расмуссена [140] был рассмотрен сценарий произошедшей через четыре года аварии на Три-Майл Айленд. Группа ученых Курчатовского института еще в 1983 г. показала возможность Чернобыльской аварии.

Но надо понимать, что это не были научные “предсказания”, подобные тем, в которых был предвиден Плутон, трансурановые элементы или существование нейтрона, когда известные физические закономерности с необходимостью детерминистски доказывали наличие физических объектов: планеты, элементов, элементарной частицы. В жизни очень часто существует спектр сценариев, веер возможностей и наступление одного из них вызвано суммой случайных причин, которые в обыходе объясняются метафорами: судьба, случай. Недаром у древних греков было два Бога судьбы: Фатум – для несчастных, роковых случаев и Фортуна – для счастливых, удачных событий.

Однако, как говорится, удача любит подготовленных. Вот почему необходимо системно и последовательно проводить вероятностные расчеты, совершенствовать базы данных, на которых они основываются, улучшать их методики и программные средства.

#### **5.4. Показатели эффективности регулирования безопасности при использовании атомной энергии\***

Данный раздел написан в качестве “сухого остатка” от проведенного анализа и отвечает на вопрос, что делать надзорному ведомству в данный момент развития подходов к оценке безопасности; как нам при существующих идеологии и инструментарию оценивать безопасность и эффективность собственной деятельности на практике. Предложенные ниже показатели органично вытекают из содержания идеологии безопасности.

В настоящее время в рамках административной реформы большое значение придается разработке показателей эффектив-

---

\* В этом разделе использованы материалы [3].

ности работы федеральных органов исполнительной власти. Это нужно и для уточнения функций ведомств, и для разработки целевых программ, и для повышения результативности бюджетных расходов [141]. Совершенствование государственного управления предусматривает постепенный переход от так называемого “сметного” планирования к программно-целевому, которое нацелено на “достижение общественно значимых и, как правило, **количественно измеримых результатов деятельности** администраторов бюджетных средств”.

В прежние времена перед Госатомнадзором не ставилась извне задача формирования показателей работы. Но ведомство, стремясь объективно оценивать деятельность своих подразделений, само разработало систему показателей. Стоит лишь внимательно проанализировать отчеты Госатомнадзора за 1998-2002 гг., чтобы увидеть, какие данные приводились ежегодно для характеристики регулирующей деятельности (см. ниже).

### Показатели работы Ростехнадзора

Количество утвержденных нормативных документов
Количество выданных лицензий
Количество проведенных экспертиз безопасности
Количество инспекций по разным их видам
Количество установленных нарушений, в том числе:
норм и правил
условий действия лицензий
Количество предписаний об устранении нарушений
Количество предписаний о приостановке работ
Оштрафовано руководителей
Предупреждено руководителей

У этой системы показателей было достаточно критиков. Документ документу так же, как инспекция инспекции рознь. Предписания могут касаться серьезных упущений в обеспечении безопасности и пустяков. Количество санкций может отра-

жать требовательность инспекторов или их придирчивость и предвзятость и т.п. В целом, разумеется, все приведенные выше показатели характеризуют трудозатраты регулирующего органа, но непонятно, как они связаны с безопасностью. Может быть поэтому в поисках показателей своей деятельности Ростехнадзор использовал подход Госгортехнадзора к оценке аварийности предприятий и их воздействия на окружающую среду, в которых не видны собственные трудозатраты ведомства, зато ясен результат его работы. Хотя точно такими же показателями характеризуется деятельность эксплуатирующих организаций.

Вообще говоря, в жизни зачастую одни и те же цифры свидетельствуют о разном. Количество страниц романа характеризует и плодovitость писателя, и въедливость редактора. Число погибших в сражении свидетельствует и о ярости нападения, и о храбрости защиты. По величине улова судят об искусстве рыбака и о размерах косяка.

Следует отметить, что системы качественных показателей эффективности регулирования ЯРБ разрабатывают такие авторитетные международные организации, как МАГАТЭ и Агентство по ядерной энергии ОЭСР [142, 143]. Однако качественных показателей для оценки деятельности регулирующего органа пока не разработано.

Сразу после своего образования в 2004 г. Ростехнадзор предложил систему, состоящую из трех основных показателей деятельности [144]:

$$1) \text{ Снижение уровня аварийности} = \frac{A_{\phi} O_{\text{ср}}}{A_{\text{ср}} O_{\phi}}, \quad (5-1)$$

где  $A_{\phi}$  – количество учетных событий по видам (аварий, происшествий, нарушений, инцидентов);

$A_{\text{ср}}$  – среднее за предыдущие пять лет количество учетных событий по видам;

$O_{\phi}$  – фактическое количество поднадзорных объектов;

$O_{\text{ср}}$  – среднее за предыдущие пять лет количество поднадзорных объектов.

**2) Эффективность надзора по типам опасных объектов за отчетный год** = 
$$\frac{A_i}{N_i/M_{\text{опо}}}, \quad (5-2)$$

где  $A_i$  – количество аварий на поднадзорных объектах по типам сложности;

$N_i$  – количество выявленных нарушений;

$M_{\text{опо}}$  – количество поднадзорных объектов;

$i$  – тип опасности объекта.

**3) Снижение техногенного воздействия на окружающую среду** = 
$$\frac{M_{(n)i} \Pi_{n-1}}{M_{(n-1)i} \Pi_n}, \quad (5-3)$$

где  $M_{(n)i}$ ,  $M_{(n-1)i}$  – масса загрязняющих веществ в отчетном ( $n$ ) и предшествующем ( $n-1$ ) годах;

$\Pi_n$ ,  $\Pi_{n-1}$  – объем промышленного производства в отчетном и предшествующем годах;

$i$  – тип загрязнения: выбросы вредных веществ в воздух, сбросы вредных веществ в воду, размещение непереработанных отходов I-IV классов опасности.

Разумеется, мы не были столь наивны, чтобы предполагать, будто этими тремя показателями удастся описать все множество государственных функций Ростехнадзора при всем разнообразии поднадзорных отраслей. Это был первый шаг вновь образованного ведомства по оценке своей деятельности, и предложенные показатели вполне могут служить, в первом приближении, достижению указанной цели.

Тем не менее, очевидно, что данные показатели очень ограниченно можно применять для оценки эффективности надзора за объектами использования атомной энергии. В главе 2 предложена классификация угроз, направленных на человека и окружающую среду, в разделе 3.3 подвергнут анализу комплекс показателей безопасности АС, и было бы весьма целесообразно развивать предложенные подходы для установления основных показателей эффективности атомного надзора.

### 5.4.1. Показатели активных угроз

Напомню основные тезисы предложенной классификации. Активные угрозы характеризуются реальным воздействием объекта на окружающую среду. Они представляют реальную опасность при нормальной эксплуатации, если превышают нормативно установленные ПДК и ПДД. Активные угрозы могут быть охарактеризованы численно, измерены инструментально или расчетно и уменьшены до заведомо известных величин в силу детерминированности причин их возникновения: сбросы, выбросы, проникающая радиация.

Активные угрозы могут представлять не только радиоактивные, но и химические, микробиологические вещества. Для радиационных воздействий можно установить меру (масштаб, показатель) опасности:

$$\delta_a = D_p - D_n, \quad (5-4)$$

где  $D_p$  – величина измеренной или рассчитанной эквивалентной дозы, полученной человеком;

$D_n$  – нормативное значение ПДД, различное для персонала и населения.

Иными словами,  $\delta_a$  – превышение реальной величины дозы в некоторой точке над его нормативным значением, причем угроза существует независимо от того, находятся или нет в данной точке человек или иные объекты флоры и фауны.

Разумеется, такой подход можно признать весьма приближенным. Эквивалентная доза рассчитывается через среднюю поглощенную дозу в органах и интегрирование по времени после поступления радиоактивных веществ в организм. Не учитываются различные влияния дозы на людей разного возраста, отсроченные эффекты вреда здоровью и т.п. [145]. Количество людей, получивших повышенную дозу, зависит не только от мероприятий администрации АС или инспекций регулирующих органов, но и от состояния энергоблока, длительности ремонтов и т.д.

Однако для оценки эффективности регулирующей деятельности в разных отраслях промышленности нужны ясные,

легко рассчитываемые показатели, полученные при прочих равных условиях по единым методикам и статистическим формам. Поэтому на данном этапе предложенный масштаб (5-4) представляется весьма удобным.

Таким образом, вокруг радиационно опасного объекта при его нормальной эксплуатации при  $\delta_a > 0$  существует нестационарное поле радиационных угроз, величина которого зависит от интенсивности источника излучения, координат точки, ослабляющих свойств среды и т.п. В процессе эксплуатации и персонал объекта, например, АС, и население могут попасть в это поле в течение фиксированного периода времени, скажем, года, и тогда в качестве основного **показателя нарушения безопасности (степени опасности) можно предложить количество лиц  $N$ , у которых это превышение установлено**, и в качестве дополнительного – величину превышения нормативных пределов эквивалентной дозы у этих контингентов:

$$N = N_{\text{перс.}} + N_{\text{нас.}}, \quad (5-5)$$

$$D_{\text{перс./нас.}} = \sum_{i=1}^N (D_{pi} - D)_{\text{перс./нас.}} \cdot \quad (5-6)$$

Выражения (5-4), (5-6) надо применять отдельно для персонала и населения, так как для них установлены различные нормативные значения предельно допустимых эквивалентных доз  $D_n$ . Легко представить ситуацию, при которой персонал переоблучается, а население – нет. Но могут быть аномально высокие выбросы и сбросы, которые приведут к переоблучению населения, не затрагивая персонал. Эксплуатирующие организации постоянно ведут учет эквивалентных доз персонала. Разумеется, учет доз населения – непростая организационная задача, но технических препятствий для ее осуществления нет.

Отметим, что  $D_{\text{перс.}}$ , рассчитанное по (5-6), отличается от показателя **уровня радиационной защиты**, который определяется согласно [75], как:

$$D_{\text{урз}} = \sum_{i=1}^M D_i, \quad (5-7)$$

где  $M$  – число контролируемых лиц, включая командированных на АС;

$D_i$  – годовая эквивалентная доза, полученная  $i$ -м лицом. То есть  $D_{урз}$ , рассчитанное по (5-7), – это коллективная эквивалентная доза персонала, которая в нормальных условиях эксплуатации, усредненная на  $M$  лиц, много ниже нормативных значений дозы.

Это принципиальное отличие двух показателей, из которых  $N_{перс.}$  свидетельствует о количестве лиц, получивших **повышенные дозы** облучения величиной, рассчитываемой по (5-6), а коллективная доза персонала (5-7) – величина, удобная для расчетов медицинских последствий облучения, но не отражающая размеры реальной угрозы, так как  $M$  существенно превышает  $N_{перс.}$  и большинство контролируемых лиц получает дозы, меньшие, чем ПДД.

Предложенный подход к формированию показателей эффективности регулирующей деятельности может быть применен для разработки основных показателей радиационной безопасности, используемых эксплуатирующей организацией для оценки своей деятельности.

В настоящее время палитра показателей, характеризующих безопасность, стабильность работы, культуру безопасности и т.п., весьма разнообразна. Эксплуатация АС тщательно изучена, дифференцирована, каждый показатель характеризует различные ее аспекты, включая нарушения, и может быть использован при совершенствовании эксплуатации [146]. Однако создать из этих показателей некий интегральный комплекс или установить между ними функциональную связь пока не получалось.

Предложенный показатель  $N$ , по сути, – один из таких показателей, который интегрирует все условия эксплуатации и ее нарушений, приводящие к активному радиационному воздействию на человека и окружающую среду. Вектор усилий эксплуатирующей организации по модернизации энергоблоков, повышению культуры безопасности, снижению радиоактивных выбросов и сбросов и т.п. совпадает с вектором усилий регули-



рующего органа по разработке нормативных документов, тщательной экспертизе безопасности при лицензировании, непрерывному надзору за безопасностью и т.д. Но насколько все эти усилия эффективны, в конечном счете, определяется количеством людей, получивших сверхнормативные дозы, и, так сказать, “удаленностью” от ядерной аварии.

Вторым вопросом мы займемся далее, а по поводу (5-5) следует отметить, что предложенный показатель обладает разумным консерватизмом. Дело в том, что согласно [72], при однократном превышении  $D_n$  человека переводят в такие условия, чтобы в течение последующих пяти лет его средняя эквивалентная доза за этот период не превышала  $D_n$ . То есть установленные значения  $D_n$  также консервативны.

Это тонкий момент, связанный с двумя способами представления понятия “безопасность”. Получается так, что безопасность, определяемая как состояние защищенности человека, еще сохраняется при средней за пять лет эквивалентной дозе, меньшей  $D_n$ . Безопасность же, как свойство объекта, сохраняется только, если не было в течение года превышения  $D_n$ .

Вместе с тем, можно заключить, что  $N$  вполне может служить показателем эффективности работы и органа регулирования безопасности, и эксплуатирующей организации, так как, по существу, является показателем безопасности людей, работающих на объекте использования атомной энергии и вблизи него.

Если при эксплуатации любого источника ионизирующего излучения произошло событие, которое “привело к облучению людей выше установленных норм”, то согласно [21], это основной признак **радиационной аварии** и снижение  $N$  до нуля за все время эксплуатации есть основная цель всех участников использования атомной энергии.

#### 5.4.2. Показатели потенциальных угроз

Для оценки “удаленности” от ядерной аварии, масштабов возможных событий конкретные определения того, что называют риском, весьма разнятся между собой так же, как события,

называемые аварией, качественно различны в разных отраслях промышленности по всем существенным признакам. Понятно, что от определения того, что считать аварией, зависят последующие расчеты вероятностей, ущербов и рисков аварий.

Риск аварии, риск смерти, радиационный и экологический риски имеют разные определения и методы расчета. И основная причина этого разнообразия состоит в том, что различные события сопровождаются многообразными последствиями. Поэтому попытка создания единой методики расчета риска различных событий пока не привела к успеху. Например, предложенная величина  $N$  – это показатель организационного и технического несовершенства радиационной защиты. А сколько людей заболел или, не дай Бог, умрет от радиации, определяется врачами вероятностными методами из общего числа лиц, подвергшихся облучению. В настоящее время в разных отраслях промышленности используются различные подходы.

Вместе с тем, в заключительной цитате раздела 5.4.1 из определения радиационной аварии [21, 72] есть еще два признака: “могли привести к облучению” и “могли привести или привели к радиационному загрязнению окружающей среды”. Иначе говоря, показатель (5-5) должен быть распространен и на возможные события, масштаб которых уже не может быть описан детерминистскими зависимостями, а характеризуется риском облучения, равным:

$$R = PY, \quad (5-8)$$

где  $P$  – вероятность наступления аварии;

$Y$  – величина ее последствий, которая, в частности, может рассчитываться по (5-6).

В области использования атомной энергии, в частности, для действующих АС существует понятие предельного аварийного выброса радиоактивных веществ, превышение которого потребует эвакуации населения за пределы зоны планирования защитных мероприятий. При этом в [25] вводится вероятностный целевой показатель  $10^{-7}$  на реактор в год, к которому следует стремиться для исключения необходимости эвакуации населения. Таким образом, **величина последствий предельной**

**аварии в атомной отрасли в отличие от иных отраслей как бы фиксируется, что позволяет оценивать риск тяжелой за-проектной аварии по ее вероятности.**

Значит, если существуют методы расчета вероятностей реализации потенциальной угрозы  $P(\tau)$ , то мерой (масштабом, показателем) потенциальной угрозы  $\delta_n$  можно считать:

$$\delta_n = -P'(\tau), \quad (5-9)$$

то есть изменение вероятности опасного события, аварии с течением времени  $\tau$ . Понятно, что вероятность может быть функцией многих других параметров, и частная производная  $P'(\tau)$  берется только по времени при прочих равных условиях.

Напомним определение ВАБ из раздела 5.3, отметим, что все три типа ВАБ анализируют последствия ядерной аварии, которая может произойти в результате конкретного набора исходных событий с различной глубиной расчета их последствий. Хотя величина оценки ЯРБ для разных состояний и режимов эксплуатации АС будет различна, методика оценки состоит из общих этапов, которые в конечном счете можно довести до уровня ВАБ-2. А если имеются результаты ВАБ-2, сделанного в два момента времени (например, при выдаче двух последовательных лицензий на эксплуатацию), то в качестве показателя потенциальной угрозы, которую могут представлять АС, целесообразно, используя (5-9), рассмотреть изменение вероятности предельного аварийного выброса от энергоблока АС, оцененное за период действия лицензии на эксплуатацию АС,  $\Delta\tau$ :

$$\Delta_n = \frac{P_{i-1} - P_i}{10^{-7} \Delta\tau}, \quad (5-10)$$

где  $P_i, P_{i-1}$  - значения вероятностей предельного аварийного выброса, рассчитанных в год получения новой и предыдущей лицензий на эксплуатацию, а  $10^{-7}$  - целевой показатель, установленный в [25].

К сожалению, в настоящее время ВАБ-2 проводится не для всех энергоблоков. Поэтому пока в качестве первого приближения вполне можно использовать результаты первого уровня, ВАБ-1, которые имеются для практически всех энергоблоков. Правда, объем выполненных исследований ВАБ-1 для

основной части энергоблоков АС, эксплуатируемых в России, ограничивается рассмотрением только внутренних иницирующих событий при работе энергоблоков на номинальном уровне мощности. Тогда вместо (5-10) для оценки показателя потенциальной составляющей безопасности можно использовать выражение:

$$\Delta_n = \frac{P_{i-1} - P_i}{10^{-5} \Delta\tau}, \quad (5-11)$$

где  $P_i, P_{i-1}$  – значения вероятностей сверхнормативного повреждения твэлов, рассчитанных в год получения новой и предыдущей лицензий на эксплуатацию, а  $10^{-5}$  – целевой показатель, установленный в [25].

В табл. 5-10 приведены полученные разработчиками точечные оценки частоты повреждения активной зоны и результаты расчета  $K$  по (5-11).

Отрицательные  $K$  сигнализируют бы об ухудшении безопасности. Зато положительное значение этого показателя – однозначное свидетельство исполнения пункта 4.2.2 [25], по крайней мере, до тех пор, пока  $P_i$  не сравняется с  $10^{-5}$ .

