

---

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

---

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

---

---

**О.М. Ковалевич**

**ИЗБРАННЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ  
2011 – 2013**

**Труды НТЦ ЯРБ**

**Москва 2014**

**УДК 621.039**

**К-32**

**Ковалевич О.М. Избранные научные труды (2011 – 2013).**

Настоящий сборник содержит опубликованные труды автора в 2011 – 2013 гг. Является продолжением аналогичных сборников (2000 – 2004), (2005 – 2007), (2008 – 2010).

Рассчитан на специалистов, работающих в области использования атомной энергии.

Издается в авторской редакции.

**УДК 621.039**

**К-32**

© Ковалевич О.М., 2014

© ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

1. К упорядочению нормативной базы атомной энергетики идём на ощупь?.....
2. Оценка соответствия, метрология и расчёты. ....
3. Анализ неопределённости при рассмотрении инфраструктурных проектов. ....
4. Кто и что говорит о безопасности?.....
5. Относительно нормативной базы в области использования атомной энергии. ....
6. Совершенство правил безопасности с точки зрения безопасности и ответственность за их нарушения .....
7. Возможности вероятностного метода прогнозирования рисков при реализации инфраструктурных проектов .....
8. Новые проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций.....
9. Знание неопределённостей расчётов и экспериментов как необходимое условие обоснования безопасности атомных станций .....

## К УПОРЯДОЧЕНИЮ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ИДЁМ НА ОЩУПЬ?

ProAtom, 17/11/2011

Вопрос не риторический для тех, кому важны результаты процессов кардинального усовершенствования нормативной базы в сфере использования атомной энергии. В последние годы ответ относительно состояния нормативной базы можно было ожидать в широком диапазоне – от «очень плохо» до «нормально, под контролем». Не будем ставить свою метку на этой шкале, но проявляющаяся озабоченность Ростехнадзора, Росстандарта и других федеральных органов, Госкорпорации «Росатом», производителей оборудования и поставщиков услуг для атомной отрасли, а также обеспокоенной общественности говорит о том, что проблемы есть.

Под нормативной базой (НБ) будем понимать нормативно-правовую базу (НПБ) в принятом юридическом толковании (Законы, Постановления Правительства, обязательные решения органов государственной власти) и нормативно-технические документы, разрабатываемые для конкретизации НПБ. В число участников процесса формирования НБ, кроме Ростехнадзора и Госкорпорации «Росатом» как основных в данной проблеме, входят другие органы государственной власти в соответствии со своими функциями и соответствующими полномочиями в формировании НБ (Росстандарт, МЧС, Минздрав (ФМБА) и др.), а также объединения промышленности (концерны), разрабатывающие необходимые стандарты.

НБ, необходимая для достижения поставленной цели – устанавливать приемлемые обществом и международным сообществом требования безопасного использования атомной энергии в мирных целях, представляет собой многоуровневую комплексную систему (в дальнейшем, система НБ) нормативных документов разного уровня и разных направленностей. Если переводить это на математический язык, то такая система есть функционал от множества переменных, часть которых или все находятся в зависимости друг от друга. Невозможно достигнуть оптимальным способом поставленной цели без учёта этих зависимостей. Данное замечание сделано для осознания необходимости привлечения

математического аппарата при формировании сложных комплексных систем.

Действующая сейчас система НБ в области использования атомной энергии формируется, с точки зрения соотношения подчинённости документов между собой, на основе построения иерархических пирамид для отдельных направлений (ядерная и радиационная безопасность, защита от ионизирующего излучения, борьба с чрезвычайными ситуациями и др.). Иерархические пирамиды отдельных направлений построены по принципу: Закон, Постановление Правительства, решения органов государственной власти, стандарты отрасли и предприятий.

Относительно цели, ради достижения которой создаётся НБ. С начала использования атомной энергии в мирных целях и по настоящее время в качестве цели, ради достижения которой создаётся НБ, декларируется обеспечение безопасности объектов использования атомной энергии для персонала, населения и окружающей среды. Остаётся открытым вопрос, насколько существующая система удовлетворяет поставленным задачам и насколько достаточно эффективны результаты ее функционирования. Введение в рассмотрение концепции риска снимает концепцию абсолютной безопасности и связывает усилия, необходимые для достижения приемлемого уровня безопасности, с поиском оптимального сочетания затрат на безопасность и повышением уровня жизни населения. Несмотря на значительные затраты в освоении вероятностного анализа безопасности, как необходимого элемента реализации концепции риска, сегодня нельзя отметить, что существующая НБ заметно трансформировалась в данном направлении. Имеются не обязательные рекомендации методического характера по оценке риска для различного вида объектов атомной энергии. Требуется не превышение вероятности тяжёлых аварий определённых значений, что больше рассматривается как демонстрация заложенных запасов в обеспечении безопасности, а не как определяющий фактор при проектировании.

Затронем вопрос о процедуре подготовки нормативных документов любого вида, входящих в систему НБ. Всё поле документов рассматриваемой системы (условно в виде некоторого квадрата) можно разделить вертикальными линиями, когда каждый образовавшийся столбец определит поле деятельности соответствующего участника разработки НБ (т.е. соответствующую направленность или ведомство). Затем каждый

столбец делится горизонтальными линиями, образующими иерархическую структуру части НБ для каждого участника. Образовавшиеся элементы и есть те многочисленные переменные, о которых говорилось выше при упоминании математической аналогии. Как в сложившейся практике учитывается возможное взаимодействие каждого элемента (документа) с другими? Если нормативными указаниями не определён список исполнителей (что бывает сравнительно редко), разработчик документа по своему усмотрению или по усмотрению руководства выбирает кому (какому другому элементу) посылать на отзыв документ или привлекать его к созданию документа. Привлечение других организаций часто преднамеренно сдерживается из-за нежелания делиться выделенными на разработку документа средствами. Указанные негативные моменты процедуры разработки, относящиеся в той или иной степени к документам разного уровня, вносят свой вклад в проблемы НБ. Система строится не на основе общей продуманной технологии, а на основе субъективных взглядов отдельных лиц и организаций. Как результат – противоречивость, избыточность и недостаточность содержания документов. Имеются сведения [6], что разработан метод формирования комплексов нормативных документов, включающий технологию концептуального проектирования и механизм формирования крупных комплексов взаимосвязанных нормативных документов, основанный на применении компьютерных кодов. Было бы целесообразным апробировать его при усовершенствовании НБ использования атомной энергии.

Рассмотрим другие факторы, создающие проблемы для НБ.

В первую очередь это принятие Федерального закона «О техническом регулировании». Автор не скрывал своё негативное отношение к данному закону с момента его опубликования из-за принципиальной некорректности приравнивания «продукции» и «производства» в едином подходе к декларируемым требованиям [1]. Необоснованное его распространение на обеспечение безопасности опасных производств, в том числе на использование атомной энергии, внесло заметное возмущение в построение нормативной базы опасных отраслей промышленности. Последующие введенные особенности применения данного закона в отношении атомной отрасли не сняли последствий от его действия на НБ и в настоящее время. Наличие на объектах использования атомной энергии оборудования и услуг, не подпадающих под действие правил и норм

по ядерной и радиационной безопасности и необходимость технического регулирования этих видов деятельности, вынуждает иметь на объектах использования атомной энергии две системы контроля: Ростехнадзора и Госкорпорации «Росатом», принявшей на себя функции полномочного органа технического регулирования. Разрабатываемая Росстандартом (ранее Ростехрегулированием) система технического регулирования (сертификация, соответствие, аккредитация и т.п.) сталкивается на объекте использования атомной энергии с системой регулирования ядерной и радиационной безопасности. Ситуация усложняется тем, что Ростехнадзор контролирует и то, и другое. Этот факт вносит дополнительные сложности в разработку НБ.

Несовершенство Федерального закона «О техническом регулировании» проявилось не только в не свойственных ему областях, но и в сфере продукции и услуг общего применения при разработке соответствующих технических регламентов. Принципиальные ошибки в концептуальной сущности данного закона, огромные затраченные деньги и трудности в реализации ограниченного числа уже выпущенных технических регламентов вызвали шквал критических замечаний со всех сторон: депутатов Госдумы [4], активного борца с Законом М.Гельмана [3], других авторов в виде критических статей [2-4] с характерными заголовками. В [5] отражены несколько десятков статей, содержащих критику этого закон с разных позиций. Данные факты подчёркивают трудности внедрения в действующую и обновляемую НБ положений этого закона. Неизвестно, как будут развиваться дальнейшие события при распространении действия Закона в отношении продукции и услуг общего применения, но при регулировании ядерной и радиационной безопасности целесообразно более детально очертить особенности его применения в этой области. Целесообразно ориентироваться на ранее созданную и нуждающуюся в усовершенствовании НБ атомной отрасли и сопутствующих отраслей.

Принятие Федерального закона №294-ФЗ, нацеленного на защиту предприятий среднего и малого бизнеса от коррупции, ослабили позиции регулирования ядерной и радиационной безопасности в части постоянного мониторинга деятельности по обеспечению безопасности на объектах использования атомной энергии и принятию оперативных мер по ликвидации выявляемых нарушений и смягчению их последствий. Ростехнадзор в этой ситуации оказался в двойственном положении –

одна область его деятельности (ядерная и радиационная безопасность) испытывает значительные проблемы из-за действия Федерального закона №294-ФЗ, другая (общепромышленная безопасность), похоже, испытывает меньшие трудности. Но такие особо опасные объекты, как гидроэлектростанции, химические заводы и некоторые другие, должны быть по степени опасности приравнены к объектам использования атомной энергии и к ним также необходим особый подход. Эти обстоятельства необходимо учитывать при создании нормативной базы, касающейся обеспечению безопасности всей техногенной сферы.

Перечисленные проблемы создают атмосферу неудовлетворённости существующей НБ, причём на разных уровнях – от НПБ до нормативно-технических документов. С проблемой упорядочения НПБ вероятно связаны возникшие проработки проекта нового федерального закона «О государственном регулировании ядерной и радиационной безопасности».

На естественно возникающий вопрос – что же делать сейчас и далее? – пока можно однозначно ответить, что быстрых решений здесь быть не может. Слишком много заинтересованных участников и многогранна и консервативна сложившаяся система разработки, применения и усовершенствования НБ отрасли. Необходима целенаправленная постоянная работа, в первую очередь по созданию концепции формирования усовершенствованной системы НБ в области использования атомной энергии. Выдвигаемые различные точечные предложения по упорядочению отдельных частей системы (технические регламенты, своды правил, стандарты и др.) возможно внесут положительные моменты в эти части, но, отражая узкие ведомственные и групповые интересы, в то же время могут усугубить состояние всей системы НБ, поскольку не будут связаны общей концепцией и стратегией. Ситуация может быть схожа с действиями человека, ищущего на ощупь выход в тёмной комнате.

Для осуществления эффективных практических шагов представляется необходимым создание специального межведомственного органа, способного взять на себя заботу о формировании нормативной базы использования атомной энергии. Необходимо отметить, что этот орган должен быть создан для работы на постоянной основе. Разовые поручения группе лиц или каким-либо организациям вряд ли принесут положительные результаты. Обновлённая НБ не может быть неким



застывшим образованием, а должна будет трансформироваться в соответствии с меняющимися условиями. Главной задачей такого органа должно стать создание концепции НБ в области использования атомной энергии, разработка необходимых изменений в действующие законодательные акты, разработка программы модернизации НБ и управление её реализацией, отслеживание выполнения положений концепции при разработке нормативных документов разного направления и разного уровня. Необходимым условием функционирования такого органа должно стать использование современных технологий обработки нормативных текстов с помощью вычислительной техники. Побочной, если не равнозначной, функцией такого органа должно стать формирование и поддержание фонда нормативных документов, способного обеспечивать запросы отечественных и зарубежных потребителей.

В качестве первого шага на пути создания межведомственного органа вероятно будет образование небольшой группы компетентных специалистов для выработки положения о таком органе.

### Литература

1. О. М. Ковалевич. А король-то голый! Ядерная и радиационная безопасность, 4 (41), 2006.
2. М. Бесхмельницын, аудитор Счётной палаты РФ. К чему ведёт неработающий Закон «О техническом регулировании»?
3. М. Гельман. Коллективный поп Гапон во главе лжереформы технического регулирования. АПН, 26.01.11.
4. Федеральный закон «О техническом регулировании» опасен для страны. Открытое письмо депутатов Госдумы и академиков РАН руководителям страны. Промышленные ведомости № 9, специальный выпуск, сентябрь 2006.
5. Почему провалилась реформа технического регулирования? Сборник из 40-ка статей по теме технического регулирования, изд. «Промышленные ведомости», 2010.
6. Метод формирования комплексов нормативных документов. Аналитический центр «Концепт».



## ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И РАСЧЕТЫ

Методы оценки соответствия, январь 2013

К данным, полученным расчетными методами анализа, не могут быть применены основные положения закона об обеспечении единства измерений. Это не позволяет проводить оценку неопределенности получаемых результатов – одного из ключевых этапов обоснования безопасности потенциально опасных объектов. В связи с этим автор указывает на необходимость создания методик и процедур оценки неопределенностей результатов расчетов.

### Формализм метрологии

Одним из видов оценки соответствия являются измерения. Но при создании и введении в эксплуатацию ряда сложных объектов ответы на многие вопросы не могут быть получены путем измерений из-за принципиальной невозможности проведения адекватных экспериментов (опасность эксперимента, экономическая нецелесообразность и т.д.). Эта проблема решается путем применения расчетных методов анализа. Получаемые с их помощью результаты зависят от входных данных, представляющих собой экспериментальные значения свойств используемых веществ и характеристик микропроцессов в рамках рассматриваемых состояний и процессов исследуемого объекта.

Процедура получения корректных измерительных данных регламентируется Федеральным законом № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений». В рамках этого закона сформулированы технические и организационные требования к прямым измерениям<sup>1</sup>, направленные на достижение точности (уменьшение неопределенности) получаемых результатов.

---

<sup>1</sup> Под прямыми измерениями понимаются измерения, при которых искомое значение величины получается непосредственно от средств измерения.

## Неопределенность результатов расчета

Неопределенность результатов, получаемых расчетными методами, зависит от случайных значений входных данных, от корректности математического моделирования состояния объекта и происходящих в нем (объекте) процессов и от методов расчета (в соответствии с возможностями вычислительной техники). Принимаемые допущения в силу незнания или невозможности решить задачу в более корректной постановке вносят свои неопределенности в результаты расчетов.

В работе [1] рассматривается вопрос отнесения расчетов к классу косвенных измерений<sup>2</sup>. В этом случае на расчеты распространились бы все положения 102-ФЗ, что затруднило бы создание соответствующей системы оценки результатов, полученных расчетным путем (оценка соответствия расчетов).

## Аттестация программных средств

В 90-х гг. автором статьи была предложена и создана в НТЦ ЯРБ система аттестации (сертификации) программных средств (САПС), которую можно рассматривать как систему оценки соответствия расчетов (СОСР). В требованиях САПС отсутствуют количественные и качественные показатели, по которым могли бы оцениваться неопределенности результатов проводимых расчетов. Речь идет не о принятии или непринятии результатов расчета (они не должны выходить за принятые предельно допустимые значения), а о критериях достоверности получаемых результатов, т.е. на сколько близка к истине решаемая задача и с какой неопределенностью. Окончательный ответ на этот вопрос может дать только опыт, которым по условиям рассматриваемой задачи исследователь не всегда располагает. Остается единственный путь — назначение критериев соответствия для методов расчета, то есть формирование определенной системы требований к методике и процедуре создания программного средства (ПС), выполнение которых позволит считать, что ПС можно использовать для соответствующих расчетов.

---

<sup>2</sup> Под косвенными измерениями понимаются измерения, полученные с применением расчетных методов.

Подтверждение корректности использованных методов и выполнение необходимых процедур осуществляет назначаемая группа экспертов, которая рекомендует ПС для аттестации (сертификации). Компетентный орган утверждает это решение.

По определенным причинам САПС так и не сформировалась окончательно. Произошло это в какой-то степени по причине, охарактеризованной профессором О.М. Розенталем в [2] как «превращение методологически не обеспеченной оценки соответствия в отрасль, заведомо гарантирующую подтверждение соответствия». Т.е. система работала сама на себя.

Отметим некоторые проблемы системы СОСР, требующие решения:

- создание структуры и процедуры аттестации ПС;
- определение финансовых взаимоотношения между автором ПС, регулирующим органом, привлекаемыми экспертами, пользователями;
- развитие системы справочных данных о свойствах веществ и микропроцессах: указание информации о предполагаемой точности полученных результатов с отражением источника данных;
- проведение исследований по оценке неопределенностей;
- определение взаимоотношений между авторами ПС, пользователями и регулирующим органом по научному и организационному взаимодействию в процессе использования аттестованного ПС.

### **Проблемы оценки неопределенностей результатов расчета**

Возможности математического моделирования в разных областях науки и техники различны. Потому говорить о создании единой СОСР пока рано. Сегодня речь может идти лишь о формировании отраслевых СОСР с разделением их по тематическим направлениям. Например, упомянутая выше САПС в атомной энергетике включает следующие тематические секции: нейтронно-физическую, теплогидравлическую, радиационную, прочности и др. Схожие же тематические направления разных отраслей имеют основания для объединения, поскольку: состояния и процессы описываются одинаковыми системам уравнений; используются схожие методы расчета, экспериментальные данные, процедуры определения корректности используемых методов расчета.

Критериями корректности получаемых результатов расчета являются данные оценки их погрешности и точности (неопределенности).

В соответствии с современными математическими представлениями неопределенность анализа достижения (не достижения) заданных критериев может быть отнесена к одному из двух основных типов: случайному (вероятностному) и нечеткому (теория возможностей, теория нечетких множеств и т.д.). В основе вероятностного подхода (вероятностная неопределенность) лежит случайный характер входных данных. Информация о характеристиках случайных входных данных в виде функции плотности вероятности или ее численных характеристиках формируется на основании соответствующих статистических данных. Поскольку статистическая информации о надежности для систем и элементов новых объектов практически отсутствует, возникает задача адаптации имеющихся данных или принятия новых волевым решением эксперта. К вероятностной неопределенности здесь добавляется субъективная неопределенность, связанная с решением автора. Вероятностные методы оказались малоэффективными в случаях, когда неопределенности неслучайной природы играют решающую роль. Этим объясняется интерес, появившийся в 60—70-х гг. прошлого века к моделям неопределенности, альтернативным вероятностным. Нечеткая неопределенность, т.е. неопределенность, обусловленная ограниченностью наших знаний, относится к категории субъективной неопределенности, поскольку анализ подобных задач основывается на мнении экспертов по отдельным этапам выстраиваемой логической цепочки рассуждений. Нечеткий анализ безопасности, по мнению его сторонников, призван дополнять и расширять возможности традиционных методов оценки надежности, безопасности и риска и служить для сравнения результатов анализов. Однако такой подход еще в большей степени не вписывается в классическую теорию измерений.

