

СТАТЬИ

ДВЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ И ТРИ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ

Б.Г. Гордон, директор НТЦ ЯРБ, профессор МИФИ

Эту статью можно воспринимать как продолжение или заметки на полях книги [1]. Совершенствование нормативных документов тесно связано с развитием науки и техники, в частности, с методологией анализов безопасности. Они, с одной стороны, служат источником целого ряда требований, с другой – в них используются нормы и правила как база экспертных оценок. Для успокоения внимательного читателя книги [1] уточним, что речь пойдет о ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии, которую предложено рассматривать наподобие комплексного числа и которая состоит из двух частей: активной (действительной, реальной) и потенциальной (пассивной, виртуальной). Там же содержатся основные определения.

Активные угрозы безопасности имеют детерминированное происхождение, их носителем является вещество или энергия, они воздействуют в реальности, могут быть **измерены** инструментально и легко уменьшены. Масштабом их измерения служит превышение реальных доз и концентраций над предельно допустимыми значениями. Таким образом, состояние защищенности от активных угроз (безопасность) человека и природы также может быть измерено численно, а следовательно, эта составляющая безопасности может быть повышена или понижена.

Потенциальные угрозы имеют вероятностное происхождение, их носителем являются представления человека. Угрозы воздействуют только при своей реализации, до нее они не могут быть измерены инструментально, а только **рассчитаны** как произведение вероятности реализации опасного события на величину его последствий (ущерб). Это произведение называется риском события. Поскольку последствия могут быть многообразны, многообразны и риски события, и они рассчитываются в тех же единицах, что и ущерб. В настоящее время расчеты вероятностей реализации потенциальных угроз и величины их последствий различны в разных отраслях промышленности, не имеют единых методик и алгоритмов, следовательно, результаты расчетов рисков событий можно весьма осторожно сопоставлять между собой.

Эти две составляющие безопасности имеют разную физическую природу: активная составляющая детерминирована, потенциальная – случайна. В книге [1] подробно описана система идей, постепенно находящая все больше последователей, так как позволяет решать различные проблемы безопасности объектов.

В частности, понимание проблемы обеспечения безопасности затруднено лингвистически. В русском языке после слова “безопасность” надо добавлять название того, о чьей безопасности идет речь, непременно в родительном падеже. В различных нормативных документах используются разные определения терминов, поэтому смешение их часто приводит к противоречиям и неясности.

Радиационная **безопасность людей и окружающей среды – это их состояние** в отсутствие вредного воздействия ионизирующего излучения или его малости по сравнению с нормативными пределами, установленными медиками в законе [2]. Ядерная и радиационная **безопасность объекта – это его свойство** ограничивать указанное воздействие теми же установленными пределами, как определено в нормативном документе [3].

Если объект с некоторой вероятностью может потерять это свойство, то для сохранения состояния защищенности людей и создаются государственные органы регулирования и системы административного управления, разрабатываются меры по аварийной

готовности и реагированию при авариях, методы оценки и расчета этой вероятности (вероятности аварий). Если бы объект можно было признать полностью безопасным, то эти системы, меры и методы были бы излишни и безопасность объекта была бы тождественна безопасности человека при условии сохранения режима нераспространения. Это иллюстрируется рис. 1 и 2.