Как видно из табл. 5-10, на Ленинградской АС этот показатель уже достигнут, и мировому сообществу еще предстоит тщательно изучить проблему: понижать ли дальше целевой показатель или остановиться на достигнутом, чтобы не тратить деньги там, где отдача незначительна, установив не целевой показатель, а полноценный критерий ЯРБ. Именно на этом пути можно будет сформировать показатели как активной, так и потенциальной составляющих основных показателей безопасности.

**Таблица 5-10**

**Результаты расчета  $\Delta_n$**

Энергоблок АС	Основной разработчик ВАБ	Точечная оценка ЧПЗ, 1/(реактор-год), год разработки ВАБ		K
		1999 г.	2005 г.	
Нововоронежская АС, ВВЭР-1000,	НТЦ ЯРБ, г.Москва	6,85E-4,	4,03E-4,	4,7

Энергоблок АС	Основной разработчик ВАБ	Точечная оценка ЧПЗ, I/(реактор-год), год разработки ВАБ		K
энергоблок 5, проект В-187.				
Кольская АС, ВВЭР-440, энергоблок 2, проект В-230	Кольская АС	2,77Е-5, 2002 г.	2,52Е-5, 2004 г.	0,125
Нововоронежская АС, ВВЭР-440, энергоблок 3, проект В-179	ФГУП АЭП г.Москва	1,08Е-4, 2000 г.	3,44Е-5, 2002 г.	3,68
Нововоронежская АС, ВВЭР-440, энергоблок 4, проект В-179	ФГУП АЭП г.Москва	1,08Е-4, 2000 г.	5,12Е-5, 2002 г.	2,84
Ленинградская АС, РБМК, энергоблок 1	Ленинградская АС	2,32Е-4, 2002 г.	9,5Е-6, 2003 г.	22,3
Ленинградская АС, РБМК, энергоблок 2	Ленинградская АС	8,7Е-5, 2001 г.	8,8Е-6, 2004 г.	2,61

К обоим показателям (5-5) и (5-11) можно предъявить те же претензии, что и к (5-1) – (5-3) в том, что они характеризуют работу эксплуатирующей организации в той же степени, что и регулирующего органа. И в этом нет ничего плохого. История развития методов ВАБ в России свидетельствует: важность вероятностных подходов осознавалась обеими сторонами, необходимость проведения ВАБ-1 зафиксирована в документах [147, 148], согласованных и концерном “Росэнергоатом”, и Росатомом. Показатель (5-11) был бы особенно эффективен, если бы на наших АС был разработан так называемый “живой” ВАБ, позволяющий в реальном времени оценивать вероятность плавления активной зоны в зависимости от текущих действий эксплуатирующей организации по ремонтам, модернизациям, совершенствованию регламентов и т.п. Надеюсь, что это и будет введено на российских АС в недалеком будущем.

Предложенный здесь подход, по сути дела, претендует на смену парадигмы в оценках ЯРБ. Разграничив угрозы на активные и потенциальные, этот подход содержит два показателя, один из которых (5-5) позволяет оценивать активную составляющую безопасности, а другой (5-11) – потенциальную. При отсутствии людей, подвергшихся сверхнормативному радиационному воздействию, вполне можно говорить об исключении активных угроз. При положительной величине  $K$  можно обосновать

ванно утверждать, что защита от потенциальных угроз выполнена и объект находится в состоянии, “при котором отсутствует недопустимый риск”, как того требует [1].

Предложенная система показателей (5-5), (5-11) может быть отнесена к числу основных, по которым оценивается эффективность регулирования безопасности, а также сама ЯРБ энергоблока АС. В то же время показатели (5-1) – (5-3) не теряют своего значения и могут использоваться в качестве дополнительных. Такое предложение позволяет обеспечить преемственность подхода к оценке эффективности регулирования безопасности и сделать шаг к введению, наряду с целевыми вероятностными показателями, **вероятностных критериев оценки безопасности АС**, а впоследствии, после всестороннего обсуждения, ввести эти критерии в отечественные нормативные документы.

## Заключение

Подводя итоги, прежде всего, хотелось бы отметить, что представленная книга не является **синтетическим** построением, основанным на ряде аксиом, гипотез или эмпирических данных. Неприятие или несогласие читателя с отдельными положениями не разрушает всю конструкцию, а скорее может углубить или уточнить ее детали.

Данная идеология базируется на **анализе** существующей отечественной практики, подходов к определениям и оценкам безопасности, методов расчета самых различных последствий: смертей, аварий, экологических и экономических потерь и т.п. в разных отраслях промышленности. Причем важен именно российский опыт, вот почему я практически не обращался к зарубежным источникам. Вместе с тем, отечественный менталитет выражается в расстановке приоритетов в анализах риска различных последствий. Так, индивидуума в первую очередь интересуют риски потери здоровья или смерти. Недостаточная социальная зрелость, привычка, что “все вокруг колхозное”, приво-

дят к тому, что риски аварий или внешних событий, от которых индивидуум далек, его слабо волнуют.

В свою очередь, государство, рассматривая личность как винтик, топливо или смазку для своего существования, зачастую только декларирует интерес к здоровью своих граждан. Ну, а отечественный бизнес пока интересуется только собственное благополучие, он еще слабо осознает себя как элемент социальной структуры, пренебрегая интересами человека и окружающей среды. Кстати, поэтому страховой бизнес так выгоден у нас в стране.

За рубежом, например, существующие подходы к анализам риска аварий в области использования атомной энергии сформулированы в документах МАГАТЭ [138, 142]. В других отраслях тоже есть международные организации, обобщающие опыт эксплуатации и оценок безопасности. Но, как показано выше, большое значение имеет лингвистическая, терминологическая составляющая анализов этих проблем. Такое отношение к языку совсем не ново. В [149] содержится весьма характерное наблюдение: “Каждое понятие, самое простое и самое научное, всегда как бы смеется над самим собой, охвачено зубцами иронии, словно бриллиант в золотой оправе”. И хорошо еще, если в золотой. Развитие предложенных подходов в иной языковой среде потребовало бы неоправданного увеличения объема данной книги.

Генеральный директор МАГАТЭ четко зафиксировал задачу [150]. “Чем руководствуются страны при сопоставлении риска ядерных аварий с другими факторами, например, загрязнением воздуха, перекрытием рек, авариями в шахтах или зависимостью от поставок топлива из-за рубежа, – вопрос сложный и обоснованно требует обсуждения”. Этот вопрос, наряду со сравнительным комплексным анализом экологических последствий и экономических выгод различных технологий, выбором энергетических стратегий развития и тому подобными концептуальными проблемами, требует не только обсуждения, но и предварительной научной проработки.

Проведенный анализ отечественной практики показал, что в нашей стране, к сожалению, нет ни достаточной статистической информации, ни согласованных определений, ни обоснованных методов расчета риска аварий на различных производствах.

Подготовка решения этой проблемы еще требует совместных организационных усилий различных ведомств, институтов и специалистов. И пока общие усилия не приведут к результату, **нет оснований для сопоставления между собой приводимых в различных источниках численных значений рисков аварий, рисков смерти и т.п.** Более того, само наличие таких значений скорее затемняет картину реального состояния дел по сравнительной количественной оценке безопасности различных промышленных объектов.

Кратко суммируем основные идеи книги.

Благосостоянию человека (в том числе и будущим поколениям), сотворенным им объектам и природе угрожают два вида опасностей: активные и потенциальные. **Активные угрозы** имеют детерминированное происхождение, их носителем являются вещество или энергия, они воздействуют в реальности, могут быть **измерены** инструментально и легко уменьшены. Масштабом их измерения служат превышения реальных доз и концентраций над предельно допустимыми значениями.

Таким образом, состояние защищенности (безопасность) от активных угроз человека, рукотворных объектов и природы также может быть измерено численно, а следовательно, эта составляющая безопасности может быть повышена или понижена.

**Потенциальные угрозы** имеют вероятностное происхождение (аварии, террористические акты, природные катаклизмы), их носителем являются представления человека. Угрозы воздействуют только при своей реализации, до нее они не могут быть измерены инструментально, а только **рассчитаны** как произведение вероятности реализации опасного события на величину его последствий (ущерб). Произведение называется риском события.



Поскольку последствия могут быть многообразны, столь же многообразны и риски события, и они рассчитываются в тех же единицах, что и ущерб (количество пострадавших, погибших, площадь зараженной территории, стоимость вышедшего из строя оборудования и т.п.). Всякий раз после реализации потенциальных угроз их последствия могут измеряться инструментально и обобщаться статистическими расчетами. Также статистически могут рассчитываться вероятности реализации этих угроз. Расчеты вероятностей реализации потенциальных угроз и величины их последствий в настоящее время различны в разных отраслях промышленности, не имеют единых методик и алгоритмов, а следовательно, результаты расчетов рисков событий не могут быть сопоставлены между собой.

Вместе с тем, есть класс редких событий, таких как ядерные аварии на атомных объектах, риски которых не могут обобщаться статистическими расчетами. Вероятности ядерных аварий рассчитываются по статистике отказов, которые могут инициировать эти события, с использованием деревьев отказов и событий, а также экспертных оценок при конструировании этих деревьев.

Методы расчета вероятностей имеют большие неопределенности, сопоставимые с результатами расчетов. Так что результаты расчета вероятностей ядерных аварий могут сопоставляться только для разных моментов существования одного и того же объекта использования атомной энергии, но не с вероятностями аварий на других промышленных объектах, полученных еще и другими методами.

Таким образом, **состояние защищенности (безопасность) от потенциальных угроз человека, рукотворных объектов и природы не может быть измерено принципиально, по крайней мере, с помощью существующих методов и средств. Его расчеты носят оценочный характер, а следовательно, не следует говорить о повышении или снижении ни этой составляющей безопасности, ни безопасности в целом.** Рассмотренная система понятий позволила в едином контексте осуществить классификации таких характеристик риска собы-

тия, как угроза, авария, вероятность и ущерб. Это также позволяет надеяться, что сделан еще один шаг в направлении создания количественных методик расчета и формирования общей теории риска событий. Во всяком случае, попытка четко очертить границы имеющихся знаний не менее важна, чем стремление их раздвинуть.

## Приложение

### Глава 6. Примеры реализации предложенной идеологии

Формирование изложенных выше идей началось очень давно и сопровождало решение практических задач научного обеспечения регулирования безопасности. При этом я обнаружил на собственном опыте, что понятие “культура безопасности” весьма полезно и удобно в качестве некоего компаса, точно удерживающего направление. Жизнь ставит перед нами многие проблемы, решая которые мы используем различные подходы и методы. Часто приходится выбирать между как будто равноправными альтернативами, испытывая сомнения, искушения, разлад. Так вот оказалось, что культура безопасности, приоритет безопасности перед всеми иными свойствами указывает ясную дорогу в лабиринте жизненных коллизий. Ряд примеров можно найти в [28].

Данную книгу я начал писать с 2003 г. с целью формализовать используемый подход, посмотреть, можно ли применить его для сопоставления различных атомных объектов и АС к другим отраслям промышленности. В этот период вступил в силу [1], произошла административная реформа органов власти, был создан объединенный государственный надзор, в атомном сообществе живо обсуждались перспективы развития атомной энергии и т.п. Формулируя собственное отношение к этим проблемам, я одновременно работал над этой книгой, применяя ее идеи на практике. Ниже я приведу несколько примеров использования предложенной идеологии безопасности. В составе этого

приложения содержатся отредактированные и редуцированные статьи, опубликованные в период 2003-2005 гг.

### **6.1. Сопоставление молекулярной и ядерной энергетики**

Под молекулярной энергетикой для целей данного раздела будем понимать технологию производства электроэнергии, использующую химические экзотермические реакции сжигания углеродосодержащего топлива. Ядерная же энергетика основана на расщеплении нейтронами ядер тяжелых элементов, происходящем также с выделением энергии.

Молекулярная энергетика сопровождается выбросом в окружающую среду золы, окислов углерода, серы, азота и других вредных для окружающей среды и человека веществ, включая радиоактивные изотопы. Известно, что при использовании некоторых сортов угля радиоактивные выбросы ТЭЦ и ТЭС превышают радиоактивные выбросы АС в несколько раз. Во всяком случае, загрязнение окружающей среды вредными продуктами сгорания существует и в ряде регионов, представляя серьезную экологическую проблему.

Эта проблема может быть решена путем повышения герметичности технологического оборудования и установкой необходимого числа фильтров на сбросных магистралях. Иными словами, активная составляющая химической безопасности может быть повышена и концентрация вредных веществ в выбросах вполне может быть снижена до ПДК. Но для этого следует увеличить капитальные затраты. Плюс к тому наличие фильтров несколько снижает экономичность эксплуатации. Если бы на ТЭЦ или ТЭС существовала такая же жесткая система лицензирования и надзора, как на АС, которая бы не допускала эксплуатацию с выбросами, превышающими ПДК, то стоимость электроэнергии на них была бы выше, чем принято ныне. Причем это повышение было бы небольшим, так как основной вклад в стоимость энергии ТЭС дает топливная, а не капитальная составляющая стоимости. И тем не менее такие модернизации осуществляются далеко не везде.

Вместе с тем, потенциальные угрозы на ТЭС не имеют таких масштабов, как на АС. Поэтому на ТЭС не предусмотрены различные системы безопасности, которые на АС по разным оценкам составляют около 20 % от капитальных затрат. При том, повторяю, эта капитальная составляющая стоимости энергии дает основной вклад в стоимость атомных энергоблоков.

Таким образом, сопоставляя сегодняшние стоимости электроэнергии, производимой на объектах молекулярной и ядерной энергетики, надо учитывать различие в обеспечении безопасности. Здесь есть два пути: или сопоставлять с АС только те ТЭС, которые не создают в окружающей среде концентрации, большие ПДК, или учитывать так называемые внешние (экстернальные) затраты, оценивая ущерб от воздействия на окружающую среду, согласно уже упомянутым рекомендациям [101-103].

Еще сложнее сопоставлять стоимости электроэнергии в будущем, так как тогда следует оценивать стоимость топлива. Конечно, стоимость ядерного топлива будет в перспективе расти пропорционально экономическим дефляторам, учитывающим производственную конъюнктуру: рост зарплаты, металла, транспорта и т.д. Но стоимость углеродосодержащего топлива будет расти быстрее по мере его исчерпания. Поэтому сопоставление различных видов энергетики будущего сопряжено с большими неопределенностями, которые в обычных инженерных оценках считаются неприемлемыми.

## **6.2. Перспективы реакторостроения в свете культуры безопасности**

С точки зрения молекулярно-кинетической теории человечество можно рассматривать как континуум молекул, каждая из которых смертна, зато обладает свободой воли и частичкой разума. Аналогия, возможно, механистическая, но удобная на практике. Развитие человечества в какой-либо области может быть описано как конвективное движение, происходящее под действием иррациональных надчеловеческих факторов, пытаюсь осознать которые, мы формируем гипотезу Бога.

Внутри движущегося континуума каждая молекула перемещается по собственным законам, и иногда вектор ее движения совпадает с направлением движения континуума. В этих случаях молекула, одернув фрак, может заявить: “Я ж говорила!”. Такова позиция любого человека, пытающегося предугадать развитие общества или такой его технологии, как производство электроэнергии на атомных электростанциях.

Умозрительная попытка выйти за пределы собственного опыта начинается с обобщения и анализа накопленных знаний и продолжается экстраполяцией результатов анализа на неведомое будущее. И тем вероятнее угадать его, чем универсальнее используемые принципы предыдущего развития. К числу таких универсальных принципов, которые целесообразно применить при построении искомой концепции будущего атомной энергетики, я бы отнес следующие:

- безграничность человеческой способности познания;
- ограниченность нашей планеты;
- культура безопасности.

Все эти принципы эмпирические и вытекают из недолгого опыта развития технологий на Земле. На первом из них основывается понимание, что нельзя закрыть однажды открытое иначе, чем открыв нечто новое. Следовательно, технология производства энергии на АС будет использоваться наряду с другими, пока не исчерпаются запасы ядерного топлива или пока не будет найден конкурентно привлекательный иной источник энергии, и пока человечество будет нуждаться в энергии.

Из второго принципа вытекает, что рано или поздно запасы топлива, в том числе и ядерного, закончатся. Но пока мы используем только тонкую эпидерму планеты, и долгое еще время **производство энергии будет зависеть от цены, которую общество согласно платить за обеспечение и комфорт своего существования.** Запасы известного, доступного и относительно недорогого топлива исчерпываются в такой последовательности: нефть, газ, уголь, уран. Применение последнего, разумеется, предполагает использование реакторов-размножителей. Все иные источники энергии, о которых много говорится, включая

солнце, ветер и т.п., пока не воплощены в конкурентоспособные промышленные технологии.

Это давний спор атомщиков с псевдозелеными, которым предлагают показать действующую конкурентоспособную крупномасштабную технологию, а получают в ответ проекты на бумаге и требования денег. Конечно, если будут реализованы иные источники энергии или ничтожноемкие технологии производства средств существования, то все нынешние рассуждения будут скорректированы. Но пока их нет, нет и доказательств их возможного осуществления, поэтому третий принцип непременно должен быть положен в основу концепции развития атомной энергетики.

Этот принцип культуры безопасности вытекает из инстинкта самосохранения всех живых существ, коррелирует с конституционным правом на жизнь и заключается в том, что при принятии любых решений в области использования атомной энергии приоритетной является ЯРБ [151]. При этом безопасность человека и окружающей среды понимается, как состояние их защищенности от любых угроз [20]. Этот принцип сформулирован международным сообществом специалистов по атомной энергетике при анализе причин Чернобыльской аварии, широко применяется при эксплуатации атомных объектов и доказал свою эффективность в послечернобыльский период.

Следующий тезис – ключевой: в конце XX века в России, США и других развитых странах впервые появились **проекты реакторов, продуцированные не попытками эволюции военных технологий, а культурой безопасности ученых-атомщиков.**

Атомная энергетика (1954 г.) на 12 лет моложе ядерного реактора (1942 г.) и на девять лет моложе атомной бомбы (1945 г.). Общепринято понимание, что атомная энергетика в XX веке была падчерицей военных атомных программ [152]. Основные средства и силы направлялись на совершенствование промышленных технологий получения оружейных урана и плутония и на применение реакторов в качестве источника энергии в военной технике (атомные корабли, самолеты, космические

аппараты). В СССР первые РБМК проектировались на базе технических решений, использованных в промышленных реакторах, а ВВЭР и БН – на базе корабельных реакторов.