### Литература

1. Никифоров Н.В., Шевченко В.М. Единство атомных измерений. // Методы оценки соответствия. – 2012. – № 7. – С. 10 – 13.
2. Розенталь О.М. Велик ли «метрологический след» ошибочной оценки соответствия в катастрофах и авариях. // Методы оценки соответствия. – 2012 – № 7. – С. 1.



## АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРИ РАССМОТРЕНИИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ

(Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, №3, 2013)

### Введение

Двадцатый век, ознаменовавшийся использованием ядерной энергией и освоением космоса, потребовал наряду с экспериментальным обоснованием принимаемых технических решений колоссального увеличения расчётных обоснований. Ответы на многие необходимые вопросы для создания новых объектов и их функционирования не могли быть получены экспериментальным путём из-за принципиальной невозможности проведения адекватных экспериментов, их безопасности и несоизмеримости с экономическими возможностями. Потребовалось развитие расчётных методов анализа состояния сложных технических объектов и протекающих в них процессах, что потребовало создание соответствующей вычислительной техники. Получаемые с помощью расчётных методов результаты зависят от имеющихся экспериментальных данных о свойствах используемых веществ и информации о характеристиках микропроцессов внутри основного рассматриваемого процесса. Имеющиеся экспериментальные данные как правило согласно метрологии и теории измерений носит вероятностный характер с принятыми для теории вероятности характеристиками неопределённостей. Надёжность получаемых расчётным путём результатов кроме случайных значений входных данных зависит также от корректности математического моделирования состояния объекта и происходящих в нём процессов, а также от методов расчёта в соответствии с возможностями вычислительной техники. Принимаемые допущения в силу незнания или невозможности решить задачу в более корректной постановке вносят свои неопределённости в результаты.

Разработка крупных инвестиционных проектов с использованием критически важных объектов (КВО) является необходимым условием технического прогресса и развития производительных сил общества. Действительный прогресс должен обеспечивать развитие производительных сил общества при надлежащем обеспечении

безопасности для человека и окружающей среды. Стремление к абсолютной безопасности КВО, т.е. стремление свести к нулю риски от их воздействия на человека и окружающую среду, в принципе не возможно и не нужно. Необходимы поиски оптимальных решений между обеспечением безопасности и обеспечения качества жизни человека за счёт пользы от применения новых технологий и затрат на обеспечение их приемлемой безопасности [1,2].

Информация о предполагаемой неопределённости (точности и погрешности в другой интерпретации) результатов, получаемых с помощью расчётов и экспериментов, является необходимым условием для категорирования крупных инвестиционных проектов. Не обладая адекватной информацией о точности наших знаний по состояниям и процессам сооружаемых потенциально опасных объектов, мы рискуем быть подвержены авариям и катастрофам типа Чернобыльской, Саяно-Шушенской, Фукусима. Стремление обезопасить себя за счёт принятия в расчётах и при сооружении сверх больших запасов приводит к сдерживанию экономического роста страны и, как следствие, снижению качества жизни человека.

Проблемы, связанные с погрешностями и неопределённостями (ПИН), могут проявиться в расследовании причин техногенных аварий и поиски виновных[3], хотя этого аспекта в настоящее время похоже не касаются. В Уголовном Кодексе РФ предусмотрена ответственность за нарушение правил безопасности. Поскольку не оговаривается, что принимать за правила безопасности во всем многообразии нормативно-правовой и нормативно-технической документации, возможна в принципе реализация аварий при формальном соблюдении правил безопасности, когда правила не нарушены, но параметры, характеризующие состояние системы из-за неопределённостей вышли за рамки установленных значений [3]. Также проблемы ПИН сказываются в организации страхового дела, когда возможна не однозначная трактовка страхового случая и произошедшего события в договоре о страховании с необоснованной ссылкой на форсмажорные обстоятельства.

В процессе изложения материала приходится сталкиваться с разными акцентами толкования понятия риск. Семантическое толкование риска как опасность чего-либо в отдельных отраслях трактуется либо как вероятность возможных негативных событий, либо как неприемлемый масштаб возможных нежелательных последствий. Разные

направления ставят во главу своей деятельности ту или другую составляющую, называя это риском[2]. В техногенной сфере в контексте с обеспечением безопасности учитывают вероятность и последствия в виде их произведения. Наряду с классическим определением риска в теории вероятности как безразмерной величины на практике под понятием риск иногда используют величину риска в единицу времени (частота). Классическое понятие риск в этом случае есть произведение частоты на рассматриваемое время или время жизни объекта.

### **Критерии эффективности**

Для определения эффективности крупных инвестиционных проектов, разработки и совершенствования междисциплинарных научных исследований по вопросам их категорирования необходимо в первую очередь определиться с критериями эффективности. От выбора таких критериев зависят круг затрагиваемых научных и технических проблем, области применения предлагаемой методологии, необходимая информация и финансовые ресурсы для её разработки. Важным элементом разработки такой методологии является прогнозируемые сроки действия результатов анализа. Все указанные факторы влияют на неопределённость результатов анализа и требуют разработки соответствующих подходов.

Можно предложить по крайней мере четыре широко обсуждаемых критерия эффективности крупных инвестиционных проектов: экономические показатели (ЭП), безопасность населения и окружающей среды (Б), риски (Р) (индивидуальные, коллективные, экологические), качество человеческой жизни (КЧЖ). Первые два показателя находятся в противоречии друг с другом.

Оптимальные решения ищут при заданных ограничениях по допустимому риску. Показатель КЧЖ учитывает все три предшествующих показателя. Анализ всех показателей зависит от задаваемых сроков прогнозирования, т.к. с увеличением сроков уменьшается надёжность используемой информации.

Критерием экономических показателей является окупаемость вложенных средств на исследования, сооружения и эксплуатацию в заданный период времени (время жизни). Риском относительно ЭП является не достижение планируемых экономических показателей. Критерием безопасности Б являются приемлемые уровни негативного



воздействия на человека и окружающую среду. Достижение этих уровней в техногенной сфере обусловлено наличием некоторых видов основ (направлений) деятельности (правовой, научно-технической, экономической, управляющей, человеческого фактора) [2]. Каждая из этих основ является научной дисциплиной с определённым уровнем развития и неопределённостью получаемых результатов.

Критерии риска подразумевают вероятности и последствия возможных событий на объекте. Информация о вероятности природных событий на долгосрочный период носит в основном вероятностный характер и зависит от накопленных статистических данных. Научное прогнозирование возможных земных или космических воздействий носит большие неопределенности. Вероятности техногенных событий на объектах, а также способность объектов противостоять техногенным и природным воздействиям, определяющей величину последствий, зависят от накопленных статистических данных и накопленных знаний по возможности прогнозировать происходящие при этом процессы.

Проблема КЧЖ охватывает множество социальных, экономических, психологических и политических проблем и в настоящее время не сформулированы, по мнению автора, чёткие количественные и качественные критерии.

### **Источники и виды неопределённости**

Сложность системы и точность, с которой её можно описать и проанализировать освоенной наукой и техникой методами, находятся в противоречии. Чем сложнее система, тем меньше наши возможности точно предсказать её поведение в многочисленных точках фазового пространства её возможного состояния, т.е. имеем дело с неопределённостью значений параметров, характеризующих её состояние. Неопределённость, характеризующих состояние системы параметров, может быть обусловлена неопределённостью параметров, формирующих состояние системы в начальный момент (т.н. входные параметры). Случайный характер значений большинства входных параметров переносится на случайный характер и неопределённость поведения системы. Следующим фактором является недостаток наших знаний (скудных знаний) о протекающих в системе процессах и необходимость использовать различные допущения и приближения. Первый фактор

обуславливает применение теории вероятности как методология случайных величин и процессов.

Недостаточность наших знаний о состояниях и процессах на новых объектах инфраструктурного проекта является основным фактором возникновения неопределённостей. Возможность натуральных экспериментальных исследований ограничена по экономическим соображениям и часто проведение таких исследований небезопасно. Длительный отрезок времени для выявления всех эффектов накладывает свои неопределённости. Выходом является развитие теоретических и расчётных методов исследования. Оценка неопределённостей получаемых результатов в этом случае есть задача не менее сложная, чем получение самих результатов.

В соответствии с современными математическими представлениями неопределённость анализа достижения (не достижения) заданных критериев эффективности может быть отнесена к одному из двух основных типов: случайному (вероятностному) и нечёткому (теория возможностей, теория нечётких множеств и др.).

В основе вероятностного подхода (вероятностная неопределённость) лежит случайный характер входных данных, определяющих состояние и процессы объекта. Информация о характеристиках случайных входных данных в виде функции плотности вероятности или её численных характеристиках формируется на основании соответствующих статистических данных. Поскольку статистические данные по надёжности для систем и элементов объектов новых инфраструктурных проектов практически отсутствуют, возникает задача адаптации имеющихся данных для подобных систем и элементов действующих объектов. Процесс формирования необходимой базы данных наряду с имеющейся статистической информацией носит также волевой экспертный характер. К вероятностной неопределённости здесь добавляется субъективная неопределённость, связанная с решениями экспертов.

На практике, как правило, независимо от реального характера входной информации, предполагают её случайный характер что обуславливает использование теории вероятности как базовой теории для выражения неопределённости.

Нечёткая неопределённость, т.е. неопределённость, обусловленная ограниченностью наших знаний, относится к категории субъективной неопределённости, поскольку анализ подобных задач основывается на,

мнении экспертов по отдельным этапам выстраиваемой логической цепочки рассуждений.

### Матрица риска

Классическое определение риска предусматривает произведение вероятностей нежелательных событий и связанных с этими событиями негативными последствиями. При этом маловероятные события с большими последствиями и события с большими вероятностями, но с малыми последствиями могут вносить сравнимый вклад в суммарную величину риска. Данное обстоятельство может привести к недооценке риска от отдельных сценариев, а также не позволяет дифференцировать разное отношение разных игроков к величине вероятности события и к величине последствий. Матрица риска позволяет сравнивать и регламентировать события с разными величинами вероятностей и последствий.

Соответствующая матрица риска приведена на рис. 1.

Вероятность	3-1	3-2	3-3	Обл. 3
	2-1	2-2	2.3	2
	1-1	1-2	1-3	1
	Зона 1 (П/А «1)	Зона 2 (П/А ~1)	Зона 3 (П/А» 1)	

ПОСЛЕДСТВИЯ (Относительные единицы П/А)

Рис.1. Элементы матрицы риска для выбора отношения к риску.

Область 1 – большие вероятности (~1)

Область 2 – заметные вероятности (~10<sup>-2</sup>)

Область 3 – ничтожно малые вероятности (~10<sup>-6</sup>)

Негативные последствия П (горизонтальная ось) будем измерять не в неких абсолютных единицах, а в отношении к некоторому критическому для данного игрока показателю А. Для государства в качестве величины А может являться ВВП, бюджет, финансирование отдельной отрасли и т.п. Выбор указанной величины зависит от масштабности рассматриваемого проекта в рамках государства. Для корпорации(концерна, компании) в качестве А могут быть приняты её активы (последствия

такого масштаба приводят к разорению) или годовой доход, годовая прибыль и т.п. Для физического лица критерием для выбора А является его финансовое состояние, желание существенно его приумножить, отсутствие страха потерять всё.

Горизонтальную ось матрицы разделим на три зоны(столбца):

1 – П/А « 1; 2 – П/А ~ 1; 3 – П/А » 1.

Вертикальная ось матрицы представляет вероятность события Р, разделённая также на три зоны (строки), отражающие приемлемость реализации события относительно значения вероятности:

Область 3 – ничтожно малая вероятность.

Область 2 – заметная вероятность.

Область 1 – большая вероятность.

Отнесение события к той или иной зоне есть процедура не абсолютная и не однозначная, а определяется уровнем наших знаний и опасностью исходя из опыта. На рис.1 представлен масштаб присущих данной зоне вероятностей исходя из существующей практики.

Каждый элемент такой матрицы, привязанный к конкретному игроку соответствующей группы, определяет приемлемую область риска для данного игрока в намечаемых им действиях. Разные области риска могут иметь разные подходы и соответственно разные подходы к оценке неопределённостей. На стадии предварительного анализа проекта необходимо оценить масштаб приемлемых показателей риска и определить место предполагаемого проекта в поле матрицы риска(элемент матрицы риска). Тогда же необходимо ориентировочно оценить границы выбранного элемента матрицы. В рамках выбранных границ должен происходить анализ возможных альтернатив в поисках оптимального варианта и соответствующая оценка неопределённостей. Заядлый картёжный игрок работает в зоне больших вероятностей (область1), смещаясь к крупным выигрышам (проигрышам) в зависимости от своего темперамента (тренд на правый нижний угол матрицы). Государство должно отдавать предпочтение зоне ничтожно малой вероятности (область 3) с ограниченными последствиями (тренд на левый верхний угол матрицы).

### **Методы оценки неопределённостей**

Указанные выше виды неопределённостей(вероятностная и субъективная) имеют соответствующие подходы к оценке показателей неопределённостей.

При всех различиях в математических аппаратах, применяемых либо предлагаемых к применению в оценках риска, наиболее существенным является наличие или отсутствие априорных знаний о существовании, взаимосвязи и количественных оценках вероятности или нормированной возможности проявления нежелательных событий. Носители априорных знаний – эксперты – при построении моделей для количественной оценки риска должны располагать математическим аппаратом, позволяющим учитывать неопределенности вследствие неполноты знаний. При этом применяемый математический аппарат не должен привносить дополнительных неопределенностей, связанных с субъективным выбором одного или другого варианта агрегирования величины события и меры возможности его проявления, на чем настаивают сторонники «нечёткого анализа безопасности».

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) по своей сути нацелен на определение вероятностей развития всевозможных процессов (сценариев) на объекте при задаваемых исходных событиях. Как и вероятность исходных событий, так и вероятности развития инициированного процесса являются предметом анализа ВАБ. Параллельно идёт анализ состояний объекта, включая заданное конечное состояние, определяющее последствия. На выходе ВАБ представляется функция распределения вероятности определённых последствий или численные характеристики такого распределения. Характеристикой вероятностной неопределённости является дисперсия  $\sigma$  такого распределения или среднеквадратичное отклонение  $\Delta = \sqrt{\sigma}$ , отражающие усреднённое значение возможных отклонений величины последствий от математического ожидания  $M$ . Чем меньше отношение  $\Delta/M$ , тем меньше неопределённость возможной величины последствий. Неопределённость вероятности заданного последствия определяется функциями плотности вероятности исходного события и функциями плотности вероятности срабатывания систем объекта, воздействующих на развитие процесса, если они имеют зависящие от вероятности параметры.

Вероятностные методы оказались малоэффективными в случаях, когда неопределенности неслучайной природы играют решающую роль. Этим объясняется интерес, появившийся в 60 – 70 годах прошлого века к моделям неопределенности, альтернативным вероятностным. К их числу можно отнести субъективную вероятность, верхние и нижние вероятности, а также возможность подхода А.Заде, базирующегося на

его теории нечётких множеств. В соответствии с современными математическими представлениями неопределенность измерений может быть отнесена к одному из двух основных типов: случайному (вероятностному) и нечеткому (например, теории возможностей).

Нечёткий анализ безопасности, по мнению его сторонников, призван дополнять и расширять возможности традиционных методов оценки надёжности, безопасности и риска, а также служить базой сравнения результатов анализов.

Однако сравнение результатов анализов имеет смысл, если эти результаты представлены в виде численного интервала ожидаемых значений «от-до» с определенной доверительной вероятностью. Если мера «нечеткости» отсутствует, то «нечёткий анализ безопасности», например, в терминах «больше-меньше», «лучше-хуже» не приносит новых знаний. Таким образом, «нечеткий анализ» должен включать в себя определение «меры нечеткости».

Основой количественных оценок риска является априорная информация о частоте, или вероятности проявления исходных событий. Очевидно, что применительно к редким событиям вид функции распределения плотности вероятности исходных событий не может быть определен, что практически исключает возможность определения плотности вероятности результирующего события, в том числе, с применением метода Монте-Карло, требующего задания функции плотности вероятности всех исходных событий.

## Принятие решения

Невозможно предложить какой-либо универсальный метод принятия решений при наличии неопределённостей для крупных инфраструктурных проектов в масштабе государства. Совокупность затрагиваемых конкретным проектом областей деятельности и связанных с этим научных дисциплин, где существует различный уровень наших представлений о существе и взаимосвязи характерных процессов, не позволяет обозначить единый подход. Можно сформулировать некоторые общие принципы, которыми следует руководствоваться при анализе и квалификации альтернативных проектов.

1. В первую очередь необходимо определиться с критерием эффективности инфраструктурных проектов, подлежащих анализу. Важно,

чтобы они были направлены на единую цель и охватывали бы достаточно близкие области науки и техники. Существенное различие в этих компонентах приведет к разному уровню развитой технологии для анализа и не адекватности получаемых данных для сравнения.

2. Необходимо определиться, в каком элементе матрицы риска согласно рис.1 целесообразно проводить анализ, т.е. на какие относительные риски мы готовы пойти в случае не достижения поставленной экономической цели или возникновения чрезвычайных событий. Для государственных проектов возможный ущерб от последствий не должен приводить к нарушению экономического состояния государства, т.е. относительная величина последствий должна быть меньше или существенно меньше единицы.

3. Два возможных, предельно разных на первый взгляд подхода, вероятностный (статистический) и нечёткий, при практическом использовании имеют общие черты. Оба из них должны оперировать вероятностью как одной из составляющих риска. Разница состоит в чётком количественном выражении в первом случае и в качественном обозначении во втором («да» – «нет», «высокая» – «низкая» и т.п.). Отсутствие большей части статистической информации для новых объектов и необходимость принимать волевые экспертные решения по использованию имеющейся информации сближает оба подхода. Поэтому для более обоснованного принятия решения надо пытаться использовать все имеющиеся инструменты. Принятие окончательного решения на основе различных частных решений есть задача более высокого порядка.

4. Для принятия решения в условиях неопределённости необходимо представлять себе масштаб располагаемой неопределённости по рассматриваемой проблеме. Нельзя принимать решение, если ничего не известно об объекте рассмотрения (полная неопределённость). Необходимо иметь критерии о масштабе (показатели, характеристики) неопределённостей, когда можно говорить о принятии решения.

5. Вероятностный подход в случае его реализации позволяет иметь на выходе функцию плотности вероятности возможных последствий. Неопределённости в данном случае характеризуются среднеквадратичным отклонением  $\Delta$  от математического ожидания  $M$ . Критерием оценки масштаба неопределённости может быть величина  $\Delta/M$ . Приемлемым можно считать условие  $\Delta/M \ll 1$ .