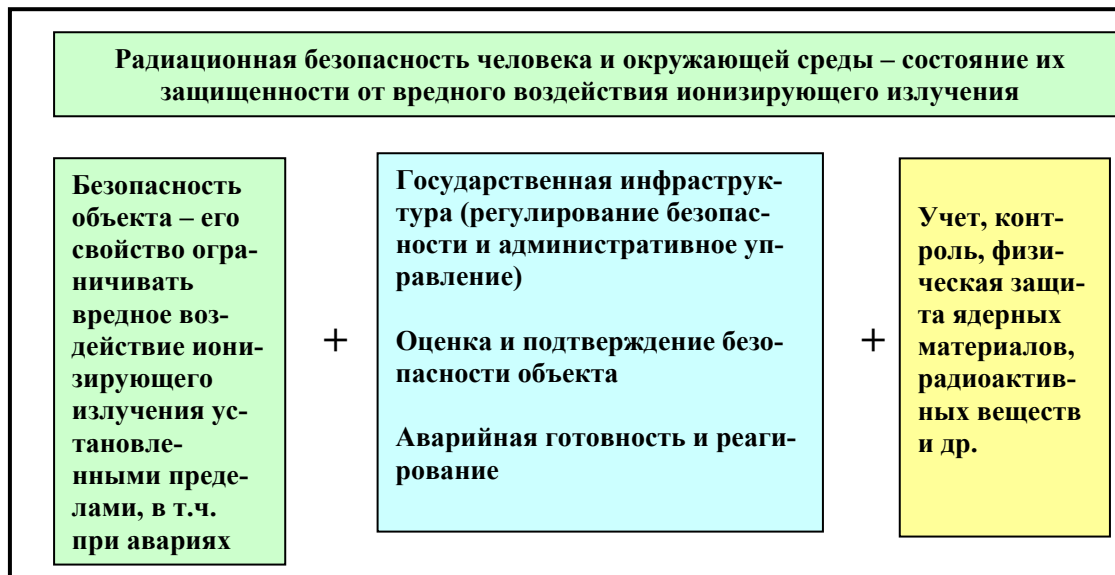


Рис. 1. Принципиальная схема обеспечения безопасности

Соблюдение норм и правил должно обеспечивать безопасность объекта. Это необходимое, но не достаточное условие безопасности человека, для гарантии которой нужно решение общих вопросов безопасности и реализация режима нераспространения. Поэтому требования к безопасности атомных объектов разных типов и к безопасности деятельности на них неизменно дополняются общими для всех объектов требованиями к методам оценки безопасности, к государственной инфраструктуре, к аварийной готовности и реагированию.

Данная модель основывается на действующем законодательстве и, как любая модель, проверяется на асимптотических приближениях. Представим себе очень опасный атомный объект, на котором аварии происходят столь же часто, как например, на шахтах или на транспорте. Пусть учет, контроль и физическая защита обеспечиваются на нем так же тщательно, как иллюстрируется на рис. 1. Тогда безопасность человека и окружающей среды будет обеспечиваться только за счет государственной инфраструктуры, аварийной готовности и реагирования. Иными словами, прежде всего удалением человека как можно дальше от опасного объекта.

С другой стороны, если объект детерминистски безопасен, то есть аварии на нем практически исключены и во всех случаях не предусматривают сверхнормативное радиационное воздействие за пределами площадки объекта, то государственная инфраструктура, аварийная готовность и реагирование, по существу, оказываются избыточными и не нужными. Оба последних случая, иллюстрируемые рис. 2, навряд ли могут быть реализованы на практике, но они помогают понимать важность всех элементов обеспечения безопасности и связь между безопасностью, с одной стороны, человека и окружающей среды и, с другой – объекта.