Для этих объектов существовали иные приоритеты, то есть ЯРБ, разумеется, обосновывалась в проектах, но не была на первом месте. Реакторы, использовавшиеся для военных целей, по моему мнению, имели следующие приоритеты:

- эффективность (для промышленных реакторов – способность наработки плутония, для лодочных – источник энергии движения винтов);
- технологичность (все оборудование реакторных установок должно изготавливаться на отечественных машиностроительных заводах по имеющимся технологиям);
- физическая защита, включая секретность размещения, документации, и т.д.;
- безопасность и далее надежность, энергоэффективность для промышленных двухцелевых реакторов и т.п.

Безопасность обеспечивалась комплексом организационно-технических мер и основывалась на ряде критериев и принципов, в число которых входит концепция глубоко эшелонированной защиты [25]. **Системы безопасности** на третьем уровне глубоко эшелонированной защиты как бы “навешивались” на реакторную установку, прототипами которой были реакторы для военных целей. Эти системы не использовались при ее эксплуатации, и только в последнее время сделаны попытки спроектировать некоторые из них бифункциональными.

Современные реакторы – продукт эволюции военных реакторов в энергетические и последующего совершенствования энергетических реакторов. Для них приоритеты выстраиваются таким образом:

- энергоэффективность производства электрической и тепловой энергии;
- технологичность;

- конкурентоспособность с другими видами электростанций (ТЭС, ГЭС);
- безопасность и далее надежность, ремонтпригодность и т.п.

Частоты тяжелых запроектных аварий на действующих эволюционных реакторах оцениваются величиной  $10^{-5}$ . Мало какая отрасль промышленности может похвастаться столь низкими частотами запроектных аварий, но последствия ядерных аварий носят глобальный характер, и общество настороженно относится к любым негативным событиям на АС. Именно на общество, на налогоплательщиков в настоящее время ложится бремя финансирования инновационных технологий. Сложившаяся в прежние годы система, когда научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, проводимые Средмашем в обоснование безопасности энергетических реакторов, финансировались из военных источников, ныне отсутствует. При всех ее недостатках существовало одно очевидное преимущество: ресурсов было много.

В настоящее время **научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы для инновационных технологий могут проводиться исключительно за счет средств федерального бюджета и международной кооперации.** Это требует нестандартных организационных усилий, в том числе широко-масштабной поддержки населением амбициозных планов атомщиков, значит, **культуру безопасности следует развивать и у общества в целом.** Культура общества – основа культуры безопасности, и общественное мнение играет тем большую роль, чем страна демократичнее, поэтому атомщики России уже давно находятся в конструктивном диалоге с населением. Нападки на атомную энергетику ведутся с разных позиций: конкурирующими отраслями энергетики, использующими органическое топливо; некоторыми зарубежными кругами, желающими лишить Россию созданной ею уникальной технологии; квазирыночниками, не понимающими важность корпоративного единства этой отрасли, и просто заблуждающимися членами общества.



Культура безопасности – это элемент общей культуры нации, которая проявляется в открытости диалога, прозрачности решений, общественной экспертизе проектов и т.п. Хотя атомная энергетика производит 15 % всей отечественной электроэнергии, только она обеспечивает в последние годы прирост электроэнергии в России. В некоторых регионах ее вклад достигает 40 % и “закрывать” АС в одночасье технически невозможно, так что наше общество оказалось заложником технических решений, принятых 20-30 лет назад. Правда, в компании таких развитых стран, как США, Франция, Великобритания, Япония. Немного таких областей промышленности, где западные страны оказываются в таком обществе вместе с Россией.

Целевой показатель  $10^{-5}$  внесен в федеральные нормы [25], является приемлемым для государства и не большим, чем аналогичные критерии передовых зарубежных стран и рекомендаций МАГАТЭ. Но отечественные специалисты проявляют свою культуру безопасности не только в том, что ищут научные способы предотвращения аварий и пути снижения частоты тяжелых аварий на действующих реакторах, но и в том, что разрабатывают проекты новых типов реакторов.

По первому направлению многое сделано и многое делается. Практически на каждом энергоблоке разработана и осуществляется программа модернизации, исключения и компенсации отступлений от норм и правил. Создано и совершенствуется законодательство в области использования атомной энергии. Действует современная система государственного регулирования ЯРБ. Осуществляется комплекс мер, направленных на снижение влияния человеческого фактора на безопасность, и т.д. Но энергетика будущего должна быть основана на принципиально иных типах ядерных реакторов, иных принципах безопасности, обусловленных более высокой культурой безопасности.

Правительство Российской Федерации одобрило Стратегию развития атомной энергетики [153] еще 25 мая 2000 г. Эта стратегия, сконцентрировавшая весь отечественный опыт культуры безопасности, основана на вполне конкретных технических решениях, опыте эксплуатации прототипов и аналогов

будущих реакторов, расчетно-экспериментальных исследованиях. В ней содержится ряд принципиально новых положений, которые я бы расположил по следующим приоритетам:

- безопасность (детерминистское исключение запроектных аварий и исключение радиационных последствий любых аварий для населения и окружающей среды);
- нераспространение (технологическое обеспечение нераспространения ядерных материалов);
- обращение с отходами (радиационно-эквивалентное обращение с радиоактивными отходами);
- энергоэффективность;
- конкурентоспособность.

Первое положение, по существу, развивает содержание четвертого и пятого уровней концепции глубоко эшелонированной защиты. Это принципиальное отличие новых детерминистски безопасных реакторов от их эволюционных предшественников. Абсолютно исключить запроектные аварии вряд ли удастся. На любом техническом объекте возможны диверсии и форс-мажорные внешние воздействия типа падения метеоритов, поэтому последние уровни глубоко эшелонированной защиты сохраняются. Мировому сообществу еще предстоит выработать взвешенное отношение к этим положениям: считать ли их рекомендациями, ориентирами, к которым следует стремиться. В разделе 3.6 оценено значение таких ориентиров – порядка  $10^{-9}$ . Или техническими требованиями, которые будут служить критериями оценки безопасности будущих реакторов. Это первоочередной вопрос, от решения которого будет зависеть развитие атомной энергетики. Общепринято, что технические требования разрабатываются на базе опыта эксплуатации и достижений науки и техники. И надо решить, вытекают ли сформулированные выше предложения по безопасности из данного источника, достижимы ли они принципиально и какова цена такого достижения.

От решения этого вопроса зависит также, когда надо приступать к выполнению научно-исследовательских работ для бу-

дущих реакторов, из каких средств и в каком объеме финансировать разработки, кто в государстве будет отвечать за расходование средств, за качество и внедрение полученных результатов и т.п. В настоящее время указанные вопросы поставлены Россией и широко и открыто обсуждаются мировым сообществом. И отвечать на них следует и правительствам, и человечеству, исходя именно из принципа культуры безопасности.

Обеспечение нераспространения ядерных материалов и обращение с радиоактивными отходами также служит элементом безопасности человека и окружающей среды, но выделяются авторами [153] в отдельные важнейшие приоритеты, так как решаются различными методами и имеют стратегическое значение.

На мой взгляд, назрела необходимость **инвентаризации** всех бывших и существующих идей различных типов реакторов, рассмотрения их приемлемости для энергетики будущего в свете перечисленных приоритетов, систематизации и классификации этих типов реакторов. Следовало бы начать с разработки **каталога типов энергетических реакторов**, которые существуют в литературе за 50 с лишним лет отечественного реакторостроения. Каталог мог бы быть инициирован, разумеется, Росатомом и разработан с привлечением ведущих институтов страны (РНЦ “Курчатовский институт”, ФЭИ, НИКИЭТ), не забывая при этом МИФИ, МВТУ и т.п.

По существу, **впервые в мировой практике речь идет не о применении военных разработок в мирных целях**, а о самостоятельном вызове атомной энергетике, на который она должна дать прямой и недвусмысленный ответ. **От нашей нынешней культуры безопасности зависит ЯРБ будущих поколений.**

### **6.3. Приватен ли мирный атом?**

В последнее время все чаще можно слышать и читать соображения о приватизации объектов использования атомной энергии. Одни предлагают осуществить это немедленно, в рам-

ках проводимой в настоящее время административной реформы. Другие отодвигают неизбежный, по их мнению, процесс на несколько лет, подготовив почву для приватизации техническими регламентами, разработка которых уже начата.

Актуальность проблемы подтверждается тем, что статья 5 [154], устанавливающая собственность на атомные объекты, подвергалась изменениям уже дважды. Поэтому целесообразно рассмотреть круг вопросов, возникающих в современных российских условиях при приватизации указанных объектов, учитывая как собственную историю развития атомных технологий, так и международный опыт создания иных промышленных отраслей.

Напомним историю создания автомобильных двигателей. На заре автомобилестроения использовалось разное топливо: метанол, газ, водород и другие виды. В открытой конкурентной борьбе победили бензин и солярка, которые и сейчас являются основным топливом, хотя работы по вовлечению иных видов топлива в практику ведутся на протяжении более 100 лет. Государства в начале XX века, разумеется, регулировали этот процесс, но не были сами участниками соревнований, используя результаты для своих целей, в том числе и для военных. И если сейчас в силу экономических, экологических и иных причин идет интенсивная ревизия имеющихся в автомобилестроении технических решений и поиск новых источников топлива, то она происходит на рынке инноваций **без определяющего вмешательства государственных структур.**

Иная ситуация в атомной промышленности России. Все объекты использования атомной энергии сконцентрированы в двух комплексах: ядерно-оружейном, государственное управление которым осуществляют Росатом и Минобороны, и ядерно-энергетическом, государственное управление которым, в основном, сосредоточено в Росатоме. В состав последнего комплекса входят предприятия ядерного топливного цикла, обеспечивающие создание тепловыделяющих сборок (ТВС), от добычи руды до изготовления сборок. Часть из них входит в ОАО «ТВЭЛ», управление которым осуществляет государство в лице Росатома.

Энергия производится на атомных станциях, которые входят в состав государственной генерирующей компании – концерн “Росэнергоатом” вместе с другими организациями, необходимыми для сооружения и эксплуатации АС. Ряд объектов, обеспечивающих работу ядерно-энергетического комплекса (машиностроительные заводы, проектные организации), приватизирован. Проведенная с номенклатурным размахом административная реформа федеральных органов исполнительной власти направлена на изменение административного законодательства и совершенствование системы государственной власти с целью освобождения общества от избыточного бремени государственных ведомств.

Разумеется, освобожденные от ига государственного управления предприятия предполагается приватизировать, что должно повысить эффективность их использования и принести немалый доход казне. Представляется весьма своевременным обсудить такие соображения, чтобы выяснить мнения специалистов на эту актуальную тему.

У каждой промышленной технологии есть своя история, ведущая отсчет от научного открытия или изобретения. Рождение атомной технологии производства электроэнергии пришлось на предвоенные и военные годы. Ядерная энергия вначале была использована в ядерном оружии, создание которого осуществили США и СССР в условиях строжайшей секретности за счет государственных средств. Последующее развитие работ происходило как приручение военного монстра к мирной жизни.

Процесс шел в условиях различного государственного устройства в названных странах. В США для развития атомной технологии с самого начала привлекались частные компании (металлургические, обрабатывающие и т.п.). Поэтому, когда привлекательность атомного бизнеса стала очевидной, в этих компаниях и независимо от них стали возникать реакторостроительные фирмы, что сопровождалось созданием научных, проектных и конструкторских организаций.

В СССР всем этим занималось исключительно государство. В Великобритании, Франции, Канаде велись самостоя-

тельные исследования по использованию атомной энергии, и в настоящее время там имеются как государственные, так и частные компании, осуществляющие работы в этой области. Я уже писал, что приоритеты военных технологий иные, чем использования атомной энергии в мирных целях. И эти приоритеты меняются по мере развития атомной энергетики (раздел 6.2).

При своем рождении и в США, и в СССР все процессы изготовления ТВС, содержащих ядерные материалы (добыча, обогащение, выпуск конечной продукции), финансировались из средств военных бюджетов обеих стран. И эта пуповина, связывающая обращение с ядерными материалами с изготовлением ТВС, не прерывается до сих пор. В рамках военных программ разработаны специальные материалы, сплавы, конструкции, которые уже внедрены в эксплуатируемые ТВС, что существенно понижает их сегодняшнюю стоимость, как она сложилась на международном рынке ядерного топлива.

В США все атомные исследования финансировало и организовывало военное ведомство. В СССР была создана специальная государственная структура, преобразованная, в конечном счете, в Министерство среднего машиностроения. Именно через могучий Средмаш государство непосредственно управляло всеми работами в атомной области, используя необходимые ресурсы и средства для развития атомной промышленности.

В СССР это был отработанный государственный прием для развития перспективных промышленных отраслей, тогда как во всем остальном мире это развитие осуществлялось частными предприятиями. Технология использования атомной энергии родилась из фундаментальных научных экспериментов и теорий и по мере своего роста и осуществления требовала создания новых прикладных научных дисциплин. Финансирование этих научных направлений в обеих странах стимулировалось военными целями. В СССР исследования проводились в государственных организациях Средмаша и Минобороны, которые щедро делились заказами с государственными же организациями других ведомств: Академии наук, Минэнерго, Минтяжмаша

и т.п. В США заказы на научные разработки размещались, в основном, в закрытых государственных организациях, но некоторые научные исследования финансировались и через них, и напрямую в лабораториях частных компаний, университетах и т.п.

В отличие от приведенного примера автомобилестроения государство в обеих странах было основным локомотивом развития атомной технологии, оплодотворившей смежные научные и технические организации. Государство ставило задачу, финансировало ее решение, принимало результаты, воплощало их в объекты и оплачивало их содержание. Но если в СССР любые разработки в иных областях промышленности проводились точно таким же образом, то в США конкуренция частных фирм, участвовавших в атомном проекте, происходила не на рынке, а на сцене, где государство было и главным режиссером, и единственным зрителем. И само представление происходило при соблюдении секретности, исключавшей свободный обмен научными идеями и прикладными решениями даже в одной стране.

В этих условиях только разведывательные службы осуществляли “обмен” информацией, разумеется, ограниченной и искаженной. То есть развитие атомной технологии в СССР осуществлялось привычными для него методами, а в США – не обычными, чуждыми для рыночных отношений.

Остановимся подробнее на истории коммерциализации ядерных технологий в США. Первый закон об атомной энергии вступил в силу в 1946 г. Признавая потенциальные возможности частного сектора, он не давал юридических оснований для приватизации. Только в 1954 г., после внесения принципиальных поправок в закон, ядерные технологии стали открыты для коммерческого использования. И тут же была образована Комиссия по атомной энергии (КАЭ), которая осуществляла государственный надзор за использованием ядерных технологий и представляла государственного собственника ядерных материалов. То есть в нынешнем нашем понимании КАЭ исполняла функции и регулирования, и управления использованием атомной энергии.

Ядерные материалы оставались в государственной собственности и передавались взаимы частным организациям, владеющим атомными станциями, заводами по производству топлива и пунктами хранения свежих и отработавших ТВС. КАЭ определяла, какие технологии могли быть рассекречены, а какие, оставаясь секретными, передавались в частные руки под соответствующие гарантии и под строгим контролем военных.

Впоследствии, после поправок к закону об атомной энергии 1974 г., функции регулирования были переданы Комиссии по ядерному регулированию (NRC), а функции управления – другому государственному органу, который ныне называется Департамент по атомной энергии (DOE). Именно DOE – государственный собственник ядерных материалов, проходящих необходимые стадии химических превращений при производстве ТВС на частных предприятиях. Затем ТВС арендуются энергетическими компаниями, владеющими АС, до тех пор, пока отработавшие ТВС не будут возвращены государству для хранения на федеральных пунктах.

Важнейшее условие использования атомной энергии – обязательность частных компаний по производству ТВС и электроэнергии так же, как и государственных организаций-владельцев пунктов хранения отработавших ТВС иметь лицензии NRC на все виды деятельности при условии их ядерной и радиационной безопасности. Иными словами, NRC осуществляет независимое государственное лицензирование и надзор за безопасностью и на частных, и на государственных предприятиях.

При этом частные компании принимают на себя все финансовые риски получения лицензий NRC и имеют коммерческие страховки против исков третьих лиц вследствие возможных аварий. Государство принимает на себя финансовые риски, связанные с долговременным хранением отработавших ТВС и дополнительные риски аварий на предприятиях, имеющих лицензии NRC. В конечном счете, практика государственного устройства накладывает свой отпечаток на область использования атомной энергии в той же степени, как и на иные промышлен-



ные отрасли. И в мире накоплен опыт эксплуатации объектов использования атомной энергии, находящихся как в частной, так и в государственной собственности.

Атомная энергетика имеет ряд экономических особенностей, отличающих ее от иных технологий:

- высокая наукоемкость, требующая большого объема научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обосновывающих ЯРБ, и т.п.;
- сравнительно с тепловыми станциями больший объем капитальных вложений и более длительный период проектирования и сооружения;
- относительно низкая топливная составляющая эксплуатационных затрат;
- меньшие, чем у тепловых станций, возможности работы в маневренных режимах.

Наше государство поддерживает развитие атомной отрасли, вкладывая бюджетные средства в научные исследования и сдерживая рост стоимости ядерного топлива. Справедливости ради следует отметить подобное воздействие государства и на стоимость угольного или газового топлива, цена которого поддерживается государством на социально приемлемом уровне. В России мы стоим на пороге возможной приватизации атомной отрасли. При этом начальные юридические и экономические условия сегодня хорошо известны.

Важнейшее принципиальное отличие атомной отрасли от всех иных содержится в понятии “культура безопасности”, суть которого в абсолютной приоритетности ядерной и радиационной безопасности над всеми остальными свойствами объектов использования атомной энергии. Даже над их эффективностью. На сторонний взгляд это совершенно абсурдная позиция. Действительно, кто будет строить высокобезопасные АС с десятком защитных барьеров, если стоимость производства энергии на них окажется выше, чем на тепловых станциях? Но существует убеждение, что атомная энергетика – это единственная сегодня на планете **действующая технология** производства энергии, на которую человечество может рассчитывать “смехотворно ко-

роткий срок, ну, лет, скажем, в тысячу”. И безопасность будущих АС предстоит доказывать не навешиванием систем безопасности на энергетические реакторы военного происхождения, а разработкой конструкций иных, детерминистски безопасных реакторов. И сопоставлять надо действующие технологии между собой не только по их рентабельности сегодня, но и по их потенциалу развития завтра (раздел 6.1).