6. Необходимо анализировать неопределённости как расчётных (экспериментальных) получаемых значений параметров состояния объекта, так и неопределённости принимаемых допустимых (предельных) значений и возможное расхождение реализуемых и допустимых значений [3]. Принимаемые значения коэффициента запаса не могут полностью исключить возможность выхода случайных значений эксплуатационных параметров за случайные значения допустимых параметров. Это обстоятельство увеличивает неопределённости при принятии решений.

7. Для нечёткого подхода оценка показателей риска происходит с применением математического аппарата нечёткой логики. Но здесь мы имеем дело не с количественными показателями, отражающими реальную действительность, а с некоторыми качественными, возможно приобретающими количественную форму в интерпретации привлекаемых экспертов. Можно было бы построить функции плотности вероятности для входных данных путём опроса большого количестве экспертов по каждому возможному значению параметра и на этой основе получать функцию плотности вероятности на выходе и оценивать масштаб неопределённости.

## Литература

1. Шевелёв Я.В., Клименко А.В. Эффективная экономика ядерного топливного энергетического комплекса. М. Энергия, 1996.
2. Ковалевич О.М. Безопасность в техногенной сфере. М. Издательский дом МЭИ, 2011.
3. Ковалевич О.М. Совершенство правил безопасности с точки зрения ответственности за их нарушение. ПБЧС, №4, 2011.





## КТО И ЧТО ГОВОРИТ О БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

(ProAtom 24/05/12)

Статья А.Н. Румянцева « О вере в безопасность ядерной энергетики» ( PRoAtom, [19/04/2012]) вызвала около 50 комментариев с большим диапазоном затронутых вопросов. Автор данной статьи в основном согласен с АНР и неоднократно обсуждал с ним проблему погрешностей и неопределённостей при обосновании безопасности [1].

Кроме затронутых АНР вопросов не меньший интерес представляют отклики гостей, поскольку они дают характерный срез взглядов определённой группы специалистов на проблему безопасности атомных станций в целом и на вероятностный анализ безопасности (ВАБ). Кто стоит за высказавшимися гостями – по возрасту, месту работы, должности и т.п.? К сожалению, информация об этом отсутствует, хотя некоторые подписываются.. Можно предположить, что это не юноши (в комментариях одного из гостей), а достаточно знакомые с затронутой проблемой специалисты.

Осмелюсь утверждать, что это в большинстве своём люди в за или пред пенсионного возраста, не занимающие сейчас высоких должностей, для которых решению вопросов ядерной энергетики были отданы прошлые годы. Это обстоятельство вероятно определяет критический настрой комментариев. Можно назвать эту группу людей группой рассерженных и озабоченных.

Среди этой группы нет «специалистов в ядерной энергетике, имеющих возможность доводить свои выводы и рекомендации до государственных лиц, принимающих решение» (в кавычках текст АНР; в обращении к этим ответственным людям заключается направленность статьи АНР). Также могу предположить, что среди группы гостей нет руководителей ведущих организаций отрасли (руководящие люди), где формируется отношение к затронутым вопросам в практической деятельности по развитию ядерной энергетики и чьё мнение должно влиять на мнение группы ответственных людей.

Наблюдаем обычную картину отношения к критическим высказываниям, созвучную с восточной поговоркой: собака лает, караван идёт.

Похоже, что ответственные и руководящие люди отрасли «знают что-то, чего не знаем мы», как поётся в известной песне матери о переживаниях дочери ( хотя умудрённая жизнью мать знает, что может беспокоить дочь). Но почему – то ответственные и руководящие не хотят об этом говорить с рассерженными и озабоченными. Либо не знают, что сказать, либо им не до этого, т.к. вектор их внимания направлен в другую сторону. Д.А. Медведев организует « открытое правительство». Идут разговоры о создании общественных советов при министерствах. Почему в Росатоме и в Ростехнадзоре, вместе или отдельно, не создать нечто подобное, чтобы хотя бы был открытый диалог между разными группами? Не по установившейся командно–приказной системе, а по научно-техническим критериям с независимой системой от действующей управляющей структурой отрасли. Денег на это много не потребуется, а польза будет. По крайней мере, государственные лица, принимающие решения, смогут иметь возможность ознакомиться с точками зрения не только ответственных людей, а ответственные люди опираться не только на официальную точку зрения руководителей организаций. И люди, не относящиеся к ответственным и руководящим, будут иметь возможность получать ответы на беспокоящих их вопросы. Пропагандист идей рассерженных и озабоченных людей уже есть – ProAtom, остаётся найти организатора.

Безопасность не даётся даром. Затраченные дополнительные деньги на предотвращение нарушений и на создание систем безопасности вносят существенный вклад в стоимость атомных станций и вырабатываемую электроэнергию. Это сказывается на экономическую эффективность АЭС в их конкуренции с другими источниками энергии. Статьи Б.И.Нигматулина по экономическим показателям АЭС ставят много вопросов по их эффективности сейчас и в будущем. Открытых ответов на эти вопросы также не наблюдается. Как-то не с руки серьёзно думать о безопасности, если не ясны экономические рамки. Какую добавку в стоимости АЭС за счёт дальнейшего повышения безопасности можно позволить? Нынешние голоса из Росатома и Концерна говорят, что итак слишком много избыточных требований, т.е. надо не прибавлять, а уменьшать расходы. Где надо прибавлять, а где можно убавить – основной вопрос после Фукусимы. Ясного ответа нет и гостям ещё представиться возможность поработать. Таким образом, вопрос «верить или не верить в безопасность АЭС» трансформируется в вопрос: есть ли, надо ли и готовы ли тратить дополнительные деньги на безопасность.

Относительно широко прозвучавшей в комментариях тема ВАБ – задачи и возможности. Похоже, что сейчас все признают, что задачи и возможности ВАБ были сильно преувеличены. Считать, что на основании результатов ВАБ блок АЭС является безопасным – утопия из-за целого ряда причин (отсутствие адекватных данных по надёжности, не независимость отказов, отсутствие информации по физико-химическим процессам на возможных путях развития аварии, возможность применения положений теории вероятности к системам человек-машина и др.).

Как сейчас получают информацию о ВАБ какого-либо блока? Задаются принятыми исходными событиями с практически оговорёнными вероятностями, моделируют на пальцах возможные сценарии развития процесса, из всех источников берут данные по надёжности систем и элементов и вычисляют вероятности отказов систем безопасности для рассматриваемого блока. Также умозрительно оценивают параметры протекания процесса и конечного состояния (последствия). Если сравнить при этом масштаб исследований и затрачиваемые трудозатраты, то это ни в какие сравнения не идёт с масштабом и качеством исследований, проводимых генеральным конструктором, научным руководителем и проектантом для обоснования работоспособности и обеспечения безопасности в канонических рамках нормальной эксплуатации и проектных аварий. Понимая недостаток используемой и получаемой информации, добросовестные разработчики ВАБ начинают оценивать погрешности и неопределённости полученных результатов (хотя некоторые авторы без зазрения совести выдают три знака в полученной машиной цифре). Желаемая при ВАБ цифра среднеожидаемое значение и дисперсия есть продукт одной и той же приближённой технологии и к ним соответствующее доверие.

Не надо фетишизировать конечный результат ВАБ – вероятность какого-либо конечного состояния. Важен не результат, а процесс, при котором познаются внутренние свойства объекта, его слабые места и имеется возможность сделать его менее уязвимым и более живучим. Но для этого необходимы устоявшаяся конструкция объекта, данные по эксплуатации и соответствующие усилия и затраты. По мнению одного из гостей процесс получения результатов ВАБ должен быть итерационным. Более или менее приемлемый результат ВАБ вероятно можно иметь к концу срока жизни объекта. Но при этом возникает крамольный вопрос, а зачем он вообще тогда нужен? В этом отношении бессмысленно

говорить о ВАБ новых предлагаемых проектах АЭС при отсутствии конструкторских и проектных проработок.

На повестке дня пересмотр ОПБ АС 88/97. В НТЦ ЯРБ был проведён семинар с целью выяснения настроения трудящихся, что надо менять и дополнять. Получен и обработан обширный материал по предложениям принявших участие организаций и специалистов. Памятная записка была разослана по участвующим организациям. Часть вопросов, поднятых АНР и в комментариях, нашла отражение в предложениях. Дальнейшая работа над новой редакцией ОПБ АС есть поле для обсуждения возможного изменения отношения к ВАБ в нужную сторону.

Относительно погрешностей и неопределённостей. Можно говорить о неопределённостях результатов ВАБ и пытаться вычислять их. В силу используемых сегодня технологий анализа ВАБ априори невозможно получить приемлемые неопределённости результатов и использовать эти результаты как доказательство безопасности блока.

Но есть другая, более важная область, когда необходимо проводить анализ неопределённостей – это режимы нормальной эксплуатации и проектных аварий, где и обеспечивается реальная безопасность. Задача это далеко не простая, поскольку в основном обоснование безопасности происходит с помощью математического моделирования режимов и процессов. Состояние с уровнем и качеством самого моделирования, как отмечает АНР и некоторые комментарии, оставляет желать лучшего. Тем более проблема практически не решена для анализа неопределённостей результатов моделирования. Уже более десятка лет НТЦ ЯРБ при аттестации программных средств (ПС) пытается добиться от их разработчиков отражения в ПС вопросов погрешностей и неопределённостей получаемых результатов. Какого – либо существенного сдвига не отмечается.

Отметим ещё один важный момент. Дисперсия используемых в проекте блока значений важных для безопасности параметров взаимодействует с дисперсией принимаемых допустимых значений этих же параметров. Авария может произойти за счёт наложения возможных значений тех и других вне принимаемых в проекте средних значений. Используемые коэффициенты запаса могут только уменьшить вероятность такого наложения, но не исключить его полностью [2]. Данное обстоятельство может привести к коллизии в юридической стороне вопроса об ответственности за аварию согласно

Уголовному Кодексу (нарушение правил безопасности), т.к. авария может произойти без формального нарушения правил [2]. В качестве реагирования на такую ситуацию в предложениях по новой редакции ОПБ АС имеется пункт о необходимости представлять в обосновывающих безопасности материалах информацию о погрешностях и неопределённостях. Как для используемых в проекте значений важных для безопасности показателей, так и для принимаемых их допустимых значений. Остаётся совсем немного – научиться определять эти погрешности и неопределённости и определиться с подходом их использования. Поскольку дисперсия имеется всегда у значения любого параметра, не учитывать это значит обрекать нас либо на большую вероятность аварии, либо на не обоснованные завышенные коэффициенты запаса.

Главный вопрос, поставленный АНР – верить или не верить в безопасность ядерной энергетики? Можно во что-то верить, когда все имеющие отношение к этому объединены одной целью и направленностью действий. Если в рядах атакующих проблему есть люди с совершенно другими интересами или не понимающие, куда надо идти – трудно сказать, как ляжет фишка.

## Литература

1. Ковалевич О.М., Румянцев А.Н. Необходимые аспекты решения проблемы погрешностей и неопределённостей. Ядерная и радиационная безопасность, № 4(54), 2009.
2. Ковалевич О.М. Совершенство правил безопасности с точки зрения ответственности за их нарушение. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, № 4, 2011.



## ОТНОСИТЕЛЬНО НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

(ProAtom 30/10/2013)

В журнале Ядерная и радиационная безопасность опубликована статья на затронутую тему [1]. Проблема эта существует давно [2], но вероятно только последние события вынудили авторов [1] обозначить своё понимание состояния проблемы и дальнейших действий.

Авторы в силу своего положения видят проблему только в области Федеральных норм и правил (ФНП) и других документов в сфере деятельности Ростехнадзора, не рассматривая всю систему нормативных документов, включающую на порядки большее количество нормативных документов промышленности и стандартизации. Выполнение ФНП есть необходимое условие обеспечения безопасности объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), но далеко не достаточное. Как признают авторы, существующая структура ФНП является двухуровневой. Первый уровень определяет основополагающие цели, принципы и общие требования. Второй уровень касается требований к отдельным системам, к отдельным этапам жизненного цикла и специфическим проблемам. Такое смешение сложилось исторически при создании первой редакции ОПБ АС, когда было необходимо обозначить основные требования к важным для безопасности системам АС. Разрабатываемые позже ОПБ для других ОИАЭ повторяли ОПБ АС в части основополагающих требований с разной степенью освещения специфических требований. Требования, относящиеся ко второму уровню в ФНП, в значительной степени развиваются в нормативных документах промышленности и стандартизации. Роль этих документов промышленности была и есть существенной, если не определяющей, особенно для ОИАЭ, связанных с оборонными целями. Примером может быть Указатель Росатомэнерго [3], содержащий около 2500 документов. Разделение на государственном уровне контроля за выполнением требований ФНП за регулируемыми органами и промышленных требований за органами управления промышленностью, когда каждый в основном опирается на свой набор документов, естественно ставит вопрос о полноте, непротиворечивости, избыточности и т.п. всей системы нормативных документов, включающей и то, и другое. Существующая практика разработки и согласования

обоих видов документов не всегда обеспечивает взаимосвязь документов разного уровня и следовательно качество всей системы.

В рамках семинара в НТЦ ЯРБ «Научно-технические проблемы и регулирующая деятельность» в 2011-2013 было проведено ряд заседаний, посвящённых полноте и совместимости нормирования отдельных тематических направлений на разных уровнях (направленность новой редакции ОПБ АС, метрология и измерения, управляющие системы безопасности и др.). Отмечалось неполнота нормирования, некорректность отдельных положений, разрыв между документами разного уровня и разных ведомств.

Проблема разработки такой системы является сложной из-за большого количества документов, узаконенной деятельности различных государственных структур с выпуском специфических документов, отсутствие эффективной координации их деятельности. Могут быть предложены различные модели построения такой системы. Но любая из них должна, во-первых, учитывать многообразие показателей, определяющих документ с различных сторон (статус, принадлежность, область применения, степень обязательности, связь с другими документами и др.). Вторым неизбежным условием, возможно не начальной стадии, является создание компьютерной модели системы. При всём многообразии требований даже для одного типа ОИАЭ проследить их взаимосвязь в различных документах с помощью специалистов на бумажных носителях качественно не представляется возможным. Кроме того, необходимо учитывать демографический фактор. Основой нормативных документов является накопленный опыт в соответствующих отраслях и направлениях науки и техники. Накопленный опыт оседает в головах специалистов по мере накопления этого опыта. Неизбежная замена старых специалистов молодежью создаст проблему использования накопленного опыта в классических бумажных формах передачи информации. Трудно себе представить подрастающих молодых специалистов, готовых осваивать, поддерживать и развивать систему без использования компьютеров. Необходимо использовать накопленный опыт сложившихся специалистов и компьютерный потенциал молодёжи.

Авторы статьи [1] дальнейшее развитие и «актуализацию» нормативной базы видят в пересмотре действующих документов и разработке ряда новых ФНП. При отсутствии концепции построения всей системы и спорадической разработке новых документов к уже имеющимся

негативным моментам будут добавляться новые. Реализуемая разработка адекватной новой редакции ОПБ АС невозможна без определения места этого документа в системе, а определить место в системе можно только после конструирования самой системы.

Последние законодательные акты и постановления Правительства подталкивают к необходимости задуматься о концепции формирования системы. Узаконенное понятие руководство по безопасности и их разработка требует осмысления перечня необходимых документов этого вида, их соотношения со всеми документами системы, отношение к альтернативным решениям заявителя. Включение нормирования промышленной безопасности для ОИАЭ в сферу ФНП в области использования атомной энергии требует определения ниши для этих документов в системе. Есть опасения, что это новшество, хотя и вывело атомную отрасль из сферы действия технических регламентов по промышленной безопасности, создаст новые трудности из-за необходимости вести нормативно-техническую политику параллельно с основной линией этого направления в государстве. Также требует осмысления места в системе обязательных требований к продукции, применяемой на ОИАЭ (под продукцией понимается виды деятельности на всех этапах жизненного цикла ОИАЭ). Аналогичная проблема возникает с необходимостью формирования перечня документов по стандартизации, которые будут применяться на обязательной основе.

Приведённые факты наполнения комплекса нормативных документов для обеспечения безопасности ОИАЭ разноплановыми документами говорят о существенном возмущении сложившегося представления об обязательности применения только документов ФНП, о рекомендательном статусе стандартов, о роли всех участников процесса. Всё это диктует необходимость построения продуманной системы нормативных документов в области использования атомной энергии с возможностью применения компьютерной технологии для формирования, анализа и поддержания системы. Заинтересованным организациям (Росатом, и Ростехнадзор и другие) следует объединить свои усилия в разработке системы с созданием специальной программы и специальной структуры для её реализации. Возможный методический подход к созданию такой системы изложен в [4].



## Литература

1. Беззубцев В.С., Хамаза А.А., Шарафутдинов Р.Б. Развитие нормативной базы, регламентирующей обеспечение безопасности в области использования атомной энергии. Ядерная и радиационная безопасность. №3(69), 2013.

2. Ковалевич О.М. К упорядочению нормативной базы использования атомной энергии идём на ощупь. ProAtom. 16/02/11.

3. УКАЗАТЕЛЬ технических документов, регламентирующих обеспечение безопасной эксплуатации энергоблоков АС (обязательных и рекомендуемых к использованию). ОАО «Концерн Росэнергоатом». МОСКВА 2010.

4. Ковалевич О.М. Система нормативных документов по обеспечению безопасности атомных станций. В редакции журнала Атомная энергия.



## СОВЕРШЕНСТВО ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ИХ НАРУШЕНИЕ

(Проблемы безопасности и  
чрезвычайных ситуаций, № 4 2011)

Не может идти речь об обеспечении безопасности на потенциально опасных объектах без ответственности за аварии на таких объектах. Ответственность за правонарушения (нарушения действующих законодательных и иных нормативных правовых актов, включая федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии), приведшие к аварии, может быть административной или уголовной. Ответственность за имущественный ущерб, причиненный такой аварией – это гражданско-правовая ответственность, которая может реализовываться через механизм страхования ответственности за причинённый ущерб третьим лицам и через решения суда независимо от системы страхования. Мы затронем уголовную ответственность, наступающую в соответствии с Уголовным кодексом РФ. Административная ответственность отличается от уголовной тяжестью правонарушения и, соответственно, видом наказания за его совершение, но не причинами произошедшего, поэтому мы не будем этого касаться.

Факт серьёзной аварии не остаётся без внимания органов правосудия и иных компетентных органов, призванных найти виновных, если они есть, и определить наказание. Формально наличие состава преступления может быть доказано, если доказано невыполнение положений определённых нормативных документов, регламентирующих безопасность затрагиваемого объекта. Возникает вопрос, какая корреляция должна быть между нормативными документами и Уголовным кодексом, т.е. что должно быть отражено в нормативных документах и как указанные выше органы обосновывают, что требования по безопасности действительно были нарушены.