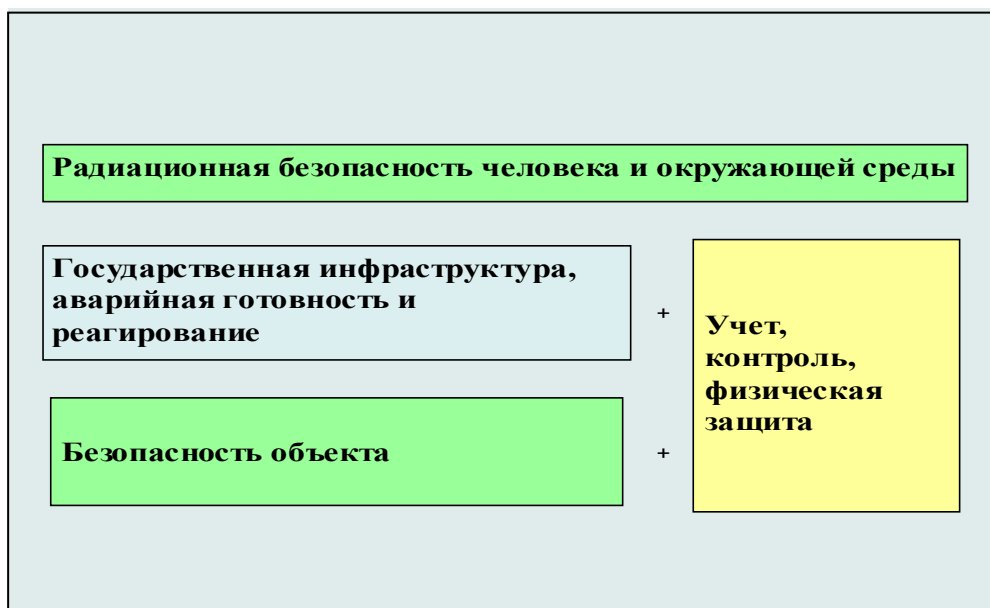


Рис. 2. Асимптотические приближения обеспечения безопасности.

Лежащий на земле кирпич не нуждается в требованиях к его безопасности для нашей головы, разве что – к безопасности для пальцев ног. Требования к безопасности объекта нужны именно потому, что в некоторых случаях он может оказаться опасным. Наше же состояние защищенности от него можно обеспечивать отъездом за тридевять земель.

В документах порой встречается иной подход. Радиационная безопасность имеет как бы два аспекта: технический и санитарно-гигиенический, приведенные в постановлении [4]. Первый относится к сфере Ростехнадзора, второй – Минздрава. Такого разделения нет в законе [5], хотя, конечно, могут существовать разные термины и определения. Используемое понятие “радиационная защита”, по существу, равнозначно радиационной безопасности населения. Подход же, иллюстрированный рис. 1, основан на законах [2, 5] и представляется ясным, строгим и последовательным. Подробно эта проблема, а также понятие “абсолютная (детерминистская) безопасность” обсуждаются в книге [1].

Предложенная на рис. 1 схема продуктивна еще потому, что позволяет наглядно обосновывать решение целого ряда проблем, в том числе разделение ответственности при регулировании безопасности. В реальности нет у безопасности никаких технических или санитарно-гигиенических аспектов. Есть два различных определения: безопасности человека и безопасности объекта. Первую регулирует Минздрав, вторую – Ростехнадзор. Такое разделение было принято еще в давнем соглашении между Санэпиднадзором и Госатомнадзором. Оно должно быть последовательно осуществлено и в нормативных документах, и в процедурах надзора. Лицензирование видов деятельности на объектах использования атомной энергии проводит Ростехнадзор не потому, что он “главнее”, а потому что он рассматривает обоснования **безопасности объектов**. Но граничные условия при анализах, пределы безопасного воздействия ионизирующего излучения на человека устанавливает Минздрав.

Кстати, эта схема наглядно иллюстрирует различие в организации надзора за безопасностью объектов и за функционированием систем учета, контроля и физической защиты объектов. Схема подтверждает необходимость административного разделения

этих видов надзора со всеми вытекающими из него последствиями. Она подтверждает стремление Ростехнадзора сконцентрировать свои усилия на регулировании мер, направленных на **предотвращение аварий** на объектах, и т.п.

Рассмотрим, как связаны между собой три источника наших знаний о безопасности объектов. Имеются в виду три вида анализов безопасности: детерминистский, вероятностный и анализ опыта эксплуатации. На последний традиционно ссылаются при проектировании и обосновании безопасности объектов, при разработке нормативных технических документов.

Анализ опыта эксплуатации использует результаты уже произошедших, детерминистски обусловленных событий и, в свою очередь, состоит из двух этапов: анализ нарушений эксплуатации и установление обратной связи по опыту эксплуатации для того, чтобы предотвращать повторение нарушений. Часто можно слышать: “Анализ опыта эксплуатации лежит в основе заключений о безопасности объекта”. Это лишь отчасти верно. Опыт эксплуатации относится к прошлому объекта, поэтому на его базе можно только строго логично утверждать, что **безопасность объекта была обеспечена**.