Но для того, **чтобы атомная энергетика была завтра, нужно, чтобы ее безопасность была обеспечена сегодня.** Каждая АС должна быть спроектирована и сооружена так, чтобы за 30-40 лет эксплуатации на ней были исключены тяжелые запроектные аварии. В это время могут взрываться ракеты и шатлы, котлы и шахты, разрываться сосуды и трубопроводы, заполненные токсичными веществами, и т.п. Но безопасность ядерных объектов должна быть обеспечена и обоснована.

Существуют различные показатели оценки ЯРБ. Их сопоставление для разных объектов надо делать очень осторожно. Но по относительному количеству тяжелых аварий на объектах использования атомной энергии ни государственный, ни частный секторы не имеют преимуществ: аварии происходили как на частных, так и на государственных объектах чрезвычайно редко по сравнению с другими отраслями промышленности во всем мире. Поэтому главный вопрос, на который надо ответить при оценке вариантов дальнейшего развития области использования атомной энергии в России: “Как повлияет на ЯРБ изменение формы собственности отечественных объектов?”.

На сегодняшнем уровне знаний, необходимых для оценки ЯРБ, ответ может быть дан только экспертно. Из анализа зарубежной практики следует, что **нет обоснованных научных данных о существовании корреляции между ЯРБ и формой собственности объектов,** на которых она обеспечивается. Но существуют опасения, что **при изменении формы собственности объектов использования атомной энергии атомная энергетика России может исчезнуть, а обеспечение ЯРБ может ухудшиться.** И моя культура безопасности, как специалиста,

требует, чтобы сама возможность такого опасения уже явилась основанием для выступления против приватизации объектов использования атомной энергии. Изложу подробнее, на чем основаны эти опасения.

Любое коммерческое предприятие, государственное или частное, должно приносить прибыль. Оно покупает товары и услуги, выплачивает зарплату и налоги. Источник его средств – продажа продукции. Прибыль может расходоваться на расширение производства и дивиденды собственника.

Государство через законы создает правила игры. Минимальное вмешательство государства состоит в установлении норм и правил выплаты ренты и налогообложения. Но в нашей реальности государство устанавливает тарифы на энергоносители и поставляемую энергию, правила расходования средств на науку и расширение производства и т.п. Так как у нас велик государственный сектор, то ряд товаров и услуг приходится покупать у других государственных же предприятий. В этих условиях весьма непросто определить выгоду от приватизации.

При постоянстве правил, то есть при прочих равных условиях, государство получает от предприятий только налоги. Считается, что частный собственник лучше управляет производством за счет сокращения издержек, повышения эффективности использования оборудования, что приводит к росту производства, оборота, прибыли и вследствие этого – налоговых отчислений. Кроме того, при приватизации казна одновременно получает оплату стоимости покупки.

Однако на эту простую модель следует наложить уже имеющийся опыт приватизации объектов других отраслей. Невершенство налогового законодательства позволяет частным предприятиям уклоняться от уплаты налогов и вывозить капитал за рубеж, что приняло разорительные для страны формы. Так что ожидания высоких налоговых поступлений не всегда оправданы. Оплата же покупки производится за счет кредитов, которые, как известно, могут возвращаться таким образом, что суммарные поступления в казну также много ниже предполагавшихся.

Существуют отечественные и западные компании и промышленные группы, для которых ядерно-энергетический комплекс России представляется опасным конкурентом и по экономическим, и по политическим мотивам. Так как в этом комплексе используются некоторые технологии двойного назначения и связи между ним и ядерно-оружейным комплексом тесны и неразрешимы, то политические долговременные соображения в упомянутых группах могут взять верх над экономическими мотивами сиюминутной выгоды. Эти компании могут посчитать выгодным установить контроль над некоторыми АС не с целью их развития и получения прибыли, а для устранения нежелательного конкурента. О таких случаях пишут и говорят сплошь и рядом, и существующее законодательство пока не способно воспрепятствовать такому развитию событий. Одним из вероятных последствий приватизации АС может стать их приобретение через подставные фирмы конкурирующими энергокомпаниями и последующее постепенное закрытие. Или внедрение в высшее руководство концернов и АС менеджеров, заинтересованных в банкротстве атомных предприятий. Или в манипулировании этими менеджерами. Да мало ли возможностей предоставляет наш “дикий” рынок для воздействия на предприятия, освобожденные от государственного управления.

Нынешнее поколение политиков и чиновников, принимающих решения, этого, может быть, и не заметит. В силу упомянутых выше особенностей атомной технологии изменения в ней инерционны. **Количественный индикатор начала этого процесса очевиден – сокращение числа студентов ядерных специальностей или ухудшение качества их подготовки.** И если сейчас Росатом и его концерны еще принимают необходимые меры по увеличению числа учащихся, созданию привлекательных рабочих мест, повышению качества образования, то после приватизации останутся лишь надежды на благотворительность частных компаний. И уже сейчас выпускников МИФИ охотно переманивают не только банки, но и нефтяные и газовые фирмы, что, в конечном счете, наносит ущерб атомной отрасли.

Вместе с тем каждая АС – это градообразующее пред-

приятие, и социальные заботы о жителях этих городов ложатся бременем, если не на федеральные, то на региональные власти. И заниматься им придется бесприбыльной деятельностью по выводу из эксплуатации. Навряд ли от частных компаний останутся необходимые фонды для этой деятельности.

Есть и еще одно соображение, которое четко проявилось после недавних событий на отечественных угольных шахтах. Эти предприятия были приватизированы так, что их владельцами явились некие, даже не дочерние, а скорее сиротские фирмы со смехотворным уставным капиталом. И после крупных аварий оказалось, что даже ущерб выплачивать некому. Руководители этих шахт были назначены собственниками без учета их профессиональной пригодности. Они не имели опыта работы, не знали специфики отрасли и сокращали издержки, экономя именно на безопасности. Государственный надзор за промышленной безопасностью на этих объектах осуществлялся плохо, что в совокупности и привело к трагедиям. Не дай Бог, осуществить такую приватизацию.

И, наконец, два последних довода. Ядерно-оружейный комплекс в последние годы интенсивно сокращается. Это мировая тенденция в странах, создававших атомную бомбу. Результаты “прежней деятельности” имеют два аспекта. Первый – это “ядерный щит Родины”, под защитой которого происходила вся послевоенная жизнь и который и сейчас является основной силой сдерживания потенциальных агрессоров. Второй аспект существует в виде загрязненных территорий и водоемов, свалок радиоактивных отходов, бесхозных радиоактивных каверн от подземных ядерных взрывов, утилизируемых подводных лодок и т.п. Эти экологические последствия постепенно ликвидируются, а территории постоянно культивируются. США уже затратили миллиарды долларов, часть из которых даже были направлены в Россию. Но наши проблемы – нам же и решать.

И сейчас наша атомная энергетика как бы отдает дочерний долг дряхлеющему оружейному комплексу, развивая технологии утилизации радиоактивных отходов, реабилитации территорий, и, наконец, прямо подпитывая производимой энергией,

необходимой для производства таких работ. В рамках государственного ведомства, Росатома, эта деятельность хоть как-то координируется, направляется и финансируется. Приватизированная атомная энергетика оставит государственные военные ядерные структуры один на один с этими проблемами, которые еще долго не будут давать нам покоя. Я бы даже сказал так, что **разговоры о приватизации атомной энергетике можно начинать только после того, как проблемы прежней деятельности ядерного оружейного комплекса будут решены.**

Второе соображение, напротив, связано с будущим. По моему мнению, нынешние ядерные технологии производства электроэнергии не пригодны для широкомасштабного развития. Современные типы АС преждевременны и должны быть не приватизированы, а закрыты. Будущее атомной энергетике связано, повторяю, с детерминистски безопасными реакторами, проекты которых рождаются из недр сегодняшних атомных технологий. То есть предназначение этих технологий – родить новые типы реакторов и технологий и – умереть.

Но именно потому, что эти роды длительны и затратны, повивальной бабкой новых ядерных технологий могут быть только государства и международные организации. Частные компании сделают аборт инновациям. Упомянутые выше экономические особенности атомной энергетике на нынешнем энергетическом рынке объективно заставляют владельцев АС продлевать срок службы действующих энергоблоков и тиражировать их эволюционные аналоги. Пока кладовые углеродосодержащего топлива планеты разграблены лишь частично, такое положение будет сохраняться, и атомная энергетика России не имеет шансов на кардинальные инновации со стороны крупного бизнеса. А значит, в частных руках ее развитие остановится просто потому, что жизненный цикл нового ядерно-энергетического объекта с учетом затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы выше, чем продолжительность человеческой жизни.

Как у человека, работающего в регулирующем органе, у меня есть ведомственная точка зрения, которая состоит в том,

что при приватизации объектов использования атомной энергии роль и полномочия регулирующего органа, очевидно, возрастут. Это вытекает из логики приватизации и зарубежного опыта. В обсуждениях будущего рынка ядерной электроэнергии на Западе все чаще звучит четкая и правильная формула: **снижение государственного вмешательства в регулирование экономики энергетического рынка должно сопровождаться усилением государственного регулирования ЯРБ.**

Но помимо ведомственной, есть еще гражданская позиция, которая состоит в том, что в существующих российских условиях приватизация объектов использования атомной энергии с высокой степенью вероятности может привести к постепенному исчезновению атомной энергетики и снижению обеспечения ее безопасности. В долгосрочной перспективе это противоречит интересам нашей страны.

#### **6.4. В тени юбилея атомной энергетики**

26 июня 1954 г. начала эксплуатироваться первая в мире атомная станция. С этого дня отсчитывает свой срок атомная энергетика, которой ныне исполняется 50 лет. Есть неписаное правило вежливости: на юбилейных торжествах говорить приятное. Если сопоставить его с известной римской пословицей “О мертвых – или хорошо, или ничего”, то можно заключить, что к юбилеям относятся, как к уже умершим. А так как наша смерть неотвратима, только неизвестен ее момент, то из этих соображений выводится весьма полезное заключение: о смертных надо говорить только хорошее. Эта максима очень удобна в жизни: недаром доброжелательность отмечается у многих известных, умудренных жизнью людей, жаль только, что мы приобретаем ее, уже пройдя ряд собственных торжеств. Нравственная подоплека всех этих правил вытекает, как мне думается, из уважения к каждой конкретной человеческой жизни, понимания ее трагической уникальности, из сознательного отказа перевоспитать, переделать другого. Ведь мы говорим неприятные вещи чаще всего не со зла, не от удовольствия, а из наивного стрем-

ления указать на недостатки с целью их исправления, из желания привлечь свой жизненный опыт для использования его нашими ближними.

Отказ от попыток исправить человечество нацеливает наши силы на нас самих, возвращает нас к себе, к природной цели смертного: познать самого себя.

Но все эти рассуждения становятся неточными по отношению к сообществам людей, организациям, корпорациям, период существования которых может значительно превышать срок человеческой жизни, потому что корпоративная цель – не самопознание, а процветание, максимальное продолжение жизни организации. То есть в отличие от самих людей их сообщества можно и должно воспитывать, изменять, а значит, мы вправе говорить неприятные вещи даже в праздники.

По-разному можно оценивать полвека мирного использования ядерной энергии. Можно Кыштымом и Чернобылем перечеркнуть все ее достижения. Но я излагаю свои субъективные оценки. Сумма накапливаемых человеческих знаний о законах природы растет, и этот рост мы называем прогрессом, который неостановим. Полученные знания позволяют нам, в частности, находить новые пути производства энергии. На этих путях, очевидно, прослеживается тенденция к концентрации производимой энергии, повышению энергонапряженности теплотехнического оборудования. Ядерная технология на сегодня является самым концентрированным источником энергии и в этом смысле – самым прогрессивным.

Правда, жизненный опыт свидетельствует, что многие явления имеют циклический характер, и нельзя исключить, что на следующем этапе развития энергопроизводства будут использоваться источники низкопотенциальной энергии, связанные с малыми градиентами температур. Но среди действующих энергетических технологий ядерная наиболее молода, экологична и эффективна.

В многочисленных статьях и докладах, приуроченных к 50-летию атомной энергетики, содержатся все основные аргументы в пользу этого утверждения. В свете юбилейных прожек-



торов особенно заметно, что отечественная атомная энергетика развивается и совершенствуется в последние годы. Все добрые и даже восторженные слова в адрес работников атомной отрасли вполне заслужены. Но имеющиеся достижения не должны заслонять будущих проблем, которые проступают из тени отчасти благодаря яркости света. Именно потому, что атомная корпорация живет и развивается, именно для того, чтобы она жила и развивалась следующие 50 лет, мне хочется поделиться своими сомнениями и тревогами.

Организация любой прикладной деятельности начинается с финансовых потоков, направляемых на ее осуществление. Эти потоки позволяют обучить, привлечь специалистов, которые родят новые идеи и проекты, применяя имеющиеся знания для практических целей и попутно производя новые знания.

Не так просто обстоят дела в фундаментальной науке, где финансирование, конечно, имеет значение, но определяющую роль играют спонтанные проявления таланта, удачи, любознательности, трудолюбия, сочетание которых приводит к возникновению новых знаний. И ядерная технология характеризуется тесным сотрудничеством специалистов в фундаментальной и прикладной науках. Задачу, цель такого сотрудничества изначально определяло государство и в США, и в СССР. В 40-х годах США сконцентрировали у себя весь цвет мировой физики, СССР должен был полагаться только на отечественный научный потенциал. Но Ферми, Оппенгеймер и Теллер сделали не больше, чем Курчатов, Харитон и Сахаров. При этом в каждом из государств-первопроходцев были созданы команды блистательных ученых, исследования которых обеспечили разработку независимых, но очень близких по конструкциям типов ядерных реакторов для военных целей.

История развития технологий XX века дает уникальный материал для анализа. Человек – существо термодинамически очень несовершенное. Он существует в очень узком диапазоне внутренней температуры 35-42 °С и для поддержания термодинамического равновесия со средой нуждается, в первую очередь, в пище, энергии, жилье. Все остальные технологии обеспечи-

вают достижение сопутствующих целей: транспорт, комфорт, обмен информацией и т.д.

И во всем мире **развитие большинства технологий происходило для удовлетворения потребностей человека, расширения его возможностей, облегчения его существования** по частной инициативе широкого круга лиц, а в СССР – тоже по частной инициативе, но очень узкого круга лиц, имевших право действовать от имени государства. Собственно, этим-то и обусловлен проигрыш СССР в неравной борьбе с западным миром в области автомобилестроения, компьютерных и информационных технологий и т.п.

Но была одна область, решения в которой принимались узким кругом лиц и у нас, и на Западе, – военные технологии. Самолеты, танки, автоматы, ракеты, бомбы – здесь частные инициативы отсекались скальпелем секретности, и обе стороны долгое время находились в относительно паритетных условиях. Пока разработанные по частным инициативам информационные и компьютерные технологии не начали играть определяющую роль в военном деле.

Сказанное выше позволяет очертить контекст, в котором располагаются последующие рассуждения. Ядерная технология была создана не для удовлетворения человеческих потребностей, а для военных целей по заказу государств и дальнейшее перенацеливание ядерных технологий на мирные задачи происходило по решению обоих государств путем проведения целого комплекса законодательных, административных и организационных мероприятий. При этом и частные реакторостроительные фирмы США, и государственные конструкторские бюро СССР развивали энергетические реакторы, приспособлявая военные прототипы для энергетических целей. В документах начала 90-х годов четко сформулированы основные итоги этого развития и намечены направления решения возникающих проблем [155]. Можно выделить приоритеты реакторостроения для различного применения, как предложено в разделе 6.2.

Их анализ позволяет заключить, **что использование атомной энергии в мирных целях было преждевременно.**

Ядерная энергетика оказалась недостаточно безопасна, чтобы обеспечить свое широкое развитие, вырастить на его основе собственный инвестиционный потенциал и не зависеть от государственной поддержки. Только детерминистски безопасные реакторы могут создать такую саморазвивающуюся отрасль. Но в нынешних условиях вывести такие реакторы на рынок могут только государство или международные организации.

Напомню, что под детерминистски безопасным реактором понимается реактор, у которого при эксплуатации все обратные связи отрицательны, реакции на внешние возмущения осуществляются естественными физическими процессами, а при запроектных авариях лишенный теплоносителя и внешних источников энергии реактор не оказывает радиационного воздействия на окружающую среду за пределами его защитных барьеров. Иногда такой реактор называется “с внутренне присущей безопасностью”, иногда “с внутренней самозащищенностью”, иногда “с естественной безопасностью”.

Эта классификация, повторяю, отражает мое субъективное понимание, но оно разделяется многими специалистами. Во всем мире современные энергетические реакторы сконструированы на базе военных прототипов. И то, что их сейчас более 400, свидетельствует, что эффективность производства энергии на АС достаточна для конкуренции с другими видами энергопроизводства, хотя на сегодняшний день может уступать парогазовым ТЭС и у нас, и за рубежом. Анализ, содержащийся в обстоятельном исследовании [156], убедительно показывает, что при существующих в России заниженных ценах на газ и действующих тарифах на электроэнергию энергосистема, состоящая из парогазовых ТЭС, способна ввести больше энерго мощностей, чем энергосистема АС.

Но в тех местах, где уже существуют площадки АС, концерн “Росэнергоатом”, разумеется, будет строить объекты по уже освоенным технологиям. Логика рынка понуждает энергогенерирующие компании сооружать АС с уже отлаженными реакторными установками, а реакторостроительные и топливопроизводящие компании – производить освоенную продукцию,

для которой уже развернута вся инфраструктура: материалы, оборудование, методики, стандарты и т.п. Машиностроительные заводы развитых стран настроены на производство цилиндрических твэлов, сконструированных тепловыделяющих сборок, корпусов реакторов, парогенераторов и тому подобного уникального оборудования для АС. Да и ученым привычнее иметь дело с экспериментальными установками, расчетными кодами, приспособленными для существующих типов реакторов.

Проблемы, связанные с ядерной безопасностью, отходами, нераспространением, и в нашей стране, и за рубежом решены на социально приемлемом уровне. И эта ситуация объективно тормозит заказы государств на разработку иных типов реакторов, свободных от вышеупомянутых проблем. По существу, человечество входит в следующие 50 лет с теми же типами реакторов, которые созданы по военным программам. И это результат отсутствия общественной поддержки и государственных заказов на новые технологии, т.е. дефект государственной политики в области развития ядерных технологий производства энергии. Я бы очень не хотел, чтобы эти слова воспринимались как завуалированная критика конкретных лиц.