Статьи 215 – 219 УК РФ определяют причины возникновения аварий как нарушение правил безопасности на определённых видах объектов и определяют наказание в зависимости от тяжести правонарушения и его последствий (ч.1 ст.215 – «если это могло повлечь смерть человека или радиоактивное заражение окружающей среды», или ч.2 ст. 215 – «если это повлекло причинение тяжкого вреда здоровью, или смерть

человека либо радиоактивное заражение окружающей среды») и обстоятельств деяния.

Первый вопрос, который возникает, что подразумевается под правилами безопасности. В современном понятии под нормативными документами, определяющими обеспечение безопасности, может пониматься широкий класс документов разного уровня и статуса: законы, федеральные нормы и правила, отраслевые правила, технические регламенты, стандарты, проектная документация и др. Непонятно, нарушение требований каких или всех видов документов связывается с составом преступления. Можно предположить, что имеются в виду все.

Темой, примыкающей к теме выяснения причин аварии, является тема так называемых форсмажорных обстоятельств, когда не находится признаков нарушения правил безопасности, а происшедшее объясняется непредвидимыми причинами. Как показывает практика, разработчики и эксплуатационники объекта свои ошибки любят сваливать на форсмажор. Тактику часто используют страховые компании, стремясь уйти от страховых выплат. В то же время общество не может мириться с проявлением большого количества тяжёлых аварий с форсмажорными обстоятельствами и начинает думать о несовершенстве правил, переводя стрелку на организации, ответственные за разработку правил.

Не вдаваясь в подробности толкования термина деяние в УК, выделим, на наш взгляд, две принципиально важные характеристики требований, заключённых в правилах безопасности – количественные или предписывающие определённые действия. Под количественными показателями будем понимать любые численные параметры, имеющие отношение к данному объекту в правилах безопасности. Нарушение правил безопасности может состоять в преднамеренном (пользуясь терминологией уголовного законодательства «умышленном»), или по халатности («неосторожном») отклонении от заданных значений количественных показателей. Выполнение или невыполнение предписывающих действий также может привести к аварии. Оба указанных обстоятельств в значительной степени связаны с человеческим фактором. Но в нашем рассмотрении нас будет интересовать случай с количественными показателями, т.к. это соответствует поставленной задаче исследовать влияние точности и неопределённости значений закладываемых параметров в обеспечение безопасности объекта.

Количественные показатели, используемые при проектировании и эксплуатации объекта, можно разделить на две группы. К первой группе будем относить обосновывающие показатели, полученные расчетным или экспериментальным путем и призванные продемонстрировать диапазон изменения важного для безопасности показателя (ВБП) в рассматриваемых режимах нормальной эксплуатации и нарушениях. В дальнейшем будем называть это расчетным показателем. Ко второй группе будем относить предельные или допустимые показатели, характеризующие предельно-допустимые значения ВБП. Классическим примером и тех, и других является стальная конструкция, когда под действием приложенных нагрузок определяются напряжения в наиболее опасном месте (расчётный показатель) и они сравниваются с прочностными свойствами используемой стали (предельный показатель). Другим примером может служить обоснование не превышения рабочей температурой жидкости неких предельных температур (например, температуры кипения или замерзания). Предельным показателем могут быть не только свойства веществ (теплофизические, ядернофизические, прочностные и т.п.). Работоспособность и сохранность отдельных элементов или систем объекта часто зависит от множества факторов, когда в фазовом пространстве воздействующих на систему параметров существует некая предельная область, т.е. совокупность значений параметров, при которых происходит выход системы из строя. Происходит ли идентификация этой предельной области по предельному состоянию каждого параметра или по совокупности всех параметров зависит от разработчика. Возможная корреляция между параметрами может трансформировать предельную область, построенную по предельным состояниям каждого параметра.

Таким образом, отсутствие нарушения правил означает, что при проектировании и эксплуатации объект не оказался в предельной области. Нарушение правил означает попадание объекта в предельную область с соответствующими последствиями.

Зададимся вопросом, гарантирует ли выполнение существующих правил в полном объёме исключение аварий даже в случае отсутствия форсмажорных обстоятельств.

Известно, что ни один ВБП потенциально опасного объекта, обозначаемый количественным значением, не может иметь абсолютно точное значение, полученное расчётным или экспериментальным путём [1]. Согласно теории вероятности можно говорить о математическом

ожидании  $M_{\text{мо}}$  и среднеквадратичном отклонении  $\sigma_M$  случайной величины  $M$  для рассматриваемого ВБП. Для каждого ВБП в условиях выполнения возложенных на него функций при нормальной эксплуатации и отклонениях от нормальной эксплуатации имеется предельная или допустимая величина  $R$ , отражающая способность систем и элементов объекта выдерживать условия эксплуатации и дополнительные нагрузки. Величина  $R$  также носит случайный характер и характеризуется математическим ожиданием  $R_{\text{мо}}$  и среднеквадратичным отклонением  $\sigma_R$  [2,3]. Имеется определённая вероятность, когда возможное значение  $M$  выйдет за рамки возможного допустимого значения  $R$  (см. рис. 1). Будем считать, что попадание системы из двух случайных величин в заштрихованную область на рис. 1 может привести к аварии и на этом примере проанализируем влияние на вероятность такого события характеристик расчётных и предельных показателей, а также значений коэффициента запаса. В реальной жизни, как уже отмечалось, ситуация не ограничивается системой двух случайных чисел. В работе [5] рассматриваются вопросы выброса случайного процесса за заданный уровень, что отличается от нашей постановки задачи и требует привлечение большого математического аппарата.

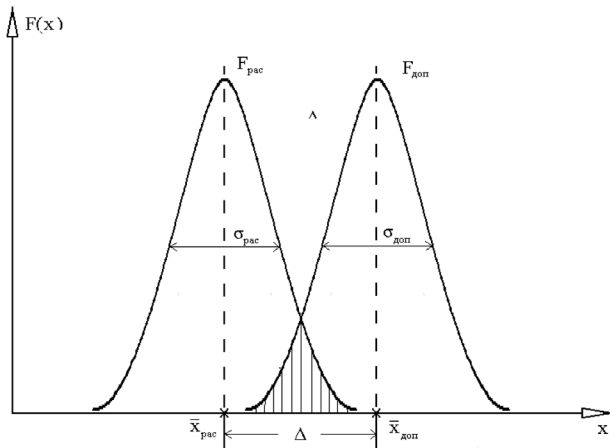


Рис. 1. Интерференция расчётных и допустимых функций плотности вероятности  $F(x)$

Используемые в технике коэффициенты запаса подразумевают разницу (или  $\sigma$  отношение) между возможными значениями  $M$  и  $R$ , в качестве которых принимают волевым образом консервативные, по мнению разработчиков, значения, обеспечивающие дополнительную гарантию безопасности. При понимании случайного характера значений  $M$  и  $R$  для назначения коэффициентов запаса используют математические ожидания  $M_{MO}$  и  $R_{MO}$  если имеются соответствующие функции плотности вероятности. Вероятность  $P$  того, что возможное значение  $M$  может выйти за допустимое значение  $R$  при нормальном распределении функции вероятности для  $M$  и  $R$  определится [2,3].

$$P = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \quad (1)$$

$$\beta = (M_{MO} - R_{MO})/\sigma_{MR} = \Delta/\sigma_{MR} \quad (2)$$

$$\sigma_{MR} = \sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_R^2} \quad (3)$$

где:

$\sigma_{MR}$  – среднеквадратичное отклонение двух случайных величин;

$\Phi(-\beta)$  – табулированный интеграл вероятности [4];

величина  $\Delta = M_{MO} - R_{MO}$  – принимаемый коэффициент запаса.

В табл. 1 приведены значения вероятности  $P$  в зависимости от величины  $\beta = \Delta/\sigma_{RM}$ . Параметр  $\beta$  характеризует принятую величину запаса в единицах среднеквадратичного отклонения двух случайных величин  $\sigma_{RM}$ .

$\beta$	0	1	2	3	4
$P$	0,5	0.159	0,023	$1,3 \times 10^{-3}$	$3,3 \times 10^{-4}$

Табл. 1. Зависимость вероятности  $P$  выхода значения важного для безопасности показателя за допустимые значения в зависимости от параметра  $\beta$ .

Приведённые в табл. 1 результаты показывают, что при отсутствии запаса ( $\Delta=0$ ) и при наличии неопределённостей рассчитанного значения  $M$  и его допустимого значения  $R$  вероятность  $P_1$  выхода значения ВПБ за его допустимое значение составляет величину 0,5. При сколь угодно большом коэффициенте запаса вероятность  $P_1$  не может быть

равной 0. Достаточно малые значения вероятностей ( $\sim 10^{-3}$ ) реализуются при величине  $\beta \sim 3$ , т.е. по абсолютной величине запас  $\Delta$  должен быть в 3 раза больше среднеквадратичного отклонения  $\sigma_{RM}$ .

Отметим момент, усугубляющий данную проблему. Обычно критически ВБП контролируется не непосредственно, а через мониторинг целого ряда определяющих его параметров. При зависимости определяющих параметров друг от друга не превышение каждым из них допустимого значения ещё не гарантирует нахождение ВБП в допустимых пределах.

Приведённый анализ оказывает влияние на юридическую сторону вопроса и на требования нормативных документов относительно обеспечения безопасности. Назовём некоторые основные выводы из сделанного рассмотрения:

1. Аварии могут иметь место, когда никаких нарушений правил не происходит. Следовательно, никакого состава преступления не имеется.

2. Ужесточение требований правил за счёт увеличения запасов не приводит к абсолютной гарантии избежать аварий, не выходя за рамки правил. Известно, что консерватизм за счёт запасов влияет на экономику.

3. Оставаясь в рамках правил, вероятность аварии тем больше, чем больше среднеквадратичные отклонения рассчитанного значения ВБП и принятого его предельного (допустимого) значения. Большинство правил по безопасности не содержат требований относительно неопределённостей расчётных значений ВБП и его предельных (допустимых) значений.

4. В правилах нет указаний, какие аварии связывать с форс-мажорными обстоятельствами. По результатам проведённого выше анализа сюда могут относиться как события с нарушением правил, так и события без нарушения правил, но без учёта вероятностного характера расчётных значений ВБП и его предельного (допустимого) значения.

Приведённые выводы показывают на несовершенство корреляции требований правил по обеспечению безопасности в техногенной сфере и положений УК об ответственности за их нарушение и, как следствие, неоднозначные выводы о причинах аварий.

Наличие аварий при соблюдении правил, но при большой неопределённости значений ВБП и их допустимых значений, есть результат отсутствия в наших правилах требований по регламентированным

показателям неопределённости значений ВВП и их допустимых значений. По существу, аварии без нарушения правил есть недоработка проектировщика, заложившего такие неопределённости. Но ограничение неопределённости от него никто не требует и формально он никаких правил в случае аварии не нарушал. Эксплуатационник поддерживает заданный режим эксплуатации и тем самым обеспечивает сохранность неопределённости ВВП при эксплуатации и к нему тоже не может быть претензий в случае аварии. В реальной жизни грамотный и добросовестный проектировщик заинтересован в надёжности создаваемого объекта и он интуитивно стремится к ограничению возможных разбросов в показателях используемых систем. Но это не исключает принципиальной возможности аварии и последующие поиски виновных.

Таким образом, желание достигнуть уверенных показателей безопасности требует при определении значений ВВП обосновывать не только абсолютные величины, но и определять неопределённости принимаемых абсолютных значений. То же самое относится и к допустимым значениям, не зависимо от того, являются ли эти допустимые значения стандартизированными свойствами веществ или получены расчётным путём для наложения ограничений в определённом процессе. Данное обстоятельство ставит совершенно новую задачу в проблеме обеспечения безопасности техногенной сферы.

Проблема состоит не в несовершенстве УК, а в несовершенстве правил безопасности в рассматриваемом нами аспекте трактовки количественных показателей. Недостаточно в качестве значений ВВП, полученных в результате расчётного или экспериментального анализа, приводить только одну величину. Учитывая, что эти значения являются случайными величинами, необходимо приводить оценку неопределённости этих значений. При определении функции плотности вероятности возможных значений ВВП такой оценкой неопределённости является среднеквадратичное отклонение от математического ожидания значения ВВП. То же самое относится к предельным или допускаемым значениям рассматриваемого показателя, которые также являются случайными величинами и имеют своё математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение. Широко принятое использование только математического ожидания для обоих параметров с учётом принимаемых запасов не позволяет рассматривать случаи интерференции возможных



расчётных и возможных предельных значений с учётом их вероятностных распределений и, как следствие, возможности аварий.

Вероятность выхода расчётного значения ВБП за предельные значения зависит от среднеквадратичных отклонений этих значений и принимаемого коэффициента запаса. Согласно формуле (1) эта вероятность через интеграл вероятности связана с параметром  $\beta$ , определяемом как отношение коэффициента запаса  $\Delta$  к среднеквадратичному отклонению двух случайных величин  $\sigma_{RM}$  согласно формуле (2). При преобладании величины  $\sigma_R$  над  $\sigma_M$  вероятность  $P$  определяется среднеквадратичным отклонением расчётного значения:

$$P = \Phi(-\beta_R), \text{ при } \sigma_M \ll \sigma_R, \text{ где } \beta_R = \Delta/\sigma_R \quad (4)$$

и наоборот:

$$P = \Phi(-\beta_M) \text{ при } \sigma_M \gg \sigma_R, \text{ где } \beta_M = \Delta/\sigma_M \quad (5)$$

Ограничения на вероятность аварий может быть через уменьшение неопределённостей расчётных и предельных значений и принимаемого коэффициента запаса. Задаваясь приемлемой вероятностью аварии, мы тем самым определяем требования к точности значений используемых показателей при принимаемом значении коэффициента запаса. Напомним, что величина последнего далеко не безразлична с точки зрения экономических показателей объекта. В таблице 2 для заданных значений вероятности аварий  $P$  приведены необходимые значения параметра  $\beta$ .

Табл. 2. Требуемая точность расчётных и предельных значений ВБП в зависимости от принимаемых значений вероятности аварии.

Представляет интерес задача, когда при заданном  $P$  и, следовательно,  $\beta$  известна неопределённость одного параметра (либо расчётного, либо предельного) и требуется определить минимально необходимую неопределённость другого. Поскольку оба параметра входят в формулы (2) и (3) симметрично, для определённости будем считать, что известна неопределённость расчётного параметра и требуется определить необходимую точность предельного.

Для этого введём несколько безразмерных параметров:

$$\varepsilon_M = \sigma_M / M_{MO} \quad (6)$$

$$\delta_M = \Delta / M_{MO} \quad (7)$$

$$\alpha = \sigma_R / \sigma_M \quad (8)$$

$$\beta_M = \Delta / \sigma_M \quad (9)$$

Величину  $\varepsilon_M$  принято называть гаусовской мерой надёжности. Физический смысл других параметров ясен без пояснений.

Вместо (2) с учётом (3) и (8) получим:

$$\beta = \Delta / \sigma_M \times 1 / \sqrt{1 + \alpha^2} = \delta_M / \varepsilon_M \times 1 / \sqrt{1 + \alpha^2} \quad (10)$$

откуда

$$\alpha = \sqrt{[(\delta_M / \varepsilon_M \beta)^2 - 1]} \quad (11)$$

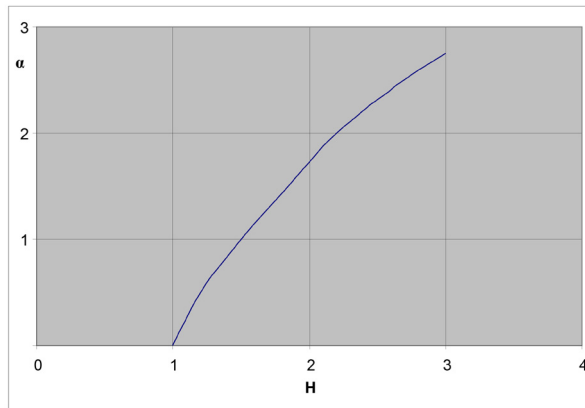
В (11) величина  $\beta$  определяется из требуемой величины  $R$ , величины  $\delta_M$  и  $\varepsilon_M$  задаются для расчётного параметра в безразмерном виде. Параметр  $\alpha$  определяет отношение среднеквадратичных отклонений для  $M$  и  $R$ . Из (11) видно, что необходимо выполнение условия

$$\delta_M / \varepsilon_M \beta > 1 \text{ или } \beta_M / \beta > 1 \quad (12)$$

При  $\beta / \beta_M = 1$   $\alpha = 0$  и  $\sigma_R = 0$ , т.е. предельный параметр не должен иметь неопределённостей. При  $1 < \beta_M / \beta < \sqrt{2}$   $\alpha < 1$ , т.е. неопределённости предельного параметра должны быть меньше неопределённостей расчётного параметра. На рис. 2 приведена зависимость  $\alpha$  от безразмерного критерия  $H = \beta_M / \beta$ .

В Приложении представлены таблицы значений  $\alpha$  при различных значениях безразмерных параметров  $\beta$ ,  $\varepsilon_M$ ,  $\delta_M$ .

Возникает вопрос, каким образом закрепить новый подход в обоснование безопасности техногенной сферы в правилах безопасности, т.е. в нормативных документах различного уровня и в различных отраслях промышленности. Возможны, на наш взгляд, по крайней мере два подхода.



II – зона  $0 < \alpha < 1$

III – зона  $\alpha > 1$

Рис.2. Зависимость  $\alpha$  от безразмерного критерия  $H$ .

Первый, достаточно революционный и приводящий к изменению всего процесса обоснования безопасности – это использование в качестве характеристик любых количественных показателей двух параметров (математического ожидания и среднеквадратичного отклонения). Данный подход означает отказ от устоявшегося детерминистского подхода и переход на вероятностный подход с неизбежным критерием о достаточности принятых мер в обоснование безопасности в виде допустимой частоты или вероятности аварий за время жизни объекта, что потребует введения вероятностных критериев в нормативно-правовую и нормативно-техническую документацию на разных уровнях. Неизбежные при этом формулировки типа «аварии могут происходить (не происходить) с такой-то вероятностью» не вызовут восторга у прокурора.

Второй путь – это не возмущая коренным образом существующую систему обоснования безопасности, перенести вопрос об учёте размытости количественных показателей в область обоснования надёжности объекта и его систем. В дополнение к так называемой структурной надёжности, когда по известным показателям надёжности элементов определяется надёжность системы, необходимо будет исследовать влияние вероятностного характера используемых показателей процессов и свойств веществ. Работа В.В. Болотина [5] заложила теоретические основы для этого.

Получивший в настоящее время распространение вероятностный анализ безопасности (ВАБ) в области использования атомной энергии и в других отраслях в качестве первого шага предполагает анализ надёжности систем объекта только на основании статистических данных по отказам элементов и систем.