Уверенно экстраполировать временную зависимость любой величины на будущее можно исключительно при знании закона изменения этой величины и при надежде, что в грядущем этот закон сохранится. Такое заключение возможно лишь для детерминистских процессов, которыми определяется только активная составляющая безопасности и то до тех пор, пока не вмешивается человек. Законы распространения ионизирующего излучения, способы и правила защиты от его воздействия известны. И только пока они выполняются, есть основание утверждать, что **активная составляющая безопасности будет обеспечена**.

Потенциальная же составляющая безопасности по определению случайна. Это значит, что отсутствие аварий в прошлом не гарантирует их отсутствия в будущем. Точнее, гарантирует с той вероятностью, которая как раз и рассчитывается вероятностными анализами безопасности (ВАБ). Вообще говоря, здравый смысл подсказывает, что, если авария может произойти, то, чем дольше она не происходит, тем выше вероятность того, что она произойдет. И не только за счет старения оборудования, снижения надежности, привыкания персонала и т.п., но и потому что наши знания ограничены и не могут охватывать всю совокупность возможных причин аварии. Об этом поговорим ниже. Напомню, что одно из значений глагола “обеспечивать” – гарантировать. Именно в этом смысле следует понимать **обеспечение безопасности объекта в будущем: гарантия с некоторой вероятностью**. А вот обеспечивать радиационную безопасность человека можно абсолютно, как говорилось, отправив его подальше от радиационно опасного объекта, поскольку технически исключить радиационные воздействия на человека после ядерной аварии вряд ли возможно. Это еще одно свидетельство тому, что многие споры возникают от неточного словоупотребления.

Детерминистский и вероятностный анализы безопасности составляют тот опыт науки и техники, который служит другой основой обоснований безопасности объектов и требований нормативных технических документов. В основе детерминистского анализа безопасности (ДАБ) лежит перечень предусмотренных проектом исходных событий и их сочетаний, которые могут приводить к проектным авариям. Расчет аварийных режимов с учетом работы спроектированных систем безопасности должен доказывать, что аварийные проектные пределы не достигаются, а последствия проектных аварий локализуются. Программные средства, с помощью которых проводится ДАБ, должны быть верифицированы. Разнообразные экспериментальные исследования в этой области служат для обоснования работоспособности различных систем, дают материал для верификации, уточняют характеристики исследуемых процессов и т.п. Все это обеспечивает достоверность и точность ДАБ.

В отличие от сказанного об опыте эксплуатации, который накапливается по мере возрастания времени эксплуатации, результаты ДАБ практически не зависят от этого времени. ДАБ проводят еще до всякой эксплуатации, но для расчетов проектных аварий

характеристики объекта (время кампании, утонение стенок твэл, загроможденность проходных сечений и т.п.) должны приниматься консервативно самыми наихудшими.

Современные программные средства ДАБ для запроектных аварий используют коды наилучшей оценки, с распределенными по объему параметрами, CFD и т.п. Тем не менее исходные данные и граничные условия в них консервативно применяются наихудшие для конечного результата с тем, чтобы предусматривать и скомпенсировать влияние недостатка наших знаний. Хотя это противоречит целям анализа запроектных аварий, но **консерватизм наших прогнозов способен лишь отчасти скомпенсировать ограниченность наших знаний.**

Обеспечение потенциальной составляющей ядерной безопасности, по существу, означает предотвращение запроектных аварий. Методы ДАБ доказывают, что при всех заранее предусмотренных сценариях проектных аварий повреждение твэлов не превысит установленные пределы. Но они и не претендуют на доказательство того, что иных непредвиденных аварий не произойдет. Как показывает опыт изучения аварий, как раз наиболее крупные запроектные аварии происходили по не предусмотренным заранее сценариям. А если и были некоторые ученые, предсказывавшие возможность аварий типа Три Майл Айленд или Чернобыля, то стечение обстоятельств, приводящих к этим авариям, большинству специалистов казалось невероятным.