Нынешнее руководство Агентства по атомной энергии многое делает для сохранения атомной технологии. Но ни в обществе, ни в государстве в настоящее время нет ясно выраженных побудительных мотивов развития нашей отрасли, какие были в СССР. Тогда у Средмаша было две основных цели. Одна, первоначальная, – ядерный щит Родины, другая, побочная, - используя огромный научно-технический потенциал, найти области мирного применения освоенных технологий. До Чернобыля казалось, что эта вторая цель найдена: широкомасштабное развитие атомной энергетики на базе имеющихся конструкций ядерных реакторов. Крупность обеих целей способствовала стабильности отрасли. Недаром почти 30 лет во главе нее стоял один человек. А в отсутствие таких целей за последующие 15 лет сменилось пять министров и четыре наименования ведомства при неуклонном снижении его значения в государстве.

Да и в остальном мире последние 30 лет атомная наука, по существу, занималась тем, что обосновывала безопасное использование военных реакторов для мирных целей, приручала военного монстра к домашним условиям. Но чем дальше ядерная энергетика отходила от ядерно-оружейной технологии, чем самостоятельнее становился мирный атом, тем больше углублялся разрыв между научными исследованиями в гражданской и военной областях. Чем менее открытая наука финансировалась из оборонного заказа, тем мельче становились концептуальные задачи энергетике. Совершенствование и улучшение имеющегося оборудования не требуют таких усилий, как поиск нового и открытие иных подходов.

Хотя, повторяю, на пути совершенствования эксплуатации действующих реакторов отечественная наука сделала очень много, и, по общему мнению мирового сообщества специалистов, современная ядерная технология удовлетворяет сегодняшним требованиям безопасности. Нет ни одного аргумента противников ядерной энергетике, который бы не был обоснованно отвергнут специалистами.

Но на вопрос: “Может ли произойти тяжелая запроектная авария на современных АС?”, мы должны честно ответить: “Да, может при ослаблении требований к надежности оборудования, к регулированию безопасности, к отбору и квалификации персонала, к эксплуатационной дисциплине и т.п.” А тяжелая запроектная авария на современных реакторах может быть сопряжена со сверхнормативными радиоактивными выбросами для населения и окружающей среды. **И атомная отрасль идет по канату, рискуя упасть при первой же ошибке.**

Хотя вероятность такой возможной аварии чрезвычайно низка, хотя она рассчитывается виртуально, а для обеспечения работы других видов энергоисточников люди гибнут реально, но при продлении сроков эксплуатации и росте числа реакторов современного типа эта вероятность, очевидно, будет возрастать. Эти два рода мероприятий предусмотрены стратегией развития атомной энергетике [153] наряду с разработкой и внедрением быстрых реакторов. За время, прошедшее с момента одобрения

этой стратегии Правительством, несколько энергоблоков первого поколения получили лицензии на продление срока эксплуатации, введены в строй два энергоблока, завершается достройка еще одного, но достижений в области создания реакторов нового поколения не наблюдается.

На отсутствие крупных перспективных идей новых реакторов наша страна не может пожаловаться. Со времен Фейнберга, Алиханова, Лейпунского их накопилось множество. В [157] я предложил провести современную ревизию их технических предложений, но мои коллеги из РНЦ “Курчатовский институт” утверждали, что такие каталоги у них созданы. Проблема – в отсутствии лидеров, способных выбрать из имеющихся вариантов тот, который будет наилучшим способом использован в перспективе, тот, который является детерминистски безопасным. Проблема – в отсутствии власти у живущих сегодня научных лидеров, в конкуренции между ними.

Идей всегда бывало много. Но также были те, кто брали на себя ответственность за выбор и за последующую реализацию своих решений. На моей памяти такую ответственность принял на себя Е.О. Адамов, который, став министром, приложил немало усилий для развития проекта БРЕСТ, но не успел сделать его реализацию необратимой. По очень многим показателям этот реактор подходит на роль детерминистски безопасного реактора будущего, хотя, разумеется, требует большего объема НИР и ОКР для доводки технического проекта. В настоящее время работы по нему практически свернуты, так как денег на эту доводку не выделяется.

Еще несколько лет назад альтернативно рассматривались на научно-технических советах концерна “Росэнергоатом” и БН-800, и газоохлаждаемый высокотемпературный модульный реактор, и свинцово-висмутовый модульный реактор. Где их технические проекты? Кто сделал выбор? Сам факт, что эти проекты обсуждались на НТС не Росатома, отвечающего за политику и перспективу развития ядерной технологии, а концерна, для которого реакторы будущего – гири на финансовой деятельности коммерческой компании, свидетельствует о недостатках

управления подготовкой кардинальных решений и отсутствии внимания, адекватного этой проблеме.

Собственно говоря, те, кто сейчас считаются лидерами, корифеями, во многом стали ими за последние 20-30 лет не благодаря достижениям реакторостроения, а изучая аварии тех типов реакторов, выбор которых был сделан их предшественниками, исходя из военных приоритетов. То есть атомная наука пошла не по пути создания новых реакторов, а по тропинке обеспечения и обоснования безопасности действующих. Разумеется, это было необходимо, но только этим нельзя было ограничиться. Я и сам принадлежу к тем, кто увлеченно исследовал теплофизические процессы, происходящие в аварийных условиях. И таких исследований выполнено сотни по всем важнейшим научным направлениям. Благодаря совокупным полученным результатам безопасность эксплуатируемых отечественных атомных объектов обоснована и подтверждена международным сообществом.

Но мне всегда казалось, что где-то существуют иные оригинальные разработки, свободные от недостатков действующих реакторов. И приходится констатировать, что внимания к таким разработкам уделяется недостаточно. Подобное положение закрепляется с высшей школы, где дипломные проекты до сих пор посвящены ВВЭР и РБМК, а не новым типам реакторов, потому что у профессоров нет новых идей.

Справедливости ради следует указать на ту же картину и за рубежом, что свидетельствует об общих причинах, не зависящих от истории и социального устройства. В России – даже на одну технологию больше, имея в виду быстрый реактор с натриевым теплоносителем, успешно и безопасно эксплуатирующийся и поныне. Это несомненное достижение отечественной мысли. И, честно говоря, я не знаю иной российской мирной “высокой технологии”, кроме быстрых реакторов, которая бы так явно и неопровержимо свидетельствовала о приоритете нашей страны. Разве что технологию выпечки черного хлеба.

Однако в современном мире ответственность за выбор новых направлений имеет больший вес, более тяжела, чем в те

годы, когда локомотивом развития ядерной отрасли служили военные задачи. История энергетики содержит примеры тупиковых решений, когда заманчивые перспективные идеи разбивались о рифы технологических проблем. МГД генераторы, реакторы с диссоциирующим теплоносителем не нашли применения в энергетике из-за отсутствия необходимых материалов, обладающих требуемой в эксплуатации долговечностью, надежностью, стойкостью, и т.п. Долгоожидаемый ИТЭР еще не прошел необходимую проверку и также находится на стадии НИР и ОКР. По существу, он – единственная, хотя и достаточно отдаленная перспектива долговременного энергетического обеспечения жизни на планете. И хорошо, что ее решением занимается мировое сообщество. Но надо иметь и отходные варианты на период порядка 50-100 лет.

Понимание важности и актуальности поиска новых реакторных технологий побудило мировое сообщество к организации двух близких по духу международных проектов: ИНПРО по инициативе России и под эгидой МАГАТЭ и G-4 по инициативе и при поддержке США. Россия участвует только в первом из них, где в настоящее время разработана методология оценки инновационных технологий и страны-участницы находятся на этапе их внедрения. Это очень важное явление, может быть, первое в истории планеты, когда государства объединяются не в военные союзы, не для экономической выгоды, а для решения глобальной проблемы – поиска энергоисточников будущего. От успеха этого предприятия зависит так много, что положительный результат будет восприниматься как чудо.

Но, пожалуй, самым важным межгосударственным проектом является попытка организации всемирного атомного университета. Подобного опыта нет на Земле, неизвестно, как еще все будет получаться. Но стремление к сохранению накопленных знаний в атомной области знаменательно и важно. Оно свидетельствует, что атомная технология и в области образования находится в авангарде человечества. Что это не только наукоемкая, но и наукостойкая отрасль, сберегающая имеющиеся и стимулирующая новые знания.



Очень тщательно и строго надо подбирать экспертов, профессоров для упомянутых проектов. Следует помнить, что все мы, участвующие в этих проектах, являемся представителями той науки, которая за 30 лет не произвела новых идей, и механическое объединение минусов плюса не даст. От отсыревших дров трудно ожидать Божьей искры.

Можно только надеяться, что сам факт такого нового международного сотрудничества сформирует новые отношения между государствами, учитывая его планетарные цели. Это я и называю чудом. Пока же страны-участницы предпочитают тратить свои деньги на финансирование собственных идей и экспертов, не концентрируя их, а просто направляя по одному руслу. Но и это уже успех: ведь приоритеты МАГАТЭ устанавливались так же, как в составляющих Агентство странах: нераспространение, безопасность, отходы. И разработка детерминистски безопасного реактора может стать следующей важнейшей целью этой уникальной организации.

Наиболее заинтересованы в успехе те страны, где доля ядерной энергетики высока и нет крупномасштабных источников углеродосодержащего топлива: Франция, Южная Корея, Япония. Другие страны в краткосрочной перспективе вполне могут выбрать путь Германии: постепенный вывод из эксплуатации АС, ориентация на усовершенствованные технологии сжигания газа и угля при сохранении научного потенциала ядерной технологии до тех пор, пока исчерпаемость ископаемого топлива не станет очевидной и цены на него существенно возрастут. Кто знает, какое соотношение сил сложится тогда на планете, какие энергоисточники успеет освоить предприимчивое человечество и не придется ли ему ухватиться за идею детерминистски безопасных ядерных реакторов как за единственную возможность энергетического обеспечения жизни на Земле в следующие столетия.

## **6.5. Безопасность и развитие атомной энергетики**

Длительная работа в институте научного обеспечения федерального ведомства, ответственного за регулирование безопасности, вырабатывает особенный взгляд на проблемы ядерной отрасли. В соответствии с принципом разделения ответственности [154] эксплуатирующие организации отвечают за обеспечение безопасности при использовании атомной энергии, Рос- атом – за управление этим использованием, а Ростехнадзор – за регулирование безопасности при использовании атомной энергии. Специалисты Ростехнадзора и НТЦ ЯРБ внимательно и заинтересованно следят за всеми процессами, происходящими в атомной энергетике.

От Чернобыльской аварии пострадали не только люди и территории. Она искалечила и саму отрасль, лишив ее целого поколения и остановив ее развитие. Постепенно беря свое, ядерная отрасль понемногу поднимается с колен, развивается и расцветает, но это уже другая отрасль и другие люди. Как радиационное излучение производит необратимые изменения в материи, последствия Чернобыльской аварии воздействуют на наши умы и никогда не будут забыты. **Главное из них – приоритет безопасности над всеми остальными свойствами ядерных объектов.** И ведомство, отвечающее за регулирование безопасности, предназначено и по законам нашего государства, и по рекомендациям мирового сообщества следить за исполнением этого приоритета. У моих коллег по ведомству все происходящее в ядерной отрасли рассматривается с точки зрения влияния на ядерную и радиационную безопасность.

Примерно к 1998 г. я отношу рубеж массового осознания того, что ядерная отрасль должна продолжать развиваться и искать адекватные формы своего изменения. Атомной энергии нет альтернативы в широкомасштабном обеспечении энергетических потребностей человека и человечества. Обоснованию этого тезиса посвящено множество работ, в том числе моих статей [28]. Но в 1998 г. стало ясно, что 12 лет после Чернобыльской аварии не прошли даром: предложены конкретные технические решения, на базе которых следует выбрать модель будущего развития атомной энергетике.

Каждое лицо, ведомство и организация должны делать то, что обязаны по закону. Атомное законодательство России вполне соответствует международному. В [154] четко записано, что президент “определяет основные направления государственной политики в области использования атомной энергии”. Федеральное собрание принимает законы, утверждает федеральные целевые программы и “утверждает в составе федерального бюджета бюджетные ассигнования на финансирование деятельности в области использования атомной энергии”. В свою очередь, органы управления использованием атомной энергии, в частности, Росатом, осуществляют “проведение государственной научно-технической, инвестиционной и структурной политики в области использования атомной энергии”.

В [154] ни разу не упоминается “развитие атомной энергетики”, только в преамбуле говорится о развитии атомной науки и техники, но по смыслу приведенных законодательных норм **наличие** этого развития должно быть зафиксировано в основах государственной политики, **формы и показатели** этого развития устанавливаются в целевых программах, а темпы развития зависят от возможности самофинансирования отрасли и ежегодных бюджетных ассигнований, выделяемых именно на развитие атомной энергетики. У рыночного государства есть несколько путей реализации своих интенций: изменение тарифной политики, образование специальных фондов, налоговые льготы и т.п. Но эти способы затрагивают интересы других участников рынка, других отраслей экономики. Поэтому далее рассмотрим только административную составляющую государственной политики. Исходя из нее, Росатом должен исполнять закон и проводить государственную политику.

Какие же документы имеются на сегодняшний день в данной области? На саммите тысячелетия [158] президент заявил:

“Надо надежно перекрыть пути расползания ядерного оружия. Этого можно добиться, в том числе исключив использование в мирной ядерной энергетике обогащенного урана и чистого плутония... Технически это вполне осуществимо.

Но гораздо важнее другое – сжигание плутония и других радиоактивных элементов дает предпосылки для окончательного решения проблемы радиоактивных отходов. Открывает миру принципиально новые перспективы безопасной жизни”.

Специалисты Росатома неоднократно заявляли, что “предложенное постепенное исключение из использования в мирной ядерной энергетике обогащенного урана не означает ничего другого, кроме намерения разрабатывать новое поколение реакторов на быстрых нейтронах, которые возьмут на себя в будущем основную роль в развитии крупномасштабной ядерной энергетике. В отдаленном будущем, при исчерпании дешевого урана, эта технология позволит перевести реакторы на тепловых нейтронах на торий-урановый цикл. В то же время следует учитывать, что этот процесс потребует нескольких десятилетий, в течение которых ядерная энергетика может еще развиваться и на легководных реакторах, использующих низкообогащенный уран, в первую очередь полученный из накопленных оружейных запасов. Предложение отказаться от чистого плутония говорит о намерении разработать быстрый реактор без уранового blankets и с ядерным топливом равновесного состава без выделения чистого плутония при переработке облученного топлива”.

Вместе с этой инициативой, высказанной президентом, на упомянутом саммите был распространен документ, вытекающий из Стратегии развития атомной энергетике России, одобренной протоколом Правительства от 25 мая 2000 г. В нем отмечено:

“мировое сообщество приглашается к широкому международному сотрудничеству по совместной разработке инновационной реакторной технологии и ядерного топливного цикла естественной безопасности, основными чертами которых являются:

- *неограниченная обеспеченность топливными ресурсами за счет эффективного использования природного урана, а в дальнейшем и тория;*
- *исключение тяжелых аварий с радиационными выбросами, требующими эвакуации населения, при*

любых отказах оборудования, ошибках персонала и внешних воздействиях за счет главным образом присутствующих ядерным реакторам и их компонентам природных качеств и закономерностей (естественная безопасность);

- экологически безопасное производство энергии и утилизация отходов за счет замыкания топливного цикла со сжиганием в реакторе долгоживущих актиноидов и продуктов деления и *радиационно эквивалентным захоронением радиоактивных отходов (РАО) без нарушения природного радиационного баланса*;
- закрытие канала распространения ядерного оружия, связанного с ядерной энергетикой, путем постепенного *исключения в ней технологий извлечения плутония из отработавшего топлива и обогащения урана* и обеспечения физической защиты ядерного топлива от краж;
- *экономическая конкурентоспособность* за счет низкой стоимости и воспроизводства топлива, высокой эффективности термодинамического цикла, решения проблем безопасности АЭС без усложнения их конструкций и предъявления экстремальных требований к оборудованию и персоналу”.

Интересно сопоставить эти приоритеты с почти идентичными предложениями раздела 6.2. Мировое сообщество по-разному отреагировало на эти предложения. В частности, в [159] отмечено: “Будущее ядерной энергетики сильно зависит от успехов в разработке реакторов и топливных циклов нового поколения, которые обладали бы повышенной безопасностью, обеспечивали соблюдение режима нераспространения и являлись экономически конкурентоспособными”.

Как известно, МАГАТЭ в ответ на инициативу России уже в 2001 г. организовало международный проект ИНПРО, который, может быть, медленно, но системно выполняется рядом

стран. Число их постепенно растет. По крайней мере, в 2004 г. в нем работали 14 стран-участниц и 4 страны-наблюдателя.

В России инициатива президента получила развитие в 2003 г., когда был подготовлен и утвержден документ [160]. В нем отмечено: “Для решения задач по повышению уровня ядерной и радиационной безопасности населения и окружающей среды необходимо ... обеспечить разработку и внедрение перспективных установок, оборудования, технологических процессов с повышенным уровнем безопасности, в том числе ядерно- и радиационно безопасных, а также взрыво- и пожаробезопасных технологий, современных технологий безопасного ведения работ в области обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом, их утилизации и надежной изоляции, перспективных ядерных реакторов с повышенным уровнем ядерной и радиационной безопасности, улучшенными технико-экономическими и эксплуатационными характеристиками...”

Казалось бы, **исполнительная власть в лице президента четко высказалась о необходимости государственной поддержки развития атомной энергетики на основе безопасных технологий.** И следующим этапом должно было стать законодательное оформление этого решения. Это можно сделать разными способами. Наиболее эффективным и оперативным является внесение поправки в [154].

Я не раз высказывался против попыток изменения этого закона, полагая, что необходимо накопить опыт работы по его исполнению [28]. Но в данном случае для финансового обеспечения государственной политики можно было бы ввести в статью 20 конкретную численную норму, фиксирующую размер этого обеспечения. Примером такой нормы мог бы служить закон [161], где сказано: “Средства на финансирование научных исследований и экспериментальных разработок **гражданского назначения** выделяются из федерального бюджета в размере **не менее четырех процентов** расходной части федерального бюджета”. (Выделено автором).