Наиболее доступным в настоящее время действием в предлагаемом направлении может быть отбор используемых количественных показателей по критерию достаточной определённости их значений, в качестве которого может быть отношение  $\sigma/M$  (среднеквадратичного отклонения к математическому ожиданию). Существенное меньшее значение этого показателя по сравнению с единицей может говорить о незначительном его влиянии на результат анализа, хотя это может быть не всегда так и необходим анализ чувствительности на результат по данному параметру. Проектанту необходимо учитывать размытость значений используемых показателей при обосновании режимов нормальной эксплуатации и аварийных процессов. Эксплуатационники должны выдерживать сохранность этих заложенных условий.

Предлагаемый подход позволяет по-новому взглянуть на формажорные обстоятельства. В эту категорию могут быть включены или не включены не предусмотренные воздействия на объект (падение самолёта, сильные землетрясения, террористические воздействия и т.п.), которые не нашли отражения в расчётных и предельных показателях. Что касается учитываемых воздействий, то возможность реализации аварии без нарушения правил безопасности должна быть включена в страховые случаи.

## Литература

1. Ковалевич О.М., Строганов А.А. Погрешности и неопределённости при обосновании безопасности объектов использования атомной энергии. Атомная энергия, том 106, вып. 2, февраль 2009.
2. Ковалевич О.М. Новые проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. ПБЧС, № 1 2011.
3. Махутов Н.А., Резников Д.О., Петров В.П., Куксова В.И. Обеспечение защищённости и минимизация общих эксплуатационных затрат и ущербов в течении жизненного цикла критически важных объектов. ПБЧС, № 3 2010.

4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Высшая школа. 2001.
5. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений. Москва. Стройиздат. 1982.

Приложение

**Значение параметр  $\alpha = \sigma_R/\sigma_M$  при различных значениях параметров  $\beta, \epsilon_M, \delta_M$**

$\beta=1$	$\delta_M$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	2	3
	$\epsilon_M$								
	$10^{-2}$	9,9499	19,9750	29,9833	39,9875	49,9900	99,9950	199,9975	299,9933
	$10^{-1}$	0	1,7321	2,8284	3,8730	4,8990	9,9499	19,9750	29,9833
	1	-	-	-	-	-	0	1,7321	2,8284

$\beta=2$	$\delta_M$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	2	3
	$\epsilon_M$								
	$10^{-2}$	4,8990	9,9499	14,9666	19,9750	24,9800	49,9900	99,9950	149,9967
	$10^{-1}$	-	0	1,1180	1,7321	2,2913	4,8990	9,9499	14,9666
	1	-	-	-	-	-	-	0	1,1180

$\beta=3$	$\delta_M$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	2	3
	$\epsilon_M$								
	$10^{-2}$	3,1798	6,5912	9,9499	13,2958	16,6366	33,3183	66,6592	99,9550
	$10^{-1}$	-	-	0	0,8819	1,3333	3,1798	6,5912	9,9499
	1	-	-	-	-	-	-	-	0



# ВОЗМОЖНОСТИ ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ

(Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, №3 2013)

## 1. Общие соображения

Высокотехнологические комплексы лежат в основе развития экономики и обеспечения национальной безопасности России [1]. Разработка инфраструктурных проектов требует всестороннего анализа риска их реализации.

Инфраструктурный проект (ИП) подразумевает множество объектов, направленных на достижение общей цели. Входящие в проект объекты могут отличаться по своей технической сложности и опасности. ИП считается критическим, если в его состав входят критически важные объекты (КВО) по критериям риска крупномасштабных катастроф природного и техногенного характера. Прогнозировать риски при реализации ИП в первую очередь означает прогнозировать риски входящих в него КВО.

Отдельная задача состоит в оценке риска крупномасштабных катастроф, реализующихся в случае каскадных сценариев отказов на всех инфраструктурных объектах.

КВО могут быть различными по технической сложности, опыту использования подобных или аналогичных образцов, обоснованности заложенных технических решений, освоенности персоналом, по ущербу при авариях или разрушении их и другим аспектам. Это многообразие говорит о невозможности в большинстве случаев использование одного метода прогнозирования риска, поэтому возникает необходимость использовать комплексный подход с учётом имеющейся информации.

Отличительной особенностью большинства ИП с КВО является длительные сроки реализации проекта, необходимость сооружения большого количества КВО со сроками жизни, сравнимыми со временем реализации ИП. Этот факт приводит, во-первых, к необходимости учитывать риски не от отдельного КВО, а их совокупности за время реализации проекта и, во-вторых, учитывать старение и деградацию оборудования КВО.

Предполагаемое категорирование крупных инвестиционных проектов по степени риска может стать корректным, если сооружаемые в их рамках КВО будут иметь общую концепцию безопасности (ОКБ). Одинаковая ОКБ подразумевает одинаковый подход к понятию безопасность (т.е. конечной цели обеспечения безопасности), одинаковую трактовку понятий проектная и запроектная авария, к понятию управление тяжёлыми авариями. Эти положения должны быть отражены в требованиях нормативно-технических документов соответствующей отрасли. На сегодняшний день такие требования отсутствуют во многих отраслях, претендующих на участие в ИП.

Важной предпосылкой успешного анализа риска и последующего категорирования является выбор понятия риск. Традиционно под понятием риск понимают либо вероятность чрезвычайного события на объекте, либо весьма серьёзные возможные последствия из-за аварии на объекте, либо произведение первого на второе. Выбор того или иного показателя зависит от постановки задачи, а также от наличия необходимой информации и возможности проводить анализ в необходимых объёмах [2].

При проведении анализа риска для сложных систем и процессов бывает целесообразно перейти от двухфазного представления риска согласно функционалу вида  $R = F(P, U)$  к трёхфакторному представлению  $R = \Phi(T, V, U)$ . При этом функция  $P$ , описывающая вероятность достижения системой предельных состояний  $U$  разделяется на два вероятностных фактора: угрозы, определяемой как вероятность экстремального иницирующего воздействия  $T$ , и уязвимости системы, которая характеризуется как условная вероятность того, что в случае экстремального иницирующего воздействия система будет приведена в состояние отказа  $V$ . Подобный приём целесообразно применять для оценки уязвимости объекта при экстремальных внешних воздействиях, например, при террористических атаках.

Повышение безопасности объекта и снижение риска всего ИП связаны с дополнительными затратами на обеспечение безопасности. Эти дополнительные затраты в сумме с основными затратами на функционирование входящих в ИП объектов определяют экономическую эффективность, т.е. возможность реализации всего проекта. Этот фактор (за счёт каких дополнительных затрат обеспечивается достижение декларируемых показателей риска) необходимо учитывать при категорировании ИП.

Задача снижения риска любого ИП определяется государственной политикой в виде определённых целевых установок. К таким целевым установкам относятся, например: связь настоящего и будущего, регулируемого через величину коэффициента дисконтирования; стоимость человеческой жизни; величина приемлемого риска; возможностями государственных служб по защите населения в случае катастроф. Неучёт указанных факторов ограничит полноту проведённого анализа на отраслевом уровне. Потребуется привлечение надотраслевой государственной структуры, способной обоснованно обозначить необходимые показатели для всеобъемлющего анализа. Без этого результаты анализа каждого ИП на отраслевом уровне невозможно будет сравнивать между собой.

Приведённые выше соображения являются условиями для проведения анализа риска и категорирования ИП в политике государства. Коротко сформулируем их:

1). Потребуется использовать различные методы оценки риска и возникнет задача сравнения полученных по ним результатов.

2). В рамках одного ИП может участвовать множество однотипных или разнотипных объектов с разными временами жизни относительно времени жизни самого ИП.

3). Необходимо, чтобы сравнимые объекты были в рамках одной концепции безопасности.

4). Потребуется определиться с показателями риска, по которым предполагается проводить анализ и категорирование.

5). Необходимо учитывать затраты на достижение декларируемых показателей риска, определяющие экономическую эффективность.

6). Необходимо использование общегосударственных показателей, отражающих политику государства в рассматриваемый период.

## **2. Особенности применения вероятностных методов оценки рисков критически важных объектов**

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) впервые для технических сложных объектов был проделан как оценка риска от атомных станций (АС) и выполнен в США группой профессора Й. Расмуссена в 1975г [3]. Целью исследования являлось показать, что риск для человека погибнуть от аварии на атомной станции существенно меньше, чем



пострадать от природных явлений (молнии, землетрясения, тайфуны и т.п.), чрезвычайных техногенных воздействий (взрывы, пожары), несчастных случаев (утонуть, попасть под машину, упасть с высоты и т.п.). В качестве показателя риска использовался индивидуальный риск для жителей, проживающих вокруг АС.

Хотя Расмуссен сумел показать, что риск от АС существенно меньше, чем от других причин, т.е.  $R_{АС} \ll R_{ДР}$  ( $10^{-7} - 10^{-6} \ll 10^{-3} - 10^{-4}$  в год), коренного изменения в отношении общественности к атомной энергетике в мире не произошло. Распространение вероятностного анализа безопасности для атомных станций в различных странах с нормативным закреплением необходимости и методологии его проведения показали достигаемую эффективность и трудности его применения. Этот обширный опыт сформировал особенности проведения ВАБ для технически сложных систем.

Методология вероятностного анализа безопасности любого объекта состоит из следующих этапов:

1. Постулирование или отбор исходных событий аварий.
2. Определение возможных путей развития аварий (построение «деревьев событий»).
3. Создание банка данных по надёжности систем и элементов.
4. Анализ надёжности систем безопасности.
5. Учёт человеческого фактора, определяющего надёжность функционирования систем объекта.
6. Анализ физико-химических процессов при всех возможных путях развития аварии.
7. Оценка риска в принятой интерпретации.

В первую очередь необходимо остановиться на отборе исходных событиях (ИС) аварии, т. е. что может произойти на объекте, чего мы опасаемся, и что может привести к нежелательным последствиям. Сюда относятся нарушения оборудования, внешние природные и техногенные воздействия, террористические атаки.

Следует оговориться о характере и масштабе рассматриваемых в ВАБ воздействий в виде исходных событий. Накопленный столетиями инженерный опыт создания и эксплуатации машин, механизмов, сооружений сформулировал и нормативно закрепил требования по обеспечению надёжной работы в заданных условиях. Все предусмотренные нарушения условий нормальной эксплуатации, т.е. часто встречающиеся

возмущающие события, нейтрализуются предусмотренными защитными системами нормальной эксплуатации без существенного воздействия на эксплуатационные показатели объекта, не говоря уже о каких-либо воздействиях на человека и окружающую среду. К заданным условиям относятся характерные метеорологические условия, незначительные землетрясения, предусмотренные отказы оборудования и ошибки персонала и т.п. Данная область изучения объекта есть задача обеспечения его надёжной работы и не является предметом рассмотрения ВАБ.

Предметом рассмотрения ВАБ являются так называемые редкие события с возможными нежелательными последствиями. Не существует чёткого количественного критерия, разделяющего события с нарушением нормальной эксплуатации и редкие события (например, по частоте возникновения). Этот вопрос зависит от сложившегося общего подхода в государстве к требованиям по надёжности функционирования техногенных объектов разного вида. Данный вопрос может решаться общей концепцией безопасности (ОКБ), о которой говорилось выше.

Дальнейшим шагом в категорировании ИС является введение понятий проектная авария (ПА), запроектная авария (ЗПА), тяжёлая авария (ТА). Введение такой классификации должно определяться упомянутой ОКБ. Далеко не все отрасли техногенной сферы оперируют такими понятиями и реализуют в проектах сооружаемых объектов связанную с этим идеологию. Напомним, что проектная авария это есть ИС, для нейтрализации которого предусматриваются системы безопасности, призванные нейтрализовать или ограничить последствия от данного ИС. Гибель людей на С. - Ш. ГЭС могло бы не произойти, если бы отрыв крышки гидроагрегата в проекте рассматривался, как проектная авария и были бы предусмотрены надлежащие системы безопасности. Другой пример – авария с Невским экспрессом, когда гибель несколько десятков людей была вызвана сорвавшимися с креплений сидениями при резком торможении. Резкое торможение (по любой причине) не рассматривалось, как проектная авария и не были приняты соответствующие меры по закреплению сидений.

К запроектным авариям относятся исходные события, против которых не предусмотрены системы безопасности из-за малой вероятности таких событий по мнению разработчика или из-за невозможности иметь разумные инженерные меры по защите от них. К запроектным авариям также относятся исходные события для проектных аварий,

но при которых системы безопасности не выполняют возложенные на них функции вследствие возникших в них нарушениях. Не всякая ЗПА может привести к тяжёлым последствиям. Тяжёлая авария считается ЗПА с тяжёлыми последствиями.

Сценарий развития проектной аварии при заданном исходном событии анализируется с помощью дерева событий [3], когда траектория процесса определяется срабатыванием или не срабатыванием систем безопасности. При срабатывании систем безопасности объект приходит в предусмотренное безопасное конечное состояние.

Системы безопасности обычно являются сложными системами, состоящие из многих подсистем и элементов. Надёжность всей системы определяется надёжностью составляющих её элементов и резервированием по элементам или по каналам системы, каждый из которых способен выполнить функцию всей системы. В атомной энергетике используют 3 канала по 100 процентов каждый исходя из постулированного принципа единичного отказа [4] и необходимости иметь один канал для профилактического обслуживания.

Принцип многоэшелонированной защиты и создание барьеров против возможных последствий [4] приводит к созданию нескольких эшелонов систем безопасности, последовательно функционирующих по мере развития предполагаемой аварии. Если число таких ступеней систем безопасности  $n$  и рассматривается вероятность отказа или срабатывания каждой из них, то построение деревьев событий для отобранных  $m$  исходных событий приводит к  $m \cdot 2^n$  цепочек протекания возможных аварий и столько же возможных конечных состояний с различными уровнями последствий. Для корректного ВАБ необходимо проанализировать все эти цепочки.

Вероятность отказа системы безопасности, определяющая вероятность ЗПА, определяется вероятностями отказов формирующих эту систему элементов, т.е. располагаемой статистической базой по надёжности используемых элементов. Данное обстоятельство является принципиальной трудностью для реализации ВАБ. Эта трудность сохраняется для накопивших большой опыт эксплуатации объектов с устоявшейся элементной базой из-за трудностей организации сбора и обработки статистической информации по отказам и корректности её использования в конкретном случае. Данное обстоятельство определяет значительные неопределённости получаемых количественных

результатов ВАБ для действующих объектов. Для вновь создаваемых объектов со значительно обновлённой элементной базой эта проблема может стать определяющей на пути корректного использования ВАБ.

Другой принципиальной трудностью является получение информации поведения параметров системы при многочисленных состояниях, диктуемых деревьями событий. Для вновь создаваемых комплексов задача доказательства их работоспособности и эффективности является основной. Проведение ВАБ в сложившемся представлении, когда нет ещё инженерно – технической проработки всех систем объекта – вещь нереальная. Приблизённость возможных оценок вносит значительный вклад в неопределённость получаемых результатов.

Экономическая эффективность рассматриваемого ИП не позволит без ограничений повышать безопасность и снижать риски из-за необходимых для этого затрат на сооружение и эксплуатацию объекта [5]. Обозначенный государством приемлемый риск поставит верхнюю границу необходимых затрат на обеспечение безопасности, что само по себе является отдельной сложной комплексной задачей. Диктуемые приемлемым риском затраты на обеспечение безопасности определяют выбор среди альтернативных ИП.

## Литература

1. Безопасность России. Высокотехнологичный комплекс и безопасность России. МГФ «Знание». – 2003.
2. Ковалевич О.М. Риск в техногенной сфере. Москва. Издательский дом МЭИ. – 2006.
3. Расмуссен Й. Nuclear Safety Study. WASH-1400. -1975, USA.
4. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ АС 88/97). Правила и нормы в атомной энергетике.
5. Ковалевич О.М. Безопасность в техногенной сфере. Москва. Издательский дом МЭИ. – 2011.



## НОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

(в соавторстве с А.А. Хамазой)  
(Проблемы безопасности и  
чрезвычайных ситуаций, №1 2011)

### 1. Введение.

Прошедшие за последнее время в техногенной сфере аварии требуют ещё раз задуматься о причинах их возникновения и путях их предотвращения. Не имеет смысла проводить сравнения с прошлыми годами по количеству и тяжести аварий. Они были раньше, есть сейчас и не исключены в будущем. Каждый период времени испытывает характерные условия текущего периода и зависит от условий прошлого. Объекты техногенной сферы имеют долгий жизненный период и являются источниками возможных аварий на протяжении их жизненного цикла. Затрагиваемые ниже проблемы не являются абсолютно новыми. В новых условиях развития государства и в своей совокупности они создают проблемы, требующие внимания на уровне государства.

В поле зрения находятся последние чрезвычайные события (ЧС) в виде аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, случай с Невским экспресом, авария на шахте Распадная, колебания моста через Волгу под Волгоградом. Оговоримся, что включение аварии с Невским экспресом не касается первопричины аварии (терроризм, что не будет предметом нашего рассмотрения), а связано с реакцией объекта на чрезвычайные воздействия (отрыв кресел, явившийся основной причиной гибели людей). Колебания моста через Волгу было предшественником весьма серьёзной аварии.

Имеется несколько углов зрения, под которыми можно анализировать возникшие проблемы безопасности в техногенной сфере. Сейчас мы не будем вдаваться в подробности толкования понятия объекты техногенной сферы. Дальнейшее наполнение этого понятия рассматриваемыми техническими проблемами позволит определиться, какие отрасли могут быть включены в это понятие. В настоящее время в отечественной литературе [1] широко используется термин критически важные объекты (КВО), который можно в определённой степени отождествлять с

используемым нами понятием объект техногенной сферы. В разделе 5 мы коснёмся разъяснений относительно этих понятий.

Рассмотрим некоторые факторы, по которым можно анализировать состояние проблемы с безопасностью в техногенной сфере в настоящий момент:

- (1) Изношенность оборудования;
- (2) Кризис;
- (3) Несоблюдение нормативных требований;
- (4) Страхование;
- (5) Недостаточность или избыточность нормативно-правовой и нормативно-технической базы;
- (6) Отсутствие общей концепции безопасности в техногенной сфере;
- (7) Погрешности и неопределённости при обосновании безопасности.

Остановимся на каждом из них с разной степенью подробности.

## **2. Изношенность оборудования и кризис**

Объективным фактором, который нельзя не учитывать, является изношенность основных фондов промышленности. Приводимые цифры (60, 70 или 80 процентов) зависят от того, как считать и как это определяет аварийность. При правильном проектировании и надлежащем техническом обслуживании независимо от срока службы до завершения эксплуатации или при продлении срока эксплуатации должна быть подкреплена соответствующими затратами на ремонт, увеличение объёма контроля, модернизацию. Таким образом, аварийность не есть следствие изношенности, а следствие не обеспеченности надлежащего технического обслуживания и ремонта, не своевременного вывода из эксплуатации. Отсутствие средств на надлежащее техническое обслуживание и на своевременный вывод из эксплуатации старых объектов с сооружением новых есть результат просчётов при планировании обеспеченности финансового состояния объекта на весь срок жизни и отсутствия забот о восстановлении мощностей. Неустойчивое развитие государства из-за внутренних и внешних причин усугубляет ситуацию.