Вероятности запроектных аварий изучают с помощью методов ВАБ. Теория вероятностей имеет дело с макрообъектами, полностью подчиняющимися законам причинности. Однако, когда объектов и воздействий на них много, когда знаний об их взаимодействии недостает, то поведение объектов приходится описывать вероятностными методами. В отличие от квантовой механики в макромире нет физических законов, препятствующих расчету причинно-следственных явлений. Есть ограничения технических средств и методов выполнения математических расчетов. Несмотря на впечатляющие успехи в этой области, в ближайшее время ВАБ сохранится как единственный вид анализа, позволяющий рассчитывать **количественные показатели потенциальной составляющей безопасности.** Действительно, если авария – случайное событие, то его частота может быть рассчитана только вероятностными методами.

За последние 10-15 лет возможности и сфера применения ВАБ существенно расширились. У нас в стране у многих сохраняется весьма скептическое отношение к нему, основанное на мало обоснованных и легкомысленных результатах первых ВАБ, выполненных еще в 90-е годы прошлого века. Как и любой источник знаний, ВАБ имеет свои ограничения, которые надо хорошо знать, чтобы использовать его реальные возможности, а нам не обольщаться его мнимыми обещаниями.

Источники случайных событий, которые могут приводить к авариям, – технические устройства и действия человека, вмешивающегося в работу этих устройств. Достижения ВАБ последних лет связаны с совершенствованием математических методов, уточнением баз данных отказов, повышением надежности оборудования и т.п. Частота запроектных аварий на современных энергоблоках атомных станций оценивается величинами порядка 10^{-5} 1/реакторгод. Вклад человеческого фактора в результат расчетов широко изменяется – от 10 до 60 %. Даже если взять наименьшую величину, то 10^{-6} 1/реакторгод представляется тем пределом, ниже которого расчеты этой частоты методами ВАБ нельзя считать достоверными. Указанное значение может быть признано границей возможностей вероятностных методов оценки безопасности.

Вообще говоря, оценивать границы своих возможностей, отдавать отчет в способностях своего инструмента должны сами специалисты в области ВАБ. Непредсказуемость влияния человека в настоящее время представляется непреодолимой причиной ограничения возможностей ВАБ. Это как попытка измерять расстояние, меньшее 1 мм, обычной линейкой.

Читатель книги [1] может поймать меня на слове: на каком же основании в книге вероятность аварии на детерминистски безопасном реакторе оценивается в 10^{-9} ? Эта величина получена с помощью не вероятностных, а детерминистских оценок. Именно получив ее, я, с сожалением, понял, что с помощью современных методов ВАБ нельзя дока-

зывать безопасность еще не созданных детерминистски безопасных реакторов. Что ж, и то, и другое – дело будущего.

В заключение хотелось бы отметить, что в современной литературе, включая документы МАГАТЭ, широко распространено мнение, что анализы опыта эксплуатации и детерминистские анализы являются основными в оценках безопасности, а вероятностные анализы – дополнительными. При всей относительности подобных оценок следует признать, что каждый метод анализа имеет свои достоинства и ограничения и **они равноправно необходимы для всестороннего исследования ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии**. Не зря же требования выполнения трех видов анализа содержатся в отечественных нормативных документах, а совершенствование методов этих анализов – актуальная задача в обоснование программы развития современной атомной энергетики.

Литература

1. Гордон Б.Г. Идеология безопасности. М.: НТЦ ЯРБ, 2006.
2. Федеральный закон “О радиационной безопасности населения” № 3-ФЗ от 9 января 1996 г.
3. ОПБ АС-88/97. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 декабря 1997 г. № 1511 “Об утверждении Положения о разработке и утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии и перечня федеральных норм и правил в области использования атомной энергии”.
5. Федеральный закон “Об использовании атомной энергии” № 170-ФЗ от 21 ноября 1995 г.