Можно даже попытаться предложить количественную величину объема финансирования на безопасное развитие атом-

ной энергетики, учитывая, что тем же президентом утвержден документ [162], содержащий перечень из 7 приоритетных направлений развития науки, технологий и техники, в состав которых входят 52 критические технологии, в том числе “Безопасность атомной энергетики”. Очевидно, что нельзя формально разделить норму [161] на 52. Правительству вместе с Академией наук и научным сообществом следовало бы расставить приоритеты среди этих критических технологий, исходя из реального состояния дел в прикладной науке. Ведь в отличие от фундаментальной прикладная наука может быть оценена по новизне и продвинутости технологий, в которых реализованы ее результаты.

Не всем понравится следующее рассуждение, но СССР, а следом за ним и Россия, уже проиграли целые направления современных технологий. Мы ездим на западных автомобилях, пользуемся импортными мобильными телефонами, на наших столах стоят компьютеры, разработанные и изготовленные за рубежом. Значит, из 52 критических технологий, поддержанных государством, надо выбрать те, где у нас еще есть надежда не отстать, а может быть, и вырваться вперед. И в приоритетном порядке развивать эти научные направления, выделяя на аутсайдерскую науку финансовые средства, достаточные, чтобы хотя бы воспринимать зарубежные научные результаты.

А к числу приоритетных технологий, безусловно, относится комплекс научных направлений, обеспечивающих реакторостроение, и в нем разработка реакторов на быстрых нейтронах. Можно считать это субъективным экспертным мнением, но из упомянутых выше 4 % хотя бы 0,1 % можно и должно направить на финансирование научного направления “Безопасность и развитие атомной энергетики”. Эта проблема столь важна, что специалистами по атомному праву уже предлагается разработать закон с ориентировочным названием “О государственной поддержке безопасного развития атомной энергетики”. И, как первый шаг в этом направлении, можно было бы разработать предлагаемую поправку, например, в такой формулировке: **“Средства на финансирование научных исследований по безопасному развитию атомной энергетики выделяются из**

**федерального бюджета в размере не менее одной десятой процента расходной части федерального бюджета”. И эту норму следовало бы ввести в [154].**

Федеральный бюджет уже несколько лет финансирует Федеральную целевую программу “Энергоэффективная экономика”, где есть подпрограмма с названием: “Безопасность и развитие атомной энергетики”, на которую в бюджете 2005 г. выделено всего 392 млн. руб. Легко оценить, как бы выглядела величина финансирования этой подпрограммы, будь предложенная количественная норма реализована.

Надо сказать, что с 1996 г., когда вступил в силу [161], величина 4 % от расходной части бюджета ни разу не достигалась. В те годы бюджет был построен так, что суммарное финансирование научных исследований было фиксировано в лимитах бюджетных обязательств, выделяемых для Министерства науки и технологий. Эти лимиты составляли 1,5 – 2,2 % от расходной части, но росли из года в год.

Затем Миннауки исчезло как самостоятельное ведомство, вместе с тем изменились бюджетная классификация и структура бюджета. Сейчас можно выделить средства, идущие на науку, суммируя соответствующие статьи бюджета, распределенные по всем ведомствам. Анализ приложения 7 к Федеральному закону о бюджете 2005 года дает следующую картину (см. табл. 6-1).

**Таблица 6-1**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование исследований</b>	<b>Ассигнования на проведение исследований, млрд. руб.</b>
1.	Фундаментальные исследования	29,5
2.	Прикладные научные исследования в области национальной обороны	79,2
3.	Остальные прикладные научные исследования	44,8

Если исходить из цитируемой нормы [161], то финансирование научных разработок гражданского назначения состав-



ляет сумму нечетных строк таблицы – 74,3 млрд. руб. Величина расходной части бюджета 2005 г. равна 3047 млрд. руб., то есть в 2005 г. на гражданскую науку выделено примерно 2, 5 %, а на развитие атомной энергетики могло бы быть выделено примерно 3 млрд. руб. Вот этого и следовало бы добиваться Росатому вместе с заинтересованными депутатами и ведомствами.

Речь не о простом увеличении финансирования имеющейся Федеральной целевой программы. **Главное в данном предложении – создать законодательную норму, фиксирующую отношение государства к развитию атомной энергетики** и финансовое обеспечение этого развития. Хочу подчеркнуть, что это предложение направлено на развитие научного направления, уже имеющего опыт эксплуатации не только прототипов, но и головных объектов. Есть ряд заманчивых революционных идей принципиально иных энергоисточников: холодный ядерный синтез, термоядерный синтез и т.п. Эти работы пока находятся на стадии лабораторных исследований. Поддержка их развития необходима, но в рамках иных критических технологий.

Разумеется, указанная сумма не решит всех проблем. Но установленная законодательством нижняя планка финансирования развития атомной энергетики позволит, наконец, Росатому сделать обоснованный выбор технических средств, на базе которых это развитие будет осуществляться в ближайшем будущем.

Пока же по этому вопросу существуют различные мнения, которые принимают во внимание целый ряд разнородных факторов: безопасность, конкурентоспособность, наличие топлива, обращение с РАО, ядерное нераспространение и т.д. Существуют технические предложения по разработке целого ряда инновационных реакторов, различных по мощности и целевому назначению: для крупномасштабной электроэнергетики, для атомного теплоснабжения, для региональной энергетики и т.п. За каждым из этих направлений стоят свои организации главного конструктора, научного руководителя, генерального проектанта. Можно так распылить средства, что никаких денег не хватит. А задача целевой подпрограммы “Безопасность и разви-

тие атомной энергетики” состоит как раз в том, чтобы выполнить необходимые НИОКР для **выбора наиболее безопасного, детерминистски безопасного реактора**, на базе которого и будет осуществлено развитие.

На сегодняшний день не существует количественных методов сопоставления безопасности разных типов реакторов. Как уже отмечалось, детерминистский анализ безопасности проводится для конкретной реакторной установки, чтобы определить условия, при которых возможно исключение запроектной ядерной аварии с помощью свойств внутренней самозащищенности и принципов устройства реактора. При этом оценивается наличие отрицательных обратных связей при всех отклонениях от эксплуатационных режимов, исключение аварий с разуплотнением всего контура теплоносителя (низкое давление, затверждение расплава и т.п.); исключение токсичности теплоносителя при протечках; возможность уплотнения контура для высокотемпературных сред и т.п. Но детерминистский анализ не дает количественного масштаба для измерения ядерной безопасности, по которому можно было бы сделать выбор более безопасного реактора из разных вариантов его конструкции. Он свидетельствует, что заранее установленный, конечный перечень исходных событий не приводит к сверхнормативному повреждению топлива, к ядерной аварии.

Вероятностный анализ безопасности в настоящее время используется для оценки сбалансированности проекта, установления вклада этих исходных событий в вероятность ядерной аварии и принятия на этой основе технических решений для конкретного реактора. Количественные величины, получаемые в вероятностных анализах, не должны вводить в заблуждение и использоваться как масштаб измерения безопасности. Может быть, только впоследствии вероятностные анализы будут развиты для этой цели. Еще предстоит разработать комплект нормативных документов, устанавливающих на базе имеющегося опыта эксплуатации и научных результатов единые общие для всех реакторов правила сбора информации, разработки перечня исходных событий, расчета вероятностей, оценки погрешностей

и т.п. Этому и служит данная книга, в этом направлении уже идет работа, но надо подчеркнуть ее важность для развивающихся технологий.

Для инновационных реакторов, для которых еще только проектируется оборудование, должны быть установлены национальные стандарты надежности. Эти не обязательные, а рекомендательные документы должны быть выполнимы отечественной промышленностью, что представляется важнейшим из условий реализации проектов будущих реакторов. Наметившееся в последние годы использование зарубежного оборудования для модернизации российских АС недальновидно и опасно для национальной экономики. Это другая комплексная задача государства – сделать атомную энергетику локомотивом отечественной промышленности. А она может и должна им стать.

Разумеется, сегодняшние проекты базируются на технико-экономических расчетах для обеспечения конкурентоспособности с другими энергоисточниками: угольными и газовыми ТЭС, ГЭС и т.п. Экономические расчеты привязываются к сегодняшним ценам на топливо, металл, рабочую силу. При этом нельзя предвидеть скачкообразные, революционные события, которые оказывают сильнейшие воздействия на экономику (научные открытия, природные катаклизмы, социальные взрывы). Все экономические показатели переменны во времени и зависят от инноваций производства, удачи в поисках полезных ископаемых, успехов транспортных технологий и еще целого ряда факторов, совокупность которых невозможно предвидеть, оценить и спрогнозировать (см. раздел 6.1). Любые экономические расчеты – это фотографии младенца, по которым пытаются представить лицо старца. Завтра изменятся цены и все стоимостные расчеты разрушатся.

Поэтому экономические расчеты не могут служить основой для выбора реакторов, при сопоставлении различных технологий, реализуемых в будущем. Они нужны для понимания сегодняшнего положения дел, для отработки методики экономических сравнений. **Решения же должны приниматься только**

**на основании оценок безопасности. Это обусловлено спецификой ядерной отрасли.**

Развитие атомной энергетики в будущем включает в себя также увеличение занятого в отрасли персонала, расширение номенклатуры оборудования, развитие строительно-монтажных и проектно-конструкторских организаций, вовлечение в научные исследования новых контингентов ученых и т.п. Все работы должны выполняться с высоким качеством, люди должны иметь необходимую культуру безопасности и достойные условия работы, чтобы предотвратить отток из страны творцов и носителей инновационных технологий. То есть обеспечение развития атомной отрасли превращается в крупную государственную, народнохозяйственную проблему, решение которой надо начинать уже сейчас.

#### **6.6. Где искать деньги на науку?**

И экспериментаторы, и расчетчики из организаций Росатома время от времени предъявляют претензии мне и моим коллегам из Ростехнадзора, что-де вы не требуете тщательных обоснований безопасности при лицензировании и поэтому атомная наука не развивается. Мол, в концерне “Росэнергоатом” собрались эксплуатационники, далекие от науки, и если условия действия лицензий не содержат требования к проведению новых научных исследований, то концерн не дает денег на НИОКР, а у Росатома их не хватает на необходимые работы.

На подобные суждения можно было бы не обращать внимания, если бы их интуитивно не разделяли некоторые директора институтов и высокопоставленные служащие Росатома. Такая логика характерна для менталитета, когда виноватых ищут на стороне, а собственные ответственность и инициатива снижены вследствие угрозы наказания. По этой логике “сильный” Ростехнадзор должен заставлять концерн финансировать научные исследования.

Цель данного раздела – разобраться, кто же по закону должен устанавливать ориентиры, приоритеты и финансировать

развитие прикладной науки в области использования атомной энергии. Как в существующем законодательном поле осуществляется финансирование. Какие проблемы приходится при этом решать.

На моей памяти впервые на научной конференции термин “финансирование” прозвучал в 1986 г. До этого недостатка средств на научные исследования в области использования атомной энергии не было. Доставали датчики и приборы, выбивали лимиты на сооружение стендов и поставку оборудования. После Чернобыльской аварии изменилось многое: страна, ведомства, законы, и вместе с этим за этот период времени кардинально улучшились как приборное оснащение экспериментов, так и инструментальные средства теоретиков и расчетчиков. Первые получили потенциальный доступ к уникальным миниатюрным малоинерционным датчикам с цифровым сигналом, а вторичную аппаратуру практически полностью заменили компьютеры, в память которых закладываются тарифовочные характеристики, нормирующие параметры и т.п. Вторые получили в свое распоряжение невиданные прежде вычислительные средства, обеспечивающие возможность решения самых сложных сопряженных и комплексных задач.

По существу, за десятилетие произошла революция в средствах обоснования проектных решений и безопасности атомных объектов. Если в теоретической и математической физике отставание российских специалистов от западных существует (судя по числу нобелевских лауреатов), но не критично, то революцию в вычислительной технике мы проиграли вчистую (судя по отсутствию отечественных компьютеров на рабочих столах).

Как ни обидно это признавать, но в результате всех произошедших событий, тенденций и решений объем и качество обоснований российских АС существенно ниже, чем западных. Судите сами. Проектные решения нескольких модификаций PWR обосновывались мощными экспериментальными программами LOFT (США), BETHSY (Франция), SPES и LOBI (Италия), ROSA (Япония) и т.п. А в России, помимо стенда КС (РНЦ

“Курчатовский институт”), программа экспериментов на ПСБ-ВВЭР (ЭНИЦ) начала реализовываться только в конце прошлого века, когда некоторые из ВВЭР уже начали выводиться из эксплуатации.

Такое же положение и с программными средствами. Мощные верифицированные по упомянутым экспериментам коды США, Германии, Франции, с одной стороны, и один-два кода, которые еще не прошли даже аттестацию, – у нас. Да и могло ли быть иначе при столь мощной международной кооперации?

В этих условиях понятно стремление наших ученых использовать весь комплекс экспериментальных и вычислительных средств для увеличения объема обоснований безопасности и их надежды на финансирование этих работ со стороны органа управления использованием атомной энергии (Росатома) и эксплуатирующей организации (концерн “Росэнергоатом”), а также на поддерживающее их стремление воздействие регулирующего органа (Ростехнадзора).

Рассмотрим, насколько юридически обоснованы эти надежды. В [154] установлено, что в компетенцию органов управления использованием атомной энергии входят:

- разработка и реализация мер по обеспечению безопасности в подведомственных организациях (т.е. в том числе и в концерне);
- проведение государственной научно-технической политики.

Эксплуатирующая организация несет всю полноту ответственности за безопасность и обеспечивает:

- разработку и реализацию мер по предотвращению аварий;
- финансирование НИР и ОКР по обоснованию и повышению безопасности.

А также разрабатывает и осуществляет мероприятия по поддержанию безопасности.

Я не считаю возможным комментировать статьи закона – это дело законодателей. Но выскажу свое понимание юридиче-

ских норм. В отечественных документах для АС [25] понятие ядерной и радиационной безопасности определяется, как **“свойство АС при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, ограничивать радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду установленными пределами”**. В самом определении ЯРБ содержится указание на критерии ее оценки: непревышение радиационным воздействием установленных в нормативных документах пределов. То есть если пределы не достигаются, то ЯРБ обеспечена. При этом реальное воздействие может быть количественно любым, меньшим нормативного.

Из приведенного определения следует, что ЯРБ должна обеспечиваться как при нормальной эксплуатации, так и при авариях. То есть дуализм определения самого понятия требует рассматривать его в двух различных условиях: эксплуатационных и аварийных.

Цель эксплуатирующей организации при обосновании ЯРБ состоит в снижении возможных последствий аварий, прежде всего, – в уменьшении масштабов возможного разрушения топлива и барьеров глубоко эшелонированной защиты.

Для достижения этой цели эксплуатирующим организациям следует проводить и поддерживать научно-исследовательские работы, направленные на совершенствование ВАБ, с помощью которого, собственно, и оценивается ЯРБ; детерминистских кодов, рассчитывающих аварийные режимы; разработку баз данных по надежности оборудования и персонала, на основании которых проводится ВАБ; исследование миграции радиоактивных веществ через барьеры глубоко эшелонированной защиты при фазовых переходах и при межфазном массообмене; изучение возможности управления запроектными авариями; изучать внешние воздействия, способные их инициировать, и т.п. То есть перечень явлений, которые надо исследовать при обосновании РБ при эксплуатационных режимах и ЯРБ при аварийных режимах, в общем, различен. И даже радиационный контроль в помещениях АС и за ее пределами должен осуществ-

латься приборами с различной чувствительностью и пределами измерений.

Все сказанное можно сконцентрировать в виде схемы (рис. 6-1), которая наглядно демонстрирует вышеприведенные рассуждения.



Рис. 6-1. Направления исследований активных и потенциальных угроз

Как уже отмечалось, среди российских специалистов зреет понимание, что для точного обоснования своих решений следовало бы в оценках безопасности отказаться от метафор типа “повышение ЯРБ”, “уровень ЯРБ”, применяя которые интуитивно предполагается, что безопасность разных объектов можно сопоставлять, а безопасность одного и того же объекта может возрастать или уменьшаться. Как показано выше, и в законе



[154] используется подобная неточная терминология, то есть предполагается существование **количественной меры безопасности** и численных критериев ее определения. В то время как для точного определения управляющих и регулирующих решений пока следует использовать только термины “обеспечение ЯРБ” и “обоснование ЯРБ”.

При этом понимается, что безопасность обеспечивается проектными решениями, качеством изготовления и сооружения, опытом эксплуатации, наличием надежных систем нормальной эксплуатации и важных для безопасности и т.п. А обосновывается безопасность демонстрацией выполнения требований безопасности детерминистскими и вероятностными расчетными методами, экспериментальными исследованиями, на базе которых проверяются проектные решения и верифицируются расчетные программы, статистическими и экспертными анализами нарушений эксплуатации и тому подобными научными разработками. Иными словами, безопасность обеспечивается техническими и организационными мерами, а обосновывается доказательствами достаточности этих мер.

Разумеется, не всегда можно строго отделить обеспечение от обоснования ЯРБ. Но зато при этом не требуется наличие количественной меры безопасности. И решения в виде: “безопасность обеспечена” или “безопасность обоснована” оказываются более конкретными и четкими, соответствующими современному пониманию ЯРБ.

Становятся возможными такие заключения экспертов, как безопасность обеспечена (качественным изготовлением, опытом эксплуатации и т.п.), но плохо обоснована (отсутствие верифицированных программ, неполнота инженерных баз данных для расчетов и т.п.). Или, напротив, безопасность объекта достаточно обоснована, но плохо обеспечена в результате нарушения персоналом технологических регламентов, отсутствия испытаний систем безопасности и т.п.

Вспомним уровни глубоко эшелонированной защиты [25]. Первые два уровня реализуются при нормальной эксплуатации и, по существу, с помощью принимаемых на них мер по-

стоянно при работе АС обеспечивается безопасность. На следующих двух уровнях обеспечивается безопасность уже не при нормальной эксплуатации, а при проектных или запроектных авариях. Часто можно слышать: “Какая же это безопасность, если произошла авария?” В этих случаях следует вспомнить приведенное выше нормативное определение ЯРБ, по которому даже при авариях, если радиационное воздействие меньше допустимого, безопасность обеспечена.