В условиях кризиса, мирового и внутригосударственного, появляются внешние по отношению к объекту причины для сокращения необходимых затрат на эксплуатацию, своевременный вывод из эксплуатации,

на замещение мощностей. У автора нет прямых известных данных на этот счёт, но можно предположить, что в условиях кризиса, когда обостряется финансовое положение предприятия, стремление сэкономить расходы на эксплуатацию имеют место. Опубликованные материалы по расследованию аварии на СШ ГЭС и на шахте Распадная дают основание предположить это. Поскольку степень защищённости объекта от аварий носит вероятностный характер [2,3], то снижение степени защищённости объекта из-за уменьшения расходов на эксплуатацию проявляется в виде аварии не сразу. Заложенные при проектировании запасы и вероятностный характер дефицита безопасности дают возможность до определённого момента избегать ЧС.

В работе [2] было показано, что сокращение затрат на поддержание эксплуатации объекта на требуемом уровне приводит к появлению дефицитов безопасности с постоянной времени, зависящей от чувствительности объекта к необходимым затратам на поддержание его безопасности и роста дефицита необходимых затратах. При достижении определённого уровня дефицита в необходимых затратах и, следовательно, дефицита безопасности, может произойти (происходит) авария. Задача для каждого объекта состоит в определении того критического уровня дефицита затрат, при котором возможна авария. В работе [3] эта мысль изложена на языке теории вероятности, когда вводится функции предельных состояний как вектор случайных переменных состояния объекта и внешних нагрузок, а также индекс защищённости системы как отношение разницы математических ожиданий состояния системы и нагрузок к среднеквадратичному отклонению этой разницы. К сожалению, такие математические оценки даже на объектах самых передовых отраслей практически не проводятся и решения руководством объектов принимаются из коммерческих соображений в расчёте на недосмотр органов надзора и на благосклонность случайных величин по теории вероятности (авось пройдёт).

### **3. Несоблюдение нормативных требований**

Несоблюдение установленных требований можно считать сейчас одной из главных причин возникновения аварий. Существует несколько факторов, порождающих это явление. Сюда входит отсутствие во многих отраслях существующего при использовании атомной энергии

понятия культура безопасности (т.е. осознание персоналом потенциальной опасности объекта и соответствующее отношение персонала к своим обязанностям) и недостаточный учёт человеческого фактора, т.е. возможность человеком принимать неправильные решения или не принимать правильные решения. Если в классическом понимании человеческого фактора мотивы действия индивидуума считаются непреднамеренными, то в нынешней ситуации они часто принимают преднамеренный характер по корыстным мотивам, корпоративным или личным.

Состояние проблемы в нынешних условиях относительно соблюдения установленных требований со стороны государственных и частных предприятий затрагивает не только уровень руководства этих предприятий, но и руководство отраслями на государственном и корпоративном уровнях. Эффективность надзорных функций государства и правовая ответственность всех участников играют определяющую роль.

При проектировании и эксплуатации объектов техногенной сферы приходится совмещать выполнение классических требований по безопасности (не причинение вреда человеку и окружающей среде) и надёжной работой объекта по выполнению предназначенной функции, невыполнение которой влечёт за собой значительный ущерб владельцу, потребителю, государству. В какой-то степени эти требования совпадают, но далеко не всегда. Наиболее наглядно это проявляется при эксплуатации, когда стремление выполнить требование заказчика продукции вынуждает операторов объекта выходить за обозначенные рамки безопасной эксплуатации, что является причиной аварий. Чернобыльская авария и авария на СШГЭС являются подтверждением этого [4]. В нынешних условиях рынка государство, приняв Закон № 134 [5] ослабило контрольные функции, желая расширить условия для развития бизнеса и производства за счёт блокирования бюрократии и коррупции. В то же время это способствует бесконтрольному нарушению требований по безопасности, что приводит к тяжёлым авариям с гибелью людей.

При любой аварии может наноситься ущерб как самому владельцу объекта, так и сторонним юридическим и физическим лицам и окружающей среде. Ущерб владельца складывается из ущерба от разрушения объекта или его части, потере доходов от недовыпуска продукции, неустойки за нарушение поставок своей продукции заказчиком, компенсация ущерба пострадавшим лицам. Последнее есть финансовая сторона ответственности за нарушение условий безопасной эксплуатации,



приведшее к причинению вреда здоровью людей. Возникает вопрос, как соотноситься для объекта финансовая сторона ответственности за жизни людей к другим составляющим возможного ущерба. На примере аварии на СШГЭС за смерть около 100 человек необходимо было заплатить около 100 миллионов рублей. Эти 100 миллионов рублей эквивалентны стоимости вырабатываемой электроэнергии за 1,7 часа работы станции на полной мощности (при мощности 6 Гвт и отпускной цене 1руб/квт. час), 3,5 часа работы при 50% мощности и т.д. Как видим, возможный ущерб владельцу станции от недовыработки продукции не сравним с возможной финансовой ответственностью за гибель людей. И естественно стремление объекта при нештатных ситуациях выйти из положения с минимальным ущербом. Ситуация могла бы заметно измениться при увеличении расходов на компенсацию ущерба здоровью людей на 1-2 порядка Государство, приняв Закон № 134, обозначило свою неспособность справиться с бюрократией и коррупцией путём жёстких административных и правовых методов. Ограничив государственный надзор и контроль, оно предоставило большую свободу предпринимателям самим определять степень выполнения требований по безопасности. Воздействие на предпринимателей через суд и прокуратуру за выявленные контрольными органами нарушения требований по безопасности есть процесс с большим запаздыванием по времени и в большинстве случаев не эффективен. Поскольку выявленное нарушение ещё не есть авария, это не может не сказаться на решении суда, а предприниматель действует по принципу «авось обойдётся», учитывая соотношения возможных ущербов от недовыработки продукции и компенсации пострадавшим. Таким образом, резко уменьшается в государстве превентивная составляющая обеспечения безопасности.

В случае произошедшей аварии с человеческими жертвами и большим материальным ущербом объекту приходится отвечать как материально, так и уголовно для сотрудников, чья вина в нарушении установленных правил, норм, стандартов будет доказана. Возможность такого доказательства не всегда очевидна в силу несовершенства официальных нормативных требований и достаточно развитой системой юридической защиты интересов объекта.

Относительная величина компенсации возможного ущерба не всегда является устрашающей для объекта. Ситуация для него упрощается, когда государство приходит на помощь в компенсации ущерба и в

восстановлении объекта, т. к. из-за выхода объекта из строя может нарушаться работа существенных для бюджета государства предприятий и отраслей промышленности.

В работе [6] затрагивается вопрос о толковании понятий контроль и надзор.

Декларируется и обосновывается некоторыми нормативными документами, что контроль есть более широкое понятие, чем надзор. Вертикаль контроля, присущая, по мнению автора [6], промышленности в виде государственной отрасли или концерну, имея наверху руководящий орган, имеет неограниченную возможность оперативно воздействовать на ниже лежащие уровни при нарушении требований по безопасности, вплоть до прекращения эксплуатации объекта. Вертикаль надзорных органов, связанная Законом № 134, не обладает возможностями жёстких оперативных санкций. В этой ситуации, если принять предлагаемое толкование понятий контроль и надзор, видится новая возможность организации надзорно-контрольной деятельности, объединённой усилиями органов надзора и промышленности. Выявленные органами надзора серьёзные нарушения требований по безопасности, требующие оперативного реагирования, но не санкционируемые Законом №134, передаются верхнему уровню руководства корпорации или концерна для принятия адекватных мер. Ответственность за неадекватные действия при этом ложится на корпорацию или концерн в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. Естественно, что подобная идеализированная схема имеет смысл, если верхний уровень контроля промышленности действительно будет действительно контролировать низшие уровни, а не поощрять их выполнять коммерческие интересы отрасли за счёт уровня безопасности. Нужны будут соответствующие правовые нормы такого взаимодействия.

#### 4. Страхование

Фактором, влияющим на затрагиваемые при чрезвычайных ситуациях стороны, является система страхования. Различны мотивы участников в этой системе. Объект заинтересован в страховании для компенсации своего ущерба при аварии с разрушением объекта и осознание возможности и необходимости компенсировать ущерб пострадавшим юридическим и физическим лицам. Государство тем самым освобождается или

облегчает свою долю в компенсации ущерба объекту и пострадавшим от аварии. Пострадавшим от аварии физическим лицам гарантируется или облегчается получение компенсации. Страховые компании, организующие весь этот процесс, рассчитывают получить от своей деятельности достаточную прибыль. Поскольку весь процесс организации страхования исходит из концепции риска, т.е. носит вероятностный характер, взаимодействия между участниками носят по законам рынка противоречивый характер и зависят от интересов каждой стороны и способности доказать свои интересы в страховом процессе [7].

При добровольном страховании страховщик сам определяет необходимость и размеры страхования. Мотивация здесь обезопасить себя от возможного ущерба при чрезвычайных ситуациях. Страховая сумма не всегда компенсирует величину всего ущерба, хотя ещё со времён создания страховой компании Ллойда известны случаи сознательного причинения ущерба с целью получения компенсации, превышающую фактическую стоимость. Противоречия между интересами страховщика и страхователя не позволяют системой страхования охватить всю техногенную сферу и государство вынуждено брать на себя значительную долю в затратах на компенсацию ущерба от чрезвычайных ситуаций.

Вводимое государством обязательное страхование в отдельных областях призвано снизить это бремя с государства. Фактически покрытие ущерба при этом происходит за счёт страховщика с добавкой на расходы и прибыль страховых компаний, что не с восторгом встречается страховщиками.

Таким образом, институт страхования в том виде, как он существует сейчас, не является фактором, способным оказать существенное влияние на безопасность в техногенной сфере. Необходима существенная реорганизация. Целью такой реорганизации должно быть увеличение финансовой ответственности промышленности за ущерб здоровью людей и за экологическое воздействие.

## **5. Недостаточность или избыточность нормативно – правовой и нормативно – технической базы**

Необходимость совершенствования нормативно- правовой и нормативно- технической базы не вызывает сомнения. В работе [1] обсуждаются проблемы правового обеспечения защищённости критически

важных объектов. Хотя направленность работы отражает озабоченность проблемами МЧС, используемая формулировка заголовка затрагивает более широкие области и требует оценки под разными углами зрения, поскольку нет общепризнанного толкования используемых терминов.

Следует различать нормативно-правовую и нормативно-техническую базу. Под первой обычно понимаются законодательные и подзаконные акты, создающие юридическую основу той или иной деятельности, связанной с деятельностью критически важных объектов или объектов техногенной сферы в нашем толковании. Под нормативно-технической документацией понимают регламентацию научно-технических основ той или иной деятельности и предназначена для регулирования деятельности в научно-техническом плане в конкретной отрасли. Поднятый в [1] вопрос о недостаточности правовой базы необходимо идентифицировать с рассматриваемой автором базой и областью, поскольку в разных аспектах ситуация может быть разная.

Понятие критически важный объект (КВО), приведённое в [1] на основании принятой Правительством «Концепции федеральной системы мониторинга критически важных и (или) потенциально опасных объектов, инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов» [8] толкуется как объект, нарушение (или прекращение) функционирования которого приводит к потере управления экономикой страны, субъекта или административно-территориальной единицы, её необратимому негативному изменению (или разрушению или существенному снижению безопасности населения, проживающего на этих территориях на длительный период времени). Как видно, безопасность как защита населения и окружающей среды стоит на последнем месте. Данное определение КВО по смыслу часто переносится на определение безопасность объекта, что приводит к совершенно другой логике построения концепции безопасности объекта.

Используемый термин защищённость КВО также требует разъяснений. В его толковании видится отражение задач МЧС РФ по защите населения от последствий разрушения КВО по внутренним и внешним причинам. Именно от последствий, возникающих при возникновении аварий или чрезвычайных событий на объекте. Именно такой смысл следует вкладывать в записанное в Положении об МЧС слова предупреждение чрезвычайных ситуаций, а не предупреждение самих чрезвычайных событий на объекте в виде тяжёлых аварий. Трудно себе

представить, чтобы МЧС думало о предотвращении неконтролируемого разгона ядерного реактора (Чернобыльская авария) или о предотвращении отрыва гидроагрегата ГЭС (Авария на СШГЭС). Задача МЧС в этих и других случаях – быть готовым к ограничению последствий для людей при крупных авариях, с чем они успешно справляются. Предотвращать сами аварии на объектах техногенной сферы – это задача промышленности и Ростехнадзора РФ. Исключением для МЧС из этого положения является противопожарная безопасность, где оно призвано контролировать предупреждение возникновения пожаров.

Говоря о недостаточном развитии нормативно-правовой базы автор работы [1] вероятно имеет ввиду нормативную базу функционирования системы МЧС, но это далеко не вся нормативная база. Прделанная работа по сравнению нормативно- технической базы в гидроэнергетике и в атомной энергетике показало её недостаточность в первой области по сравнению со второй. Не исключено, что подобная ситуация присуща и другим отраслям. Необходимы соответствующие анализы при наличии некоторого критерия, по которому можно было определять достаточность или недостаточность.

В последнее время в отдельных отраслях возникла противоположная проблема – избыточность существующей нормативной базы. Возникла она в отрасли достаточно далеко продвинутой в этом отношении – при использовании атомной энергии, но может возникнуть и в других отраслях промышленности. Атомная энергетика испытывает сейчас ренессанс в новых условиях развития. Выросший из легендарного Средмаша и Минатома концерн РОСАТОМ и его структурная часть концерн Энергоатом, имея возможность широко развернуть свою деятельность внутри страны и за рубежом, проповедует линию на самостоятельность промышленности в вопросах номенклатуры и разработки нормативно-технической базы. Изменение в подходах к нормативно- технической базе потребует пересмотра нормативно- правовой базы.

## **6. Отсутствие общей концепции безопасности в техногенной сфере**

Надёжная и безаварийная работа объекта зависит от того, как спроектирован, сооружён и эксплуатируется объект. Различные отрасли исторически шли своими путями создания отраслевой концепции безопасности

исходя из специфики опасности для человека и окружающей среды со стороны объектов отрасли. Если сравнить отраслевые концепции между собой, то можно констатировать разные подходы к неким основополагающим принципам, т.е. отсутствие общей СИСТЕМЫ, о которой мы упоминали в [4]. Закон «О техническом регулировании» не даёт ответа на вопросы системного научно-технического подхода к созданию общей концепции обеспечения безопасности в техногенной сфере, ограничиваясь введением понятия «степень риска». Вводимое понятие не подкреплено никакими границами допустимости и эффективными методиками [9, 10], поэтому на сегодняшний день оно не работает. Вместе с тем между различными существующими подходами (отраслевыми концепциями безопасности) и проповедуемой концепцией риска [11] может существовать некая общепромышленная концепция безопасности, которая на детерминированном научно-техническом уровне могла бы объединить большинство отраслей промышленности, подняв в целом проблему безопасности на более высокий уровень. Попытка сравнить подходы в различных отраслях имеет место после аварии на СШГЭС, когда было предложено сравнить подходы в гидроэнергетике и в атомной энергетике. Прделанная на этот счёт работа показала наличие большого количества пробелов в подходах в гидроэнергетике по сравнению с атомной энергетикой. Вместе с тем национальные подходы в атомной энергетике не покрывают международные требования, обобщённые МАГАТЭ.

Вопрос об общепромышленной безопасности по терминологии не новый. Имеется Закон «О промышленной безопасности». Понятие промышленная безопасность появилось в обращении с 80-х годов прошлого столетия как совокупность отраслей, подпадающих под сферу деятельности Госгортехнадзора СССР после выделения атомной тематики в отдельное поднадзорное направление. В системе Госгортехнадзора деятельность была главным образом направлена на соблюдение нормативных документов каждой отрасли и формирование общих правовых и организационных процедур проведения надзора. Вопрос о создании общих научно-технических подходов в обеспечении безопасности не рассматривался, за исключением появившейся в последние годы концепции риска. По такой же схеме работает в целом Ростехнадзор, включивший в свою сферу внимания кроме промышленной безопасности также атомную тематику и экологию. Каждое отраслевое направление функционирует при этом под прикрытием своих законов и своей сложившейся

нормативной базе, отражающей свой подход к обеспечению безопасности, т.е. некой отраслевой концепции безопасности.

Мы ставим вопрос о создании общепромышленной концепции безопасности, в принципе способный распространяться на все отрасли техногенной сферы. Повторим, что сейчас мы умышленно избегаем разъяснения понятия объекты техногенной сферы.

Общепромышленная концепция безопасности (ОКБ) есть часть более общего понятия безопасность в техногенной сфере (БТС), которое определим следующим образом:

Безопасность в техногенной сфере(БТС) - совокупность научных, технических и организационных положений, направленных на безопасное функционирование для человека и окружающей среды объектов техногенной сферы.

О том, что безопасность это наука, говорилось неоднократно [7,12]. Как всякая наука, БТС не может быть определена какой-либо монографией или закреплена каким-либо официальным документом. Это есть накопленная опытом система взглядов, отражённая в научных доктринах, законодательных актах, нормативных документах, методиках, в культуре безопасности членов общества и т.п. Такая система находится в постоянном развитии в соответствии с развитием общества в его способности адекватно реагировать на изменяющие внутренние и внешние условия.

В работе [7] мы определили пять основных частей (основ) понятия БТС:

1. Правовая основа;
2. Научно-техническая основа;
3. Экономическая основа;
4. Управляющая и контролирующая основа;
5. Культура безопасности и человеческий фактор.

Предлагаемая для обсуждения общая концепция безопасности есть одна из составляющих научно-технической основы, которая по мере своего формирования может найти своё отражение в правовых основах.

В статье [4 ], где проводилось сравнение Чернобыльской аварии с аварией на С.-Ш. ГЭС, было введено абстрактное понятие СИСТЕМА как совокупность узаконенных взглядов на проблему безопасности в техногенной сфере, нарушение положений которой приводит (может привести) к аварии. В дальнейшем под понятием СИСТЕМА будем понимать введённое выше понятие общая концепция безопасности.

Изложенное ниже является попыткой в первом приближении отразить подход к формированию ОКБ. Представленные соображения были получены при сравнении подходов обеспечения безопасности АЭС и ГЭС. Изложение будем вести в виде декларирования определённых положений или требований с некоторыми пояснениями.

1. Необходимо дать определение объекта, отражающее следующие моменты:

- предназначение в народном хозяйстве;
- юридический статус (государственный, корпоративный и др.);
- границы или перечень подпадающих под управление объекта сооружений, территорий и т.п.;

2. Необходимо дать определение безопасности объекта.

Следует исходить от обратного - в чём опасность объекта? Для АЭС это облучение населения и окружающей среды, для ГЭС это возможность затопления непредусмотренных территорий нижнего бьефа с человеческими жертвами и аналогично для других видов объектов в чём заключается их опасность.

Предлагается следующая формулировка:

Объект считается безопасным, если его сооружение и оборудование обеспечивают безопасность населения и окружающей среды, как во время всего срока эксплуатации, их так и при постулированных нарушениях сооружений и оборудования по внутренним и внешним причинам.

3. Необходимо дать критерии, качественные и (или) количественные, обеспечивающие безопасность населения и окружающей среды.

4. Необходимо определиться с классификацией систем, оборудования и сооружений объекта. Все системы объекта необходимо разделить на две основные группы: системы нормальной эксплуатации (СНЭ) и системы безопасности (СБ). Возможны ситуации, когда одна и та же система по своим функциям может относиться к обеим группам.

5. Под СНЭ понимается всё, что необходимо для нормальной эксплуатации объекта, т.е. для выполнения предназначенных функций.

6. Нарушение (отказ) СНЭ является причиной (исходным событием) возможных аварий.

7. Надёжность СНЭ, обеспечение качества изготовления, обслуживание и ремонт есть основные средства предотвращения аварий и являются первым эшелоном принципа многоэшелонированной защиты.



8. Под системами безопасности понимаются системы, предназначенные либо для нейтрализации нарушений СНЭ, либо для уменьшения последствий развивающейся аварии.

9. СБ при необходимости их действия могут отказать (не выполнить или выполнить в неполном объеме требуемые функции). Поддержание СБ в рабочем состоянии и обеспечение необходимой надёжности их функционирования за счёт резервирования является необходимым условием обеспечения безопасности (второй эшелон многоэшелонированной защиты).

9. Необходимо определиться с постулированными нарушениями (исходными событиями) в СНЭ, для защиты от которых предусматриваются СБ.

Данное понятие является основополагающим при обеспечении безопасности в техногенной сфере. Через него проходит граница проектных и запроектных аварий (ПА и ЗПА).

Проектная авария есть нарушение (исходное событие) в СНЭ, при котором СБ нейтрализуют нарушение или ослабляют до приемлемого уровня его последствия. Другими словами, ПА есть авария против которой были предусмотрены защитные меры, т.е. СБ.

Запроектная авария есть нарушение (исходное событие), против которого в проекте не предусмотрены защитные меры в виде систем безопасности (Отрыв крышки гидроагрегата при аварии на С.-Ш. ГЭС очевидно не входил в класс ПА(!), также не входило в ПА отрыв кресел на Невском экспрессе при резком торможении из-за схода с рельс). Авария может быть запроектной при постулированных исходных событиях с отказом предусмотренных СБ.

10. СНЭ делятся на классы (категории) в зависимости от степени влияния на безопасность и от возможности обеспечить защиту от их нарушений (отказов) системами безопасности.

11. В зависимости от класса (категории) к системам предъявляются дифференцированные требования при изготовлении и контролю во время эксплуатации. Чем выше класс безопасности, тем более жёсткие требования предъявляются (Крепление крышки на гидроагрегате С.-Ш. ГЭС должно было обеспечено самыми жёсткими требованиями(!)).

12. Должны быть рассмотрены принимаемые во внимание запроектные аварии, для возможного происшествия которых разрабатываются меры по их управлению и предусматриваются меры по защите населения.

13. Граница между ПА и ЗПА устанавливается на основе накопленного опыта работы подобных объектов и опыта работы схожего оборудования на объектах другого вида. Также используются методы анализа риска с учётом возможных вероятностей и последствий.

14. Исполользуется принцип «защита в глубину» или многоэшелонированная защита. Суть его состоит в реализации подхода в обеспечении безопасности на основе нескольких эшелонов защиты. Первый- предотвращение нарушений СНЭ за счёт качественного изготовления оборудования и сооружений и контроль во время эксплуатации. Второй – наличие СБ для нейтрализации или ослабления нарушений в СНЭ. Третий – запланированные действия при развитии аварии за рамки ПА. Четвёртый – предусмотренные действия по защите персонала и населения при ЗПА.

15. Повышение надёжности СБ кроме качественного изготовления и контроля при эксплуатации достигается за счёт резервирования либо отдельных элементов, либо за счёт резервирования целых каналов, выполняющих заданную функцию. Концепция резервирования строится на принципе единичного отказа, заключающегося в выполнении системой предназначенных функций при отказе любого одного элемента, входящего в систему или отказе одного из зарезервированных каналов системы.

16. Вводятся пределы и условия нормальной эксплуатации (ПУНЭ), определяющие границы допустимых значений параметров и наличие определённых состояний систем для нормальной эксплуатации объекта (При Чернобыльской аварии и при аварии на С.-Ш. ГЭС имело место работа на недопустимых уровнях мощности, т.е. нарушение ПУНЭ). Защитные системы нормальной эксплуатации(ЗСНЭ) призваны поддерживать ПУНЭ на требуемом уровне.

17. Вводятся пределы безопасности (ПБ) как значения показателей состояния объекта при нарушении ПУНЭ и неэффективного действия ЗСНЭ, при которых происходит срабатывание СБ.

18. Вводится градация всех происшествий на объекте, выходящих за состояния нормальной эксплуатации. Создаётся шкала событий, характеризующая опасность и последствия произошедших событий. Дётся определение понятия авария с возможной дифференциацией по последствиям.

19. Создаётся система сбора и анализа отказов оборудования и

систем, используемая для корректирующих мер и для накопления статистических данных при использовании вероятностного анализа безопасности.

20. Определяются специфические требования по следующим направлениям:

- Методика расчёта на прочность оборудования и сооружений;
- Требования к материалам;
- Контроль за изготовлением оборудования;
- Обеспечение качества на всех этапах;
- Сертификация и приёмка оборудования;
- Контроль оборудования и систем во время эксплуатации;
- Требования к персоналу и другие необходимые требования.

Приведённый перечень положений может быть существенно расширен за счёт новых и детализации приведённых положений. При проведении вышеупомянутой работы по сравнению подходов в обеспечении безопасности в атомной энергетике и в гидроэнергетике количество таких положений составило около 80. В случае разработки ОКБ на такой основе номенклатура и количество таких положений должно стать предметом обсуждения специалистов из отраслей, подпадающих под действие ОКБ.

## **7. Погрешности и неопределённости при обосновании безопасности**

Известно, что ни одно из приводимых значений параметров объекта для обоснования безопасности, не может быть абсолютно точным. Это относится как к параметрам, полученным экспериментально, так и расчётным путём. Погрешности и неопределённости, характеризующие уровень наших знаний об объекте, необходимо учитывать в обосновывающих безопасность материалах при сооружении объекта и при его эксплуатации. Этой проблеме не уделялось внимания раньше и не уделяется достаточного внимания сейчас в условиях роста техногенной сферы [13,14].

Имеются две стороны этой проблемы. Во-первых, – желание и умение получать значения показателей погрешностей и неопределённостей важных для безопасности характеристик и параметров состояния объекта. Во-вторых, при наличии показателей и неопределённостей в характеристиках объекта встаёт вопрос о принятии решений о

допустимости или недопустимости их возможных отклонений. Первая сторона проблемы в определённой степени находит отражение в научных изысканиях (расчётных и экспериментальных) по конкретной затрагиваемой научно-технической тематике, но практически не отражается в предоставляемых обосновывающих безопасность материалах. В тех случаях, когда и приводятся информация о погрешностях, она большей частью носит детерминистский характер (абсолютная или относительная погрешность приводимой величины), хотя известно, что неопределённости носят вероятностный характер.

Вторая сторона проблемы носит принципиально новый характер в связи с вероятностным характером значений важных для безопасности характеристик и параметров состояния объекта. Трудности возникнут из-за того, что почти все требования нормативных документов у нас носят детерминированный характер и представление характеристик объекта не в виде определённого числа, а в виде вероятностного распределения с определёнными числовыми характеристиками вызовет трудности при принятии решения контролирующими и надзорными органами. Принятая в настоящее время в технике концепция коэффициентов запаса не снимает проблему, так как всегда остаётся определённая вероятность выхода параметра за допустимое значение при сколь угодно большом коэффициенте запаса. Напомним, что в нынешних условиях имеется тенденция избавляться от излишних запасов. Для демонстрации возникающих проблем приведём некоторые соображения.

Размытость расчётных или экспериментальных значений важных для безопасности параметров требует особого рассмотрения при соотношении их с допустимыми значениями. Под допустимыми значениями будем понимать ограничения, накладываемые на данный параметр нормативными документами или проектными пределами, обеспечивающие состояние объекта и протекание процессов в запланированном режиме.

На рис.1 представлены функции распределения вероятности  $F(X)$  и плотности вероятности  $f(X)$  значений расчётного или экспериментального параметра  $X$ . Пусть  $X_{доп}$  является принятым допустимым значением этого параметра, а  $X_0$  его математическое ожидание, полученное в результате расчёта или эксперимента. Поскольку значение  $X$  может быть в принципе любое, возникает вопрос, какова вероятность превышения  $X$  значения  $X_{доп}$ . В табл.1 приведены зависимости вероятности

Р превышения  $X$  допустимого значения  $X_{\text{доп}}$  от безразмерного параметра  $\Delta X/\sigma$ , рассчитанные с помощью интеграла вероятности для нормального распределения, где  $\sigma$  – среднееквадратичное отклонение, а

$$\frac{\Delta X}{\sigma} = \frac{X_{\text{доп}} - X_0}{\sigma}.$$

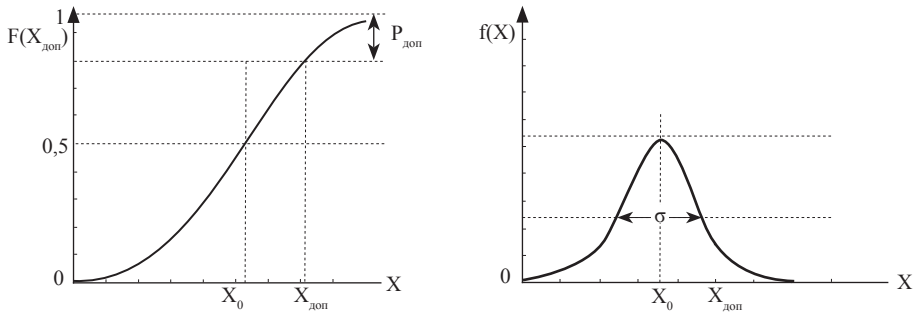


Рис.1. Функции распределения вероятности  $F(X)$  и плотности вероятности  $f(x)$  расчётного параметра  $X$ .

Таблица 1

**Вероятность  $P$  отклонения  $X$  от значения  $X_{\text{доп}}$**

$\frac{\Delta X}{\sigma}$	0	1	2	3	4
$P$	0,5	0,34	0,023	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$

Приведённые цифры говорят, что при равенстве математического ожидания расчётного значения и допустимого значения вероятность превышения параметром допустимого значения составляет 0.5. Достаточно малая вероятность (0.1%) достигается при разнице между допустимым и расчётным значением в 3 среднееквадратичных отклонения  $\sigma$ .

Таким образом, не достаточно для параметра  $X$  обозначить допустимое значение  $X_{\text{доп}}$ . Необходимо указать желаемую вероятность не превышения допустимого значения, что совместно с оценённой величиной  $\sigma$  определит необходимый разрыв между расчётным и допустимым значением.

Ситуация усложняется, если допустимое значение не определяется однозначным детерминированным значением, а является размытой величиной с определённой функцией плотности вероятности  $f_{\text{доп}}(X)$  (см.рис.2). Кроме случая со свойствами материалов, находящихся в определённых интервалах, подобная ситуация может иметь место, когда проводятся какие-либо исследования по установлению необходимых проектных пределов состояний объекта, которые также имеют неопределённости. Нормативные допустимые значения, фигурирующие в нормативных документах, в принципе также имеют неопределённость, но вероятно они назначаются с определёнными запасами. Перекрывающиеся области на «хвостах» функций плотности вероятности  $f_{\text{рас}}(X)$  и  $f_{\text{доп}}(X)$ , как показали расчёты, дают существенную зависимость вероятности  $P$  превышения  $X$  над допустимым значением в зависимости от коэффициента запаса  $\Delta$ , среднеквадратичных отклонений  $\sigma_{\text{рас}}$  и  $\sigma_{\text{доп}}$ . Это обстоятельство должно иметься ввиду при назначении допустимых значений и при принятии решения.

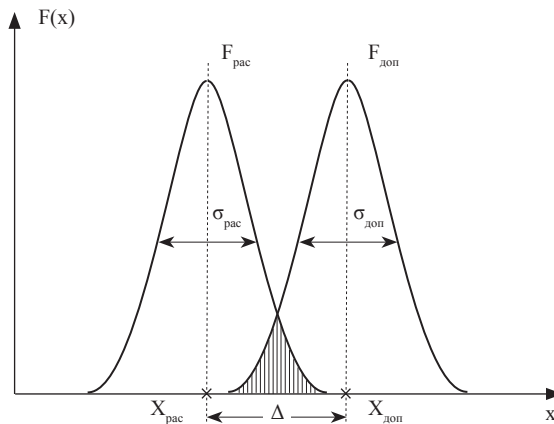


Рис.2. Интерференция расчётных и допустимых распределений плотности вероятности

В работе [3] было показано, что даже при больших коэффициентах запаса вероятность превышения рассматриваемым параметром допустимых значений может быть больше, чем при меньших значениях коэффициента запаса, но при больших значениях параметра неопределённости  $\sigma$ .

Приведённые в данном разделе соображения требуют разработки и внедрения в деятельность по обоснованию безопасности объектов техногенной сферы нового подхода в методическом и нормативном плане, учитывающем неточность наших знаний о состоянии объекта.

## 8. Заключение

Проделанный анализ ряда факторов, отражающих новые проблемы безопасности объектов техногенной сферы и возможных чрезвычайных ситуаций позволяет сформулировать следующие заключения:

1. Изношенность оборудования и кризис оказывают влияние на состояние с безопасностью на объектах техногенной сферы. Отсутствие доступной информации не позволяет получить определённые количественные показатели. Показано, что сокращение затрат на эксплуатацию и модернизацию приводит к появлению дефицитов безопасности с постоянной времени, зависящей от чувствительности объекта к затратам на поддержание его безопасности и роста дефицита необходимых затрат.

2. Важным фактором, вызывающим опасения за состояние безопасности, является несоблюдение нормативных требований, ставшей причиной последних крупных аварий. Не последней причиной этого является ослабление государственного контроля и надзора в связи с принятием Федерального Закона №134 о защите прав производителей. Рассматривается необходимость повышения ответственности промышленности за нанесения ущерба здоровью населения и окружающей среде. В связи с появившимися новыми толкованиями терминов контроль и надзор делаются предложения по объединению усилий в регулировании безопасности надзорными органами и промышленностью.

3. Система страхования в существующем виде не является фактором, способным оказать существенное влияние на безопасность. Необходима реорганизация с целью увеличения финансовой ответственности за ущерб здоровью людей и за экологическое воздействие.

4. В различных отраслях промышленности и на различных уровнях имеются разные соотношения между недостаточностью и избыточностью нормативно-технической и нормативно-правовой документацией. Необходимо проведение анализа по отдельным отраслям при наличии некоторого критерия, позволяющего судить о недостаточности или избыточности.

5. Предлагается создание общей концепции безопасности в техногенной сфере, по положениям которой корректировались существующие подходы обеспечения безопасности в отдельных отраслях. Приводятся основные положения такой концепции, которые могут стать критерием при сравнении подходов в разных отраслях.

6. Поднимается вопрос о проблеме погрешностей и неопределённостей при обосновании безопасности в техногенной сфере. Обсуждаются трудности при оценке погрешностей и неопределённостей значений важных для безопасности параметров объекта в связи с их вероятностным характером и детерминированным характером требований в нормативных документах.

### Литература

1. Костров А.В. Проблемы правового обеспечения защищённости критически важных объектов. ПБЧС, №3 2010

2. Ковалевич О.М. Кризис и безопасность в техногенной сфере. ПБЧС, №4 2009.

3. Махутов Н.А., Резников Д.О., Петров В.П., Куксова В.И. Обеспечение защищённости и минимизации общих эксплуатационных затрат и ущербов в течении жизненного цикла критически важных объектов путём выбора оптимальной стратегии проведения технических инспекций и ремонта. ПБЧС, №3 2010.

4. Ковалевич О.М. Чернобыль и Саяно-Шушенская ГЭС: что ведёт к катастрофе? ПРоАтом, 12.10.09.

5. Федеральный закон «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при проведении государственного контроля (надзора)». От 8 августа 2001 года №134.

6. Костров А.В. Проблемы правового обеспечения защищённости критически важных объектов. ПБЧС, №3 2010.

7. Ковалевич О.М. Безопасность в техногенной сфере. В печати. 2010.

8. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.08.2005г. №1314-р.

9. Ковалевич О.М. А король то голый! (К вопросу о разработке технических регламентов). Ядерная и радиационная безопасность, №4(41), 2006г.



10. Никифоров Н.В. Системные проблемы технического регулирования. Сборник статей. Российский Союз научных и инженерных общественных организаций. Москва-2003.

11. Безопасность России. Анализ рисков и проблем безопасности. 4 тома. М. МГФ «Знание», 2007г.

12. Бурков.М., Грацианский Е.В., Дзюбка С.И., Щепкин А.В. Модели и механизмы управления безопасностью. СИНТЕГ, Москва-2001.

13. Ковалевич О.М., Строганов А.А. Погрешности и неопределённости при обосновании объектов использования атомной энергии. Атомная энергия, том 106 вып.2, февраль-2009.

14. Ковалевич О.М., Румянцев А.Н. Необходимые аспекты решения проблемы погрешностей и неопределённостей. Ядерная и радиационная безопасность, №4(54) 2009.



## **Знание неопределённостей расчётов и экспериментов как необходимое условие обоснования безопасности атомных станций**

(в соавторстве с С.А. Шевченко)  
(Международная конференция  
«Безопасность атомных станций  
и образование, Обнинск, 2013)

### **Введение**

Для сооружения и эксплуатация атомных станций (далее – АС) потребовалось освоение многочисленных теоритических и инженерных знаний. Дальнейшее развитие атомной энергетики (далее – АЭ) требует количественной и качественной подготовки кадров. Качественная подготовка кадров подразумевает не только освоение достигнутых знаний, но и ответа на связанные с ростом АЭ вызовы. Увеличение количества АС увеличивает риск негативных последствий от возможных аварий. Противодействие этому фактору видится в повышении надёжности и безопасности АС. Расчётные и экспериментальные исследования являются способом достижения необходимых для этого знаний, а точность получаемых результатов (погрешности и неопределённости, далее – ПИН) является необходимым условием достижения необходимого уровня качества. Освоение соответствующих знаний должно занять надлежащее место в подготовке кадров.