Способность первых двух уровней обеспечивать безопасность обосновывается не только научными исследованиями (экспериментами, испытаниями, расчетами и т.п.), но и во многом опытом эксплуатации (анализом нарушений, установлением их коренных причин и т.п.). При этом НИОКР проводятся как до эксплуатации в рамках обоснования проекта, так и непрерывно при эксплуатации (совершенствование аппаратуры для диагностики оборудования и контроля параметров, совершенствование программ для загрузки-перегрузки топлива, ВАБ действующего энергоблока и т.д.).

Эффективность третьего и четвертого уровней глубоко эшелонированной защиты (предотвращение запроектных аварий системами безопасности и управление запроектными авариями) обосновывается, в основном, научными методами (экспериментами, расчетами и т.п.).

При этом возникает следующее явление. Специалисты-эксплуатационники, ежедневно видя, что атомная станция работает без нарушений, а в случаях отклонений – системы нормальной эксплуатации выполняют свои функции, справедливо полагают, что безопасность обеспечена. И научные исследования, инициируемые ими, направляются на повышение знаний в перечисленных на рис. 6-1 областях. То есть результаты тех НИОКР, которые активно и широко организует эксплуатирующая организация, внедряются ею непосредственно на действующих и сооружаемых объектах.

Ученые же, понимая, что обеспечение безопасности сегодня не гарантирует от аварии завтра, что вероятность запроектной аварии не может быть нулевой и возрастает по мере уве-

личения числа реакторов и времени их эксплуатации, также справедливо настаивают на необходимости дополнительных обоснований, совершенствовании знаний и углублении исследований в экспериментальной теплофизике, разработке связанных и сопряженных программных средств и т.п.

Понятно, что обоснования безопасности различных уровней глубоко эшелонированной защиты по-разному используются на практике. Если сделаны ошибки в расчетах, например, технических мер первого уровня, то могут быть созданы условия для предаварийной ситуации. Авария может не произойти, так как начнут действовать технические средства второго уровня. Суть в том, что возникновение всех инициирующих аварию исходных событий предотвращается мерами именно первых двух уровней. Кстати, поэтому расчетные программы, обосновывающие безопасность, особенно прочностные коды, используют консервативные допущения.

А расчеты последствий запроектных аварий производятся кодами наилучшей оценки для адекватного описания аварийных процессов. Но для нормально работающей станции такие расчеты обосновывают безопасность событий, которых в реальности, слава Богу, нет, что определяет отношение к исследованиям запроектных аварий, изложенное мной в [28].

Для решения этой коллизии напомним, что [154] различает пять основных “действующих лиц” в области использования атомной энергии:

- **органы управления** использованием атомной энергии;
- **органы регулирования** безопасности;
- **эксплуатирующие организации;**
- **организации, выполняющие работы** и предоставляющие услуги для эксплуатирующих организаций, в числе которых выделяется **организация, ответственная за разработку проекта.**

В эту четвертую группу также входят заводы-изготовители, строительные, ремонтные, пусконаладочные организации и т.п. В большинстве своем эти организации подве-

домственным органу управления – Росатому. Назовем их для краткости “конструкторы” и “проектанты” и рассмотрим схему взаимодействия между участниками использования атомной энергии.

Атомная энергетика предназначена для производства энергии и должна быть безопасна и конкурентоспособна с другими способами производства. Поэтому научные работы, обеспечивающие решение этих задач, являются прикладными. Все прикладные исследования в области использования атомной энергии можно разделить по целям приложения научных результатов: обеспечение эксплуатации, модернизация и совершенствование действующих объектов, создание новых объектов. При достижении этих целей должна, безусловно, гарантироваться безопасность. При этом эксплуатирующая организация имеет главным приоритетом обеспечение безопасности и основной целью – эффективность эксплуатации. Она заинтересована в их модернизации для продления срока службы действующих энергоблоков, достройке законсервированных энергоблоков и только потом в разработке новых. Ведь основная задача эксплуатирующей организации – извлечение прибыли при безопасном производстве электроэнергии.

Конструкторы и проектанты объемы работ получают как раз при разработке новых блоков, хотя, разумеется, они привлекаются и для модернизации, и для совершенствования эксплуатации действующих блоков, и во всех этих случаях их главный приоритет – обоснование безопасности.

Регулирующие воздействия осуществляются путем разработки нормативных документов, выдачи лицензий и надзора за соблюдением норм, правил и условий действия лицензий. Причем нормы и правила разрабатываются на основе уже имеющегося опыта эксплуатации, достижений науки и техники. И возможности бюджетного финансирования НИОКР для научной разработки критериев и принципов безопасности в нашей стране весьма ограничены.

Условия действия лицензий, содержащие требования проведения дополнительных НИОКР, формируются не произ-

вольно, а связаны с обоснованием отступлений от норм и правил, обоснованием компенсирующих мероприятий, недостатком наших знаний, то есть весьма целенаправленно, ограниченно и щепетильно. Регулирование безопасности только косвенно, опосредовано влияет на обеспечение и обоснование безопасности.

Например, в США регулирующий орган формирует реестр нерешенных проблем безопасности, понуждает владельцев АС к их решению и следит за выполнением этих работ. Подобная практика уже года четыре постепенно реализуется нашим институтом по поручению Ростехнадзора. Подобные перечни разрабатываются НТЦ ЯРБ совместно с концерном “Росэнергоатом”, последовательно решающим эти проблемы.

Прямое непосредственное воздействие на НИР по безопасности оказывают органы управления и эксплуатирующие организации, которые и ответственны за их финансирование. Причем Росатом обеспечивает решение стратегических научных исследований, а “Росэнергоатом” – тактические научные разработки по преимуществу. Но собственные финансовые возможности Росатома и концерна не безграничны, следовательно, надо искать организационные, управляющие меры для воздействия на хозяйствующих субъектов.

К числу этих мер относится формирование государственной налоговой и тарифной политики. И на этом пути уже достигнуты определенные результаты и их надо продолжать добиваться. Сделать это в современных условиях достаточно трудно. Статья 262 Налогового кодекса позволяет отнести затраты на НИОКР к расходам “после завершения этих исследований”. И я не представляю, как в обычной электроэнергетике включают затраты на НИОКР в себестоимость при расчете тарифов на электроэнергию [163]. Может быть существуют какие-то организационные формы, но, по сути упомянутой статьи, научные работы, направленные на совершенствование или создание новой продукции, должны финансироваться путем кредитного заимствования с последующей оплатой банковских процентов после получения и внедрения результатов. Так что компенсация затрат существенно затягивается во времени. А ес-

ли НИОКР не дали положительного результата, то затраты на них могут включаться в состав расходов в размере до 70%, то есть такие НИОКР будут явно убыточными.

Такой подход очень ограничивает возможность предприятиям непосредственно финансировать НИОКР, развивающие атомную технику. У них остается путь формирования Российского фонда технологического развития или иных отраслевых фондов по перечню, утвержденному Правительством, “в пределах 0,5 процента доходов (валовой выручки) налогоплательщика”.

Такой фонд по обеспечению ядерной и радиационной безопасности существует в Росатоме. В конечном счете, приоритет безопасности позволяет многие из НИОКР рассматривать как направленные на ее обеспечение или обоснование.

Логика законодателя в этом вопросе непонятна. Заставляя предприятия направлять на НИОКР не более 0,5 % доходов, государство существенно уменьшает возможности финансировать научные исследования из внебюджетных средств, но самое главное – предприятия теряют как рычаги прямого воздействия на проведение НИОКР, так и права собственности на их результаты.

Конечно, научные сотрудники не обязаны знать все эти юридические и бухгалтерские особенности финансирования науки, но они должны иметь представление об их существовании. Во всяком случае, соответствующим управлениям Росатома надо шире привлекать к формированию этого фонда другие организации различной правовой формы и ведомственного подчинения. Среди них можно отметить такие организации, как Атомстройэкспорт, Техснабэкспорт, концерн “ТВЭЛ” и т.п. Я уже слышал возражения этому предложению, что, мол, подобные коммерческие организации типа магазинов: что им дают, то они и продают. Мне кажется, что возможности указанных организаций раскрыты не до конца. Они продают высокотехнологичную продукцию (топливо, ТВС, АС) и, если заинтересованы в ее совершенствовании, в ее конкурентоспособности, в расширении своего рынка, то просто обязаны обосновывать безопас-

ность этой продукции на всех этапах жизненного цикла: изготовление, транспортирование, эксплуатация и т.д.

В этих организациях работают квалифицированные, образованные и предприимчивые специалисты, подчеркивающие принадлежность к коммерческому предприятию, т.е. нацеленному на получение прибыли. Получение прибыли – процесс нестационарный, зависящий от многих факторов, в том числе от спроса на рынке. Сегодняшние российские технологии и продукция обоснованы в прежние годы и пользуются спросом еще и потому, что в них аккумулированы научные разработки прежних лет. И если упомянутые организации не хотят, продав с себя все, остаться голыми, необходимо часть затрат направлять на научные исследования. Причем величина этой части, ее соотношение, скажем, с фондом оплаты труда самой организации в структуре себестоимости, должны определяться не менеджерами организации, а Росатомом, представляющим в указанных акционерных обществах государство. Ибо это элемент стратегической государственной научно-технической политики. Я не апеллирую к здравому смыслу или доброй воле менеджеров, а полагаю, что государство в лице Агентства должно установить такие “правила игры” при использовании атомной энергии, которые предусматривали бы заинтересованность этих менеджеров в развитии научных исследований.

Несколько иное положение с заводами-изготовителями оборудования, используемого на АС (реакторы, парогенераторы, контрольно-измерительная аппаратура и т.п.). Ряд этих заводов уже не находится под непосредственным государственным управлением, а оборудование также наукоемко и его изготовление требует развития и совершенствования научных обоснований его безопасного использования. Здесь должны включаться иные механизмы управления: нормативно-технические документы, сертификаты, целевые налоговые льготы и т.п. – с тем, чтобы научные исследования, направленные на разработку и совершенствование этой продукции, были выгодны и необходимы заводам на этом рынке.

Есть еще одна группа организаций, которых можно было бы привлечь к финансированию научных исследований, – это страховые общества. Обеспечение безопасности снижает страховые риски, анализы безопасности делают обоснованными страховые суммы. И в отношениях с этими организациями также должна проводиться государственная политика, направленная на расширение научных исследований, на заинтересованность страховых компаний в научных обоснованиях безопасности.

Наивно думать, будто все эти организации не понимают важности научной поддержки. Но мне кажется, что принимающие решения менеджеры не вполне осведомлены о состоянии научных исследований. Следует шире вовлекать их в научный процесс, приглашая к участию в семинарах, конференциях, распространять литературу и т.п. Здесь большую роль сыграет инициатива и предприимчивость самих ученых, но координировать и согласовывать эти усилия должно все-таки управляющее ведомство, отвечающее за научно-техническую политику в отрасли.

На мой сторонний, но заинтересованный взгляд, управление состоит не только в повышении и распределении имеющихся средств, но в поиске и реализации таких законодательных рычагов и мер, которые вовлекают всех участников использования атомной энергии в опережающее развитие НИОКР.

Большую роль в современной России играет международное сотрудничество. Оно имеет различные формы, зависит от страны, предмета сотрудничества, его целей и т.п. Этой отдельной, интересной темы я не касаюсь в данном разделе.

В заключение я хотел бы обозначить одну весьма деликатную и сложную проблему. Мне приходилось слышать от раздраженных чиновников Росатома, что ученых развелось слишком много и все финансовые проблемы решаются оптимизацией числа НИИ и их состава.

В [164] отмечено, что в более 50 НИИ и КБ, входящих в состав Росатома, работает примерно 100 тыс. человек. Повидимому, еще столько же организаций в России привлекаются к атомной тематике. Это коллективы институтов Академии



наук, некоторых вузовских кафедр, ВНИИАМ, ЦКТИ и т.п. Ориентировочно можно считать, что атомной тематикой занимается около 150 тыс. человек или 0,1% всего населения России. Но умозрительно оценить оптимальность этого числа невозможно. Надо иметь информацию о динамике этих цифр.

Во всяком случае, наука едина и взаимосвязана. Уравнения, методы, аппаратура ядерной физики могут использоваться в космических, химических, геологических и других приложениях. Программы и методики расчета движения теплоносителя применимы для газопроводов или организации транспортных потоков в городах. Притом, что атомные специалисты занимаются широким спектром энергетических проблем: поиском новых технологий производства энергии, разных способов ее передачи и хранения, новыми материалами и многим иным.

Поэтому, подводя итоги, можно констатировать, что в соответствии с действующим законодательством проведение государственной научно-технической политики, обеспечение ее финансированием, координацию научных исследований должны осуществлять и осуществляют органы управления использованием атомной энергии, Эксплуатирующие организации финансируют НИОКР по обеспечению и обоснованию безопасности. Однако эти органы и организации недостаточно привлекают других участников использования атомной энергии к организации НИОКР путем совершенствования налогового, финансового, бюджетного и иного законодательства.

Вместе с тем существующие юридические и организационные формы тормозят эту деятельность и не позволяют в полной мере реализовывать имеющиеся возможности финансовой поддержки, потребности в научном обеспечении и научный потенциал российских специалистов. Если такое положение продлится еще несколько лет, то Россия может потерять то место в области использования атомной энергии, которое она завоевала усилиями наших предшественников.

Так что совершенствование финансовых механизмов развития отечественной науки является важной народнохозяйственной задачей, от решения которой зависит будущее нашей страны.

## Литература

1. Федеральный закон “О техническом регулировании”. № 184-ФЗ, 27.12.2002.
2. Малышев А.Б., Гордон Б.Г. Анализ оценок безопасности атомных станций//Вестник Росэнергоатома. 2005, № 10.
3. Малышев А.Б., Гордон Б.Г. Показатели эффективности регулирования безопасности при использовании атомной энергии//Ядерная и радиационная безопасность. 2005, № 5.
4. Положение о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору. Утверждено постановлением Правительства РФ от 30.07.2004. № 401.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Регулирование ядерной и радиационной безопасности/Колл. авт. -М.: МГОФ “Знание”, НТЦ ЯРБ, 2003.
6. Конвенция о ядерной безопасности. 1994.
7. Основы теории безопасности и рискологии. Ю.Н. Арсеньев, Т.Ю. Давыдова, И.Н. Давыдов и др. Монография/Под ред. докт. техн. наук, проф. Ю.Н. Арсеньева. -М.: Высшая школа, 1999.
8. Арсеньев Ю.Н., Бушинский В.И., Фатуев В.А. Принципы техногенной безопасности производств и построение систем управления риском/ Под ред. проф. Ю.Н. Арсеньева. -Тула. Тульский государственный университет, 1994.
9. Левашов С.П. Техногенный риск: Учебное пособие. -Курган. Курганский государственный университет, 2000.
10. Могилевский В.Д. Введение в теорию управления безопасности систем. Обзорная информация//Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. -М.: ВИНТИ, 2001.
11. Зубков Б.В. Методологические основы анализа и оценки безопасности полетов и летной годности воздушных средств: специальности 05.22.14: Дис. на соискание ученой степени доктора техн. наук. -М.: МГТУ ГА, 1997.
12. Рыбалкин В.В. Безопасность полетов: Учебное пособие. -М.: МГТУ ГА, 1994. Ч.1.
13. Зубков Б.В. Теоретические основы безопасности полетов. -М.: МГТУ ГА, 1987.
14. Управление риском: риск, устойчивое развитие, синергетика/ В.А. Владимиров, В.Л. Воробьев и др. -М.: Наука, 2000.
15. Могилевский В.Д. Методология систем. -М.: Экономика, 1999.
16. Ковалев Е.Е., Вихров А.И., Семенов В.Г. Устойчивость сложных систем и техногенный риск//Атомная энергия, 1993.
17. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. -М.: Машиностроение, 1984.

18. Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка. В 4-х томах. -М.: Прогресс, 1994.
19. Толковый словарь русского языка. В 4-х томах/Под ред. Д.Н. Ушакова. -М.: ОГИЗ, 1935.
20. Закон Российской Федерации "О безопасности". № 2446-1, 1992.
21. Федеральный закон "О радиационной безопасности населения". № 3-ФЗ, 1995.
22. Федеральный закон "О пожарной безопасности". № 69-ФЗ, 1994.
23. Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов". № 116-ФЗ, 1997.
24. Федеральный закон "Об охране окружающей среды". № 7-ФЗ, 2002.
25. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97, НП-001-97. -М.: НТЦ ЯРБ, 1999.
26. Терминологический словарь по промышленной безопасности. -М.: НТЦ ПБ, 2004.
27. Термины и определения по ядерной и радиационной безопасности. Глоссарий. -М.: НТЦ ЯРБ, 2004.
28. Гордон Б.Г. О тьме истин: Учебное пособие по курсу "Повышение квалификации при подготовке к аттестации руководителей федеральных государственных унитарных предприятий". -М.: НТЦ ЯРБ, 2003.
29. Еще раз о риске. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях/С.Н. Азапов, С.Н. Вангородецкий, Ю.Ю. Корнейчук и др.// 2000.
30. Гражданкин А.И. Опасность и безопасность//Безопасность труда в промышленности. 2002, № 9.
31. Елохин А.П. К вопросу определения критериев приемлемости риска//Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. -М.:2000.
32. Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций. -М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, Федеральный центр науки и высоких технологий, 2004.
33. Акимов В.А. и др. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. -М.: Деловой экспресс, 2004.
34. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда/Н.С.Бабаев, В.Ф.Демин, Л.А. Ильин и др. -М.: Энергоиздат, 1981.
35. Шевелев Я.В. Нормативная экономическая теория социализма: Как социализму стать эффективнее капитализма. В 3-х частях. -М.: Экономика, 1991. Ч. 1.
36. Руководство по ликвидации последствий радиационных аварий. Проект. -М.: МЧС России, 2004.
37. Проект БЕТА. Совместные исследования по вероятностной оценке безопасности блока ВВЭР-1000 Калининской атомной станции. Краткий отчет. -М.: НТЦ ЯРБ, 2003.

38. Проект БЕТА. Совместные исследования по вероятностной оценке безопасности блока ВВЭР-1000 Калининской атомной станции. Вероятностный анализ безопасности энергоблока № 1 Калининской АС при работе на мощности. Уровень 1. Внутренние иницирующие события. Основной отчет. -М.: НТЦ ЯРБ, 2003.
39. Процедурные руководства для вероятностного анализа безопасности. NUREG/CR-6572, Версия 1 BNL-NUREG-52534. 2003.
40. Костылева Н.В., Вологжанин В.Ю. Теория численной оценки экологической опасности и классификации предприятий для ведения учета объектов и источников негативного воздействия на окружающую среду. -Пермь, 2004.
41. Воцинин А., Тюрин А., Яковлев Н. Вероятностная, интервальная и нечеткая модели неопределенных чисел при оценке риска// Бюллетень по атомной энергии. 2003, № 12.
42. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TЕСH. -“БХВ-Петербург”, 2003.
43. Пузанов Ю.В. И еще раз о риске//Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. -М.: 2000.
44. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Постановление Правительства Российской Федерации от 13 сентября 1996 г. № 1094.
45. Аветисов Г.М., Гончаров С.Ф. Прогноз радиационной опасности для субъектов Российской Федерации в случае крупномасштабной аварии на действующих АЭС России. III научно-практическая конференция МЧС “Проблемы прогнозирования ЧС”. -М.: 2004.
46. Колодкин В.М., Фомин П.М. Оценки аварийного риска как критерий принятия решений при утилизации химического оружия. III научно-практическая конференция МЧС “Проблемы прогнозирования ЧС”. -М.: 2004.
47. Государственный доклад ”О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2000 году”. -М.: ВНИИ ГОЧС, 2001.
48. Доклад “О состоянии промышленной безопасности опасных производственных объектов, рационального использования и охраны недр Российской Федерации в 2002 году”. -М.: ГУП ”Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России”, 2003.
49. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2000 году. Государственный доклад. -М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001.
50. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2002 году. Государственный доклад. -М.: Министерство природных ресурсов Российской Федерации, 2002.
51. О состоянии промышленной безопасности опасных производственных объектов, рационального использования и охраны недр Российской Федерации

Федерации в 1999 году. Государственный доклад. -М.: ГУП "Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России", 2000.

52. Общая теория статистики: Статистическая методология в изучении коммерческой деятельности: Учебник/Под. ред. О.Э. Башиной, А.А. Спирина. 5-е изд. -М.: Финансы и статистика, 2005.

53. Толерантность риска от атомных электростанций. Документ НСЕ. Пер. с англ. -М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 1999.

54. Разработка и внедрение нормативно-методической базы, направленной на снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера, оценка и прогноз экономических ущербов от чрезвычайных ситуаций. Отчет о НИР по п. 4.2.1-187 ЕТП НИОКР МЧС России на 2002 г. (заключительный). -М.: 2002.

55. Разработка и внедрение нормативно-методической базы, направленной на снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера, оценка и прогноз экономических ущербов от чрезвычайных ситуаций. Отчет о НИР по п. 4.2.1-187 ЕТП НИОКР МЧС России на 2002 г. (промежуточный). -М.: 2002.

56. О состоянии промышленной безопасности опасных производственных объектов, рационального использования и охраны недр Российской Федерации в 2000 году. Государственный доклад. -М.: ГУП "Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России", 2001.

57. О состоянии промышленной безопасности опасных производственных объектов, рационального использования и охраны недр Российской Федерации в 2001 году. Государственный доклад. -М.: ГУП "Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России", 2002.

58. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2000 г. Отчет ГСГА МТ РФ, Управление государственного надзора за безопасностью полетов. -М.: 2001.

59. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в 2003 г. Доклад Межгосударственного авиационного комитета. -М.: 2004.

60. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. -М.: Наука, 1969.

61. Альбом форм федерального государственного статистического наблюдения, централизованных в органах государственной статистики. В 3-х томах. -М.: 2004.

62. Альбом форм федерального государственного статистического наблюдения, централизованных в органах государственной статистики. В 6-ти томах. -М.: 2004.

63. Острейковский В.А. Эксплуатация атомных станций: Учебник для вузов. -М.: Энергоатомиздат, 1999.

64. Положение о порядке расследования и учета нарушений в работе атомных станций. НП-004-97 (ПНАЭ Г-12-005-97). -М.:1998.
65. Пугачев В.С. Введение в теорию вероятностей. -М.: Наука, 1969.
66. Савчук В.П. Байесовские методы статистического оценивания. -М.: Наука, 1989.
67. Зозуля И.В. Общая характеристика аварий в промышленности. Аварии и взрывы//Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2000. Ч. 1.
68. Денисовский Г.М., Лупандин В.М., Малышева П.В. Ядерная энергетика России: неизвестное об известном. -М.: 2003.
69. Арутюнян Р.В. Системный анализ экологических рисков. Основные проблемы и пути их решения. Материалы международного научного семинара “Научные проблемы и нерешенные задачи утилизации кораблей с ЯЭУ и экологической реабилитации обслуживающей инфраструктуры”/Под ред. акад. А.А. Саркисова. -М.: ИБРАЭ, 2002.
70. Агапов А.М., Новиков Г.А. Об актуальных проблемах обеспечения безопасности атомной отрасли в свете административной реформы. -М.: 2004.
71. Бугаева Л. Главная задача – защитить персонал, население и окружающую среду//Бюллетень по атомной энергии. 2004, № 7.
72. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). -М.: Минздрав России, 1999.
73. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). -М.: Минздрав России, 2000.
74. Principles of Nuclear, Radiation, Radioactive Waste and Transport Safety. DS298. Safety fundamentals. IAEA, Draft 15, 2005.
75. Положение о годовых отчетах по оценке состояния безопасности при эксплуатации энергоблоков АЭС. РД ЭО 0143-99. -М.:1999.
76. Положение о годовых отчетах по самооценке состояния культуры безопасности на АЭС. РД ЭО 0212-01. -М.: 2001.
77. Самооценка эксплуатационной безопасности АС. Руководство. - М.: 2002.
78. Liemersdorf H., Niel J. - C. Learning from experience in safety engineering and development of safety philosophy – methods and objectives. Forum for nuclear safety “EUROSAFE”. -Berlin, 2004.
79. Bassing G., Roux J.-P. Establishment of an indicator-based safety management system by EDF and at EnKK sites. Forum for nuclear safety “EUROSAFE”. -Berlin, 2004.
80. E.R. Seidel und H.-J.Rauh. Das Sicherheitsmanagement von Kernkraftwerken aus Sicht der atomrechtlichen Aufsichtsbehoerde. Atw. 2004, № 3.
81. Работа на результат. Материалы пресс-конференции, посвященной итогам работы концерна “Росэнергоатом” в 2003 году//Вестник Росэнергоатома. 2004, № 2.

82. Итоги работы атомной энергетики России в 2002 году и результаты деятельности за четырехлетний период развития//Вестник Росэнергоатома. 2003, № 1.
83. Годовой отчет по оценке состояния безопасности при эксплуатации энергоблоков Курской АЭС за 2002 год. Филиал концерна “Курская атомная станция”, 2003.
84. Кесслер Г. Ядерная энергетика. -М.: Энергоатомиздат, 1986.
85. Самойлов О.Б. и др. Безопасность ядерных энергетических установок. Учебное пособие. -М.: Энергоатомиздат, 1989.
86. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. ПБЯ РУ АС-89.
87. Елисов Л.Н., Баранов В.В. Управление и сертификация в авиационной транспортной системе. -М.: Воздушный транспорт, 1999.
88. Vanderwalle A. Systematization of the use of experience feedback from NPP's in the regulatory field. Евросейф-04.
89. Итида Ю. Пересмотр обязанностей по результатам исследования человеческого фактора//Атомная техника за рубежом. 2005, № 5.
90. Оценка риска аварий на магистральных нефтепроводах КТК-Р и БТС/ Ю.А. Дадонов, М.В. Лисанов, А.И. Гражданкин и др.//Безопасность труда в промышленности. 2002, № 6.
91. Основные показатели риска аварии в терминах теории вероятностей/А.И. Гражданкин, Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов и др.//Безопасность труда в промышленности. 2002, № 7.
92. Лисанов М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска//Безопасность труда в промышленности. 2004, № 5.
93. Оценка риска аварий на объектах хранения и перевалки нефти и нефтепродуктов/А.В. Пчельников, А.И. Гражданкин, И.А. Кручинина и др.// Безопасность труда в промышленности. 2004, № 6.
94. Волохов Г.М. Детерминированно-вероятностный подход к продлению назначенного ресурса металлоконструкций подвижного состава// Безопасность труда в промышленности. 2004, № 6.
95. Основные принципы оценивания и нормирования приемлемого техногенного риска/И.Л. Можяев, А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов и др.// Безопасность труда в промышленности. 2004, № 8.
96. Новиков Д.А. Оптимальные механизмы стимулирования в системах управления экологической безопасностью//Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, 2000.
97. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник/Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, А.И. Елизаров. Под ред. В.П. Соколова. -М.: Логос, 2001.
98. Calculation of distance factors for power and test reactor sites. Technical Information Document, TID-14844. United States Atomic Energy Commission. TID-14844, 1962.

99. Конвенция о трансграничном воздействии промышленных аварий. 1992.
100. Методика по оценке возможного экономического и экологического ущерба от реализации внутренних и внешних угроз на атомных станциях. -М.: Концерн "Росэнергоатом", 2004.
101. Афанасьев А.А. Воздействие энергетики на окружающую среду: 1. Внешние издержки и проблемы принятия решений. Препринт № IBRAE-98-14. -М.: ИБРАЭ, 1998.
102. Афанасьев А.А. Воздействие энергетики на окружающую среду: 2. Методологические проблемы оценки экономического ущерба. Препринт № IBRAE-99-11. -М.: ИБРАЭ, 1999.
103. Афанасьев А.А. Воздействие энергетики на окружающую среду: 3. Методологические аспекты оценки экономического ущерба здоровью. Препринт № IBRAE-99-12. -М.: ИБРАЭ, 1999.
104. Радиационная медицина. В 4-х томах/Под ред. акад. Л.А. Ильина. -М.: 2002.
105. Влияние дозы и мощности дозы на стохастические эффекты облучения. 41-я сессия НКДАР ООН. -Вена, 1992.
106. Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ. 1990. Публикация 60. -М.: Энергоатомиздат, 1994.
107. Критерии вмешательства в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации. Сер. 109. Вена. МАГАТЭ, 1998.
108. Булдаков Л.А. О благоприятном влиянии малых доз ионизирующих излучений на развитие организмов и на здоровье человека//Бюллетень по атомной энергии. 2004, № 2.
109. Индивидуальная оценка канцерогенных рисков среди персонала атомной отрасли/ В.К. Иванов, А.Ф. Цыб, А.М. Агапов и др.//Ядерная и радиационная безопасность России. 2004. Вып. 3.
110. Колодкин В.М. Прогнозирование оценок аварийного риска. Материалы "Круглого стола" в Совете Федерации РФ. -М.: 2002.
111. Неадекватная реакция/ А.М. Агапов, Г.А. Новиков, Р.В. Арутюнян и др.//Атомная стратегия. 2004, № 7.
112. Блехер А.Я., Кучин Н.Л. Радиационный риск при хранении на плаву блоков реакторных отсеков с невыгруженным ядерным топливом. Международный научный семинар РОССИЯ-НАТО "Научные проблемы утилизации кораблей и судов с ядерными энергетическими установками и экологической реабилитации объектов и территорий, ранее подвергшихся радиоактивному загрязнению". -М.: 2004.
113. Аварии и инциденты на атомных электростанциях: Учебное пособие/Под. ред. С.П. Соловьева. -Обнинск, 1992.
114. Ильин Л.А. и др. Определение группы потенциального риска в атомной отрасли на основе результатов радиационно-эпидемиологических исследований. -М.: ИБРАЭ РАН, 2004.



115. Наследие Чернобыля: медицинские, экологические и социально-экономические последствия. Доклад международной комиссии на Чернобыльском форуме. -Вена, 2005.
116. Одум Ю. Экология. В 2-х томах. -М.: Мир, 1986.
117. Гордон Б.Г. Об использовании понятия риска в различных отраслях промышленности//Вестник Госатомнадзора России. 2003, № 1.
118. Иванов-Разумник В.К. История русской общественной мысли. В 2-х томах. -С-Пб.: Изд. М.М. Стасюлевича, 1908.
119. Овсянко-Куликовский Д.Н. История русской интеллигенции. В 3-х томах. -С-Пб.: Изд. "Прометей", 1911.
120. Покровский М.Н. Очерк истории русской культуры. В 2-х томах. -М.: Изд. "Мир", 1918.
121. Ковалевич О.М. Некоторые проблемы риска и управления риском. -М.: НТЦ ЯРБ, 2003.
122. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. РД 03-418-01. -М.: Госгортехнадзор России, 2001.
123. Dr. Vladimir M. Trbojevic, Can We Achieve the Unified Risk Criteria for Major Accident Hazards in EU? Доклад, X Международная научно-практическая конференция по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. -М.: ЦСИ МЧС России, 2005.
124. Петросян Е.Р. Менеджмент рисков//Вестник технического регулирования. 2005, № 2.
125. Семенов В. Г. Концепция оценки и управления риском для регионов размещения потенциально опасных производств//Бюллетень по атомной энергии, 7/2005. -М.: ЦНИИАтоминформ, 2005.
126. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах. -М.: Госгортехнадзор России, 2004.
127. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. РД 03-496-02. -М.: Госгортехнадзор России, 2002.
128. Методическое руководство по оценке риска аварий на магистральных нефтепроводах. -М.: Госгортехнадзор России, 2004.
129. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. -М.: Госстандарт России, 2002.
130. Статистические модели и многокритериальные задачи принятия решений/Под ред. П.Ф. Шахнова. -М.: Статистика, 1979.
131. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. -М.: Наука, 1977.
132. Duffey R., Saull J. Know the Risk, Butterworththeinemann, 2003.
133. Анализ и сравнение рисков от атомной и других отраслей энергетики. Материалы "Круглого стола" в Совете Федерации РФ (31 мая 2002 г.). Концерн "Росэнергоатом", 2002.

134. Арутюнян Р.В. Системный анализ экологических рисков, основные проблемы и пути их решения. Материалы международного научного семинара. -М.: 2002.
135. Биргер И.А. Техническая диагностика. -М.: Машиностроение, 1978.
136. Диагностика материалов и конструкций ТЭК/В.М. Баранов, А.Н. Карасевич, Е.Н. Кудрявцев и др.// -М.: Энергоатомиздат, 1999.
137. Основные рекомендации по выполнению ВАБ АС. РБ-032-04. -М.: 2004.
138. Accident analysis for Nuclear power plants. Safety reports. Ser. № 23, IAEA, 2002.
139. Осмачкин В.С. Сравнение тяжести аварий на ядерных и неядерных энергопроизводствах. Доклад. Международный семинар. 28 мая 2002 г.
140. Reactor Safety Study: An assessment to the accident risks in US commercial nuclear power plants. WASH-1400. US NRC. Washington, DC, 1975.
141. О мерах по повышению результативности бюджетных расходов (с изменениями от 23 декабря 2004 г.). Постановление Правительства РФ от 22 мая 2004 г. № 249.
142. IAEA Document PDRP-4, "Assessment of Regulatory Effectiveness".
143. NEA (2004) "Direct Indicators of Nuclear Regulatory Effectiveness". Pilot Project Results, NEA № 3669, OECD, 2004.
144. Доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. -М.: 2004.
145. Демин В.Ф. и др. Нормирование и сравнение риска здоровью человека от разных источников вреда//Атомная энергия. Вып. 5, май, 2001. Т.90.
146. Показатели эксплуатационной безопасности АС. IAEA-TECDOC-1141. -Вена. МАГАТЭ, 2000.
147. Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности атомной станции с реакторами типа ВВЭР. ПНАЭ Г-01-036-95. НП-006-98. -М.: НТЦ ЯРБ, 1995.
148. Рекомендации по углубленной оценке безопасности действующих энергоблоков атомных станций с реакторами типа ВВЭР и РБМК (ОУОБ АС). РБ Г-12-42-97. -М.: НТЦ ЯРБ, 1997.
149. Ортега и Гассет Х. Восстание масс. 1930.
150. Эль-Баради М. Ядерная энергетика. Возможный сценарий развития// Бюллетень МАГАТЭ, 2004. Т. 46.
151. Культура безопасности. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. Серия изданий по безопасности, № 75–ИНСАГ–4. -Вена. МАГАТЭ, 1991.
152. История атомной энергетики Советского Союза и России. -М.: 2001. Вып. 1.

153. Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века. -М.: ЦНИИАИ, 2001.
154. Федеральный закон “Об использовании атомной энергии”. № 170-ФЗ от 21 ноября 1995 г.
155. Орлов В.В. и др. Нетрадиционные концепции АЭС с естественной безопасностью.//Атомная энергия, т. 72, вып. 4, 1992.
156. Рогов М.Ф., Корниенко А.Г. Усовершенствованные и инновационные проекты в стратегии развития концерна “Росэнергоатом”//Росэнергоатом. 2004, № 3.
157. Гордон Б.Г. Перспективы реакторостроения в свете культуры безопасности//Доклад на 3-й научно-технической конференции “Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР”. -Подольск, 2003.
158. Выступление Президента Российской Федерации В.В. Путина в ООН 6 сентября 2000 г.
159. Обращение Генерального директора МАГАТЭ к 44-й сессии генеральной конференции МАГАТЭ 18 сентября 2000 г.
160. Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Президентом РФ 4 декабря 2003 г. Пр-2196.
161. Федеральный закон “О науке и государственной политике”. № 127-ФЗ от 23 августа 1996 г.
162. Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Президентом РФ 30 марта 2002 г. Пр-576.
163. Платонов В.В. Возможно ли незатратное получение энергии. Препр. ИБРАЭ. -М.: 2003.
164. Соколов Ю.А. Состояние и перспективы развития экспериментальной базы фундаментальных исследований//Доклад на Четвертой научно-практической конференции Минатома России “Использование достижений фундаментальных исследований в ядерных технологиях”. -М.: 2003.

**Гордон Борис Григорьевич**

**ИДЕОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

Ответственный за выпуск Т.В. Сеницына  
Редактор И.С. Орестова

Компьютерная верстка Э.П. Зернова

Набор и верстка выполнены в ОНТИ НТЦ ЯРБ

Подписано в печать                    2006 г.            Формат 60x84 1/16  
Печ. л. 16,7            Уч.-изд.л. 16,2            Тираж 500 экз.  
Заказ 4

Типография НТЦ ЯРБ. 107140, Москва, ул. Малая Красносельская,  
д. 2/8, корп. 5. Тел. 264-28-53