При оценке риска от сооружения и эксплуатации АС необходимо учитывать риск от всех предприятий ядерного топливного цикла и связанные с этим неопределённости. Неопределённости в оценке риска непосредственно от АС определяются неопределённостями постулирования параметров воздействия на системы и сооружения АС (природные и техногенные), человеческого фактора, обоснования принимаемых параметров протекания аварийных процессов. Доклад касается неопределённостей при определении параметров процессов на АС, определяемых с помощью аттестуемых программных средств (ПС).

Обсуждаемая проблема затрагивает также дискутируемую тему о самозащищённости(естественной безопасности) реакторных установок как путь дальнейшего безопасного развития атомной энергетики.

Нет однозначного понимания и критериев достижения этого статуса. Ниже мы коснёмся этого вопроса.

### **1. Учёт неопределённостей при детерминистском и вероятностном подходе**

Принятый сегодня детерминистский подход при проектировании АС и их систем основывается на апробированных практикой решениях с применением принципа консерватизма. При отсутствии достаточных расчётных и экспериментальных данных для повышения уверенности в надёжности проектируемого объекта используются коэффициенты запаса. Такой подход увеличивает стоимость АС, но не снимает полностью вероятность развития незапланированных процессов и серьёзных аварий. Параметры, определяющие состояния и процессы любого технологического процесса, в значительной степени являются случайными числами с определёнными функциями плотности вероятности возможных значений. С отличной от нуля вероятностью такой параметр может выйти за предусмотренное предельное значение с иницированием аварийного процесса. Увеличение коэффициента запаса может повлиять только на уменьшение вероятности такого события, но не исключить его [1]. На рисунке 1. приведены для нормального закона возможные распределения плотности вероятности принимаемого расчётного значения параметра  $X_0$ . Вероятность отклонения расчётного значения от допустимого составит  $P_{\text{доп}}$  (см. рис.1).

На рисунке 1 приведены функции распределения вероятности  $F(X)$  и плотности вероятности  $f(X)$  значений расчётного или экспериментального параметра  $X$ . Пусть  $X_{\text{доп}}$  является допустимым значением этого параметра, а  $X_0$  его значение, полученное в результате расчёта или эксперимента, т.е. математическое ожидание при среднеквадратичном отклонении  $\sigma$ . Поскольку значение  $X$  может быть в принципе любое, возникает вопрос, какова вероятность превышения  $X$  значения  $X_{\text{доп}}$ .

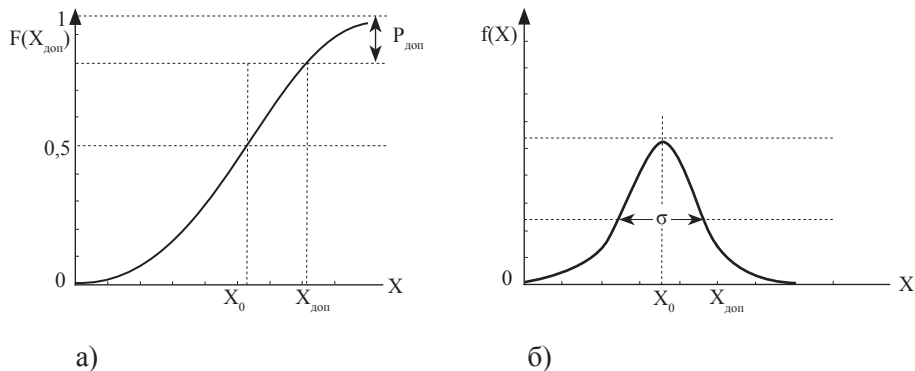


Рис.1. Функции распределения вероятности (а) и плотности вероятности (б) рассчитываемого параметра X.

В табл.1. приведены значения вероятности P отклонения расчётного значения  $X_0$  от допустимого  $X_{доп}$  в зависимости от величины запаса  $\Delta X$  в единицах среднеквадратичного отклонения.

$$\frac{\Delta X}{\sigma} = \frac{X_{доп} - X_0}{\sigma} \tag{1}$$

Таблица 1

**Вероятность P отклонения расчётного значения от допустимого в зависимости от величины запаса**

$\frac{\Delta X}{\sigma}$	0	1	2	3	4
P	0,5	0,34	0,023	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$

Приведённые в табл.1 цифры показывают, что при равенстве расчётного и допустимого значений вероятность превышения параметром допустимого значения составляет 0,5. Достаточно малая вероятность (0,1%) достигается при разнице между допустимым и расчётным значением в 3 среднеквадратичные отклонения. Таким образом, не достаточно для параметра X обозначить допустимое значение  $X_{доп}$ .

Необходимо указать желаемую вероятность не превышения допустимого значения, что совместно с оценённой величиной определит принимаемый разрыв между расчётным и допустимым значениями. Данное обстоятельство приводит к новому отношению к форсмажорным ситуациям, когда случается то, что не рассматривалось, но вероятность такого события оказалась высока, поскольку оно произошло.

Ситуация усложняется, если допустимое значение не определяется однозначным детерминированным значением, а является размытой величиной с определённой функцией плотности вероятности  $f_{\text{доп}}(X)$  (см. рисунок 2). Подобная ситуация может иметь место, когда проводятся какие-либо новые исследования по установлению необходимых проектных пределов. Нормативные допустимые значения, фигурирующие в нормативных документах, в принципе должны иметь определённую размытость, но вероятно они назначаются с достаточными запасами и рассматриваются как абсолютно жёсткие. В случае размытости и тех и других перекрывающиеся области на «хвостах» функций плотности вероятности  $f_{\text{рас}}(X)$  и  $f_{\text{доп}}(X)$ , как показали расчёты, могут дать существенную зависимость вероятности  $P$  превышения  $X$  над допустимым значением в зависимости от  $\Delta$ ,  $\sigma_{\text{рас}}$  и  $\sigma_{\text{доп}}$ . Данный факт говорит о том, что это обстоятельство должно иметься ввиду при назначении допустимых значений и при принятии решения.

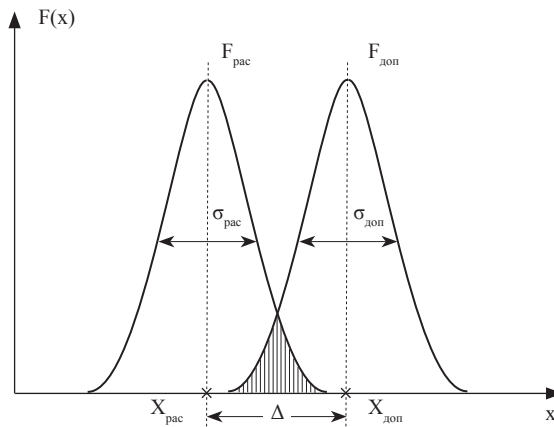


Рис.2. Интерференция расчётных и допустимых распределений плотности вероятности (Заменить на рис. F на f)

Вероятность отклонения расчётного значения от допустимого будет определяться теми же значениями как и в табл.1., но при эффективном среднеквадратичном отклонении, соответствующему двум случайным числам:

$$\sigma_{\text{эф}} = \sigma \sqrt{\sigma_{\text{рас}}^2 + \sigma_{\text{доп}}^2} \quad (2)$$

Формула (2) показывает соотношение неопределённостей расчётных и допустимых параметров. Нет смысла бороться за уменьшение дисперсии расчётных значений существенно меньше дисперсии допустимых параметров и наоборот. Приведённые соображения также создают проблемы с толкованием понятия «нарушение правил безопасности» в юридической сфере, отмеченные в [1].

При вероятностном анализе безопасности (далее – ВАБ) неопределённости из-за всех факторов (исходные события, статистика отказов, параметры протекания процессов при авариях) вносят вклад в неопределённость конечного результата. От корректности определения расчётным путём параметров развивающихся процессов зависит рассматриваемый сценарий возможных аварий. Вероятности отказа или срабатывания систем безопасности не анализируются на неопределённости расчётных параметров их срабатывания. Данные табл. 1 показывают, что при характерных точностях определения параметров вероятности за счёт интерференции расчётных и предельных показателей даже при использовании коэффициентов запаса вероятность отказов может превзойти принимаемые вероятности отказов по надёжности. При таком рассмотрении вызывает сомнение, что используемая методология ВАБ позволяет определять «узкие» места проекта АС и условий его эксплуатации.

## 2. Учёт неопределённостей при проектировании АС

Представляемые для обоснования безопасности АС значения параметров, полученные расчётным или экспериментальным путём, в большинстве случаев не содержат оценённые погрешности и неопределённости принимаемых в проекте значений параметров, влияющих на надёжность и безопасность. Конструктор и проектировщик либо на основании требований нормативных документов, либо на основании своего опыта и квалификации определяет необходимый консерватизм и величину

коэффициентов запаса в каждом случае. Регулирующий орган, опять же в силу своей квалификации, принимает такой подход или требует больших запасов. Существующие и разрабатываемые программные средства (ПС), применяемые для моделирования состояний и процессов АС, как правило, не содержат достаточной информации о ПИН получаемых результатов расчетов, позволяющей конструктору и проектировщику принимать взвешенное решение по повышению надёжности системы и по экономичности принимаемого решения. Причиной такого положения является недостаточно развитая методология оценки ПИН программных средств, применяемых для обоснования безопасности АС.

Действующая в системе Ростехнадзора более 20 лет процедура экспертизы и аттестации программных средств [2] направлена на проведение оценки обоснования применения ПС в заявленной области и получения результатов расчетов с заявленной точностью. Обоснование применимости ПС (результаты верификации и валидации) приводятся заявителями в верификационных отчетах, экспертизу которых проводит действующий при Ростехнадзоре Совет по аттестации ПС. К середине 2013 года Ростехнадзором выдано более чем 300 аттестационных паспортов ПС (разрешений на использование программ для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии). При этом, несмотря на формальное требование приводить в верификационных отчетах информацию о ПИН получаемых с помощью ПС результатов [3], состояние в целом нельзя назвать удовлетворительным. Развиваемый на Западе методологии, такие как CSAU (Code Scaling, Applicability and Uncertainty Evaluation Methodology, развиваемая NRC), BEPU (Best Estimate Plus Uncertainty, развивается под эгидой МАГАТЭ) затрагивают проблему ПИН в основном только для теплогидравлических и нейтронно-физических задач. Другие важные для безопасности направления (прочность, распространение радиоактивных продуктов и др.) не находят достаточного внимания ни в России, ни за рубежом.

Существующие различные теоретические методы определения ПИН расчётных исследований [4] не находят адекватного отражения в ПС, применяемых для обоснования безопасности действующих и сооружаемых АС. Задача оценки ПИН проводимого расчёта есть задача более сложная, чем сам расчёт и требует значительных усилий. Существенный вклад в ПИН ПС, кроме расчётной модели, могут вносить неопределённости входных данных как свойства веществ, эмпирические

коэффициенты взаимосвязи различных параметров, геометрические размеры и др. Всё это носит случайный характер и требует соответствующего подхода.

### **3. Учет погрешностей и неопределенностей результатов расчетов при их сопоставлении с экспериментальными данными**

Принято, что эксперимент является подтверждением корректности теории и расчётов. Всё зависит от качества эксперимента. Плохой эксперимент не выявит несостоятельность плохого расчёта и не подтвердит правильность хорошего расчёта. Под качеством эксперимента понимается как адекватность модели эксперимента и модели расчёта, так и корректное проведение эксперимента. С точки зрения отношения модели эксперимента поставленной в ПС задаче эксперименты можно классифицировать по трём категориям: (1) – натурный эксперимент; (2) – полумасштабный эксперимент; (3) – локальный эксперимент. Натурный эксперимент позволяет получать экспериментальные данные в условиях, соответствующих условиям расчётной модели ПС. Полумасштабный эксперимент предполагает отсутствие в эксперименте полного соответствия расчётной модели. Локальные эксперименты предназначены для определения взаимосвязи между некоторыми параметрами, используемыми в расчётной модели.

Решаемая ПС задача может основываться на любом располагаемом наборе указанных категорий экспериментов. Верификационный отчёт в виде матрицы верификации призван обозначить эксперименты, подтверждающие правомерность построения расчётной модели. В качестве таких экспериментов используются как широко апробированные в национальной и международной практике данные, так и специально проведённые для решаемой задачи эксперименты. Необходимым условием для поставленной задачи оценки ПИН ПС является наличие количественной информации о ПИН используемых экспериментов во всём диапазоне используемых параметров. В специальном материале о ПИН ПС, как часть верификационного отчёта или отдельным документом должны быть приведены матрицы неопределённости, матрицы чувствительности, характеристики всех используемых при верификации экспериментов. Даже при наличии информации о ПИН используемых



для верификации ПС экспериментов возникает нетривиальная задача оценки ПИН результатов расчётов, т.е. ПИН ПС. При натурном эксперименте, если есть уверенность, что все условия расчётной задачи при эксперименте соблюдены, можно сделать предположение, что ПИН ПС будет определяться ПИН эксперимента. При полумасштабном эксперименте и при множестве локальных экспериментов задача определения ПИН ПС сводится к оценке суммирования и интерференции ПИН экспериментальной информации и оценке ПИН неохваченных экспериментами проблем. Если отчёт по верификации ставит своей целью показать качественно приемлемость расчётной модели известным экспериментам и апробированным расчётным методам, то отчёт по ПИН ПС должен показать, как ПИН используемой входной информации сказывается на ПИН ПС.

Нетривиальной является задача трансформации в ПИН ПС информации о ПИН используемых в процессе верификации ПС экспериментов. Весьма редким является случай возможности полномасштабного натурального эксперимента, когда технические погрешности проведения самого эксперимента можно отождествить с ПИН ПС. Обычным является случай, когда верификация ПС основывается на ряде экспериментов, каждый из которых отражает отдельные подсистемы и процессы. Учёт погрешностей всех локальных экспериментов, погрешностей входных данных и используемых констант, а также других факторов требует для оценки ПИН ПС постановки и решения отдельной сложной задачи.

Каждая тематическая задача (нейтронная физика, теплогидравлика, прочность и др.) требует своего подхода по созданию математической модели и различны по уровню доверия к получаемым расчётами результатов. Адекватность математической модели есть задача соответствующих специалистов и автора ПС. Создаваемый в процессе аттестации ПС верификационный отчёт должен продемонстрировать приемлемость модели и методов решения. Но процесс этот в настоящее время больше качественный, т.к. не демонстрирует в количественных показателях степень приближения поставленной задачи к интересующей реальной картине.

Намечаемая цель иметь формализованную информацию о ПИН результатов расчёта для любых тематических направленностей ПС приводит к мысли о необходимости иметь некие общие требования по составу такой информации и формату её представления. Для аналогии

можно сослаться на развитую область метрологии и единства измерений [5], создавшей систему формализованных общих требований к получаемым результатам независимо от предмета измерения.

#### **4. Неопределённости и самозащищённость**

В самом общем понимании под самозащищённостью (естественной безопасностью) реакторной установки понимается в силу физико-химических законов отсутствие каких-либо инициирующих аварию исходных событий, а также развитие процесса в результате исходного события в безопасном направлении. Доказать подпадание ядерной установки под этот принцип не так просто, как случай с яблоком Ньютона – оно всегда падает вниз. В подавляющем числе случаев конкретного технического решения всегда имеется конечная вероятность непредусмотренных событий. В Фукусиме не предполагали, что надо противостоять воздействию на АЭС цунами такой силы. Мощность возможных землетрясений историческими наблюдениями и соответствующей наукой ограничена определённой амплитудой. Относительно природных воздействий современные и предлагаемые новые реакторы находятся в одинаковом положении - определить, что надо учитывать в проекте. При заданных исходных событиях развитие процессов по незапланированному сценарию может инициироваться, как показано выше, случайным характером значений параметров, формирующих процесс.

Современные реакторы также обладают защищённостью в виде коэффициентов запаса, системой дублирования, регламентацией учитываемых отказов. Последнее есть больше внутреннее внушение, что больше регламентированного быть не может. И те, и другие не исключают возможность негативных воздействий на установку природных и техногенных факторов. Самозащищённая установка покажет своё преимущество, если расчетом будет доказана меньшая вероятность радиационного воздействия на население и окружающую среду. Качественные предпосылки для этого есть, нужен вероятностный анализ надёжности поведения системы на основании технических разработок. Проведение такого анализа вызовет трудности не только из-за отсутствия данных по надёжности новых систем и элементов, но, главным образом, и из-за неопределённостей на сегодняшний день значений параметров, формирующих процессы.

## Заключение

По затронутой теме можно обозначить следующие задачи. Необходимо поднять культуру оценки погрешностей и неопределённостей при определении важных для безопасности показателей. Важно, чтобы этот фактор стал инструментом конструктора и проектировщика. Для создания основы надо развивать и совершенствовать теоретические подходы (сопряжённые функции и метод теории возмущений, метод Монте-Карло, теория нечётких множеств и др.). Теоретические разработки должны реализовываться в соответствующих методиках расчета и программных средствах для специфических задач обоснования безопасности. Аттестуемые Ростехнадзором ПС в обязательном порядке должны содержать специальный раздел в верификационном отчёте или отдельный документ по оценке погрешности и неопределённости получаемых результатов. Требование об оценке ПИН должно найти отражение в нормативных документах, например в новой редакции ОПБ АС.

Безусловно, проблему ПИН необходимо учитывать при подготовке кадров для нужд будущей атомной энергетики. Стоит задуматься о разработке в вузах дисциплины по источникам и оценке ПИН результатов расчётов и экспериментов и учёта такой информации в проектной и эксплуатационной деятельности.

## Литература

1. Ковалевич О.М. Совершенство правил безопасности с точки зрения ответственности за их нарушение. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, №4, 2011.
2. «Инструкцией об организации проведения экспертизы ПС, применяемых при обосновании и (или) обеспечении безопасности ОИАЭ» (РД-03-33-2008).
3. Требования к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании программных средств, применяемых для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии (РД-03-34-2000).
4. Труды всероссийского научно-практического семинара «Точность и неопределённость программных средств, используемых для обоснования и обеспечения безопасности ОИАЭ», НТЦ ЯРБ, Москва, 2007 г.
5. Ковалевич О.М. Оценка соответствия, метрология и расчеты. // Методы оценки соответствия. – 2013. – № 1. 9-10.

**ТРУДЫ НТЦ ЯРБ**

О.М. Ковалевич

**ИЗБРАННЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ  
2011 – 2013**

**Обновленное издание**