

Реалистичные оценки риска

М. Левенсон* и Ф. Ран**

Безопасность АЭС является предметом неутрачиваемых споров в мире: спорящие задаются вопросом — какова вероятность большой утечки радиоактивности? Сторонники атомной энергетики утверждают, что в худшем случае, эта вероятность равна одному случаю на каждый миллион реакторо-лет. Противники, в свою очередь, заявляют, что такая утечка может произойти в любой момент и что подобные случаи будут происходить часто. Смысл этих споров сводится к тому, чтобы установить вероятность аварий. Однако ни одна из сторон не строила свои аргументы на основе наихудшего случая утечки, который может произойти в действительности, хотя объективный анализ такого случая с учетом всех закономерностей является необходимым условием для правильного определения риска, которому подвергается население.

В случае возникновения аварии на реакторе основная опасность заключается в том, что инженерные средства обеспечения радиационной безопасности выйдут из строя и радиоактивные продукты деления, находящиеся в активной зоне, начнут поступать в атмосферу. Риск для населения в результате такой ядерной аварии зависит от трех факторов:

- вероятности возникновения некоторой последовательности нежелательных событий (ущерба нет, если авария не происходит);
- последствий, которые будут иметь место в случае этих нежелательных событий (ущерба нет, если не происходит утечка радиоактивности);
- мер, принимаемых с целью ликвидации последствий аварии, если она происходит.

За прошедшее десятилетие была проделана огромная работа по оценке вероятности. Появился ряд probabilisticких методологий, среди которых наиболее часто упоминается исследование по безопасности реакторов (Wash-1400), опубликованное в 1975 году группой исследователей, возглавляемой профессором Норманом Расмуссеном из Массачусетского технологического института. Это исследование финансировалось Комиссией по регулированию ядерной деятельности США.

В докладе Wash-1400 техническая идея, которая использовалась для разработки и оценки сложных технологий, представлена в виде методологии многократного применения. Согласно Расмуссену,

прежде всего необходимо определить возможные начальные события аварий, а именно: что может выйти из строя, что может не сработать, что может быть сделано неправильно и т.д. Затем составляется дерево событий для того, чтобы показать возможное распространение каждого начального события. Например, если выход из строя трубопровода приводит к началу аварии, связанной с утечкой теплоносителя, то в этом случае подача электроэнергии для включения аварийных водяных насосов может сработать или не сработать. Если подача электроэнергии будет включена, то запуск насосов может состояться или не состояться и т.д.

Дерево событий в максимально возможной степени отражает все события, которые могут привести к утечке радиоактивности, затем для каждого события определяется соответствующее числовое значение вероятности; вероятность крупной ядерной аварии можно определить путем сложения всех ветвей дерева и умножения степеней вероятности. В докладе Wash-1400 содержится вывод о том, что вероятность катастрофы с жертвами среди населения (число погибших — 1000 человек) не превышает единицы на один миллион реакторо-лет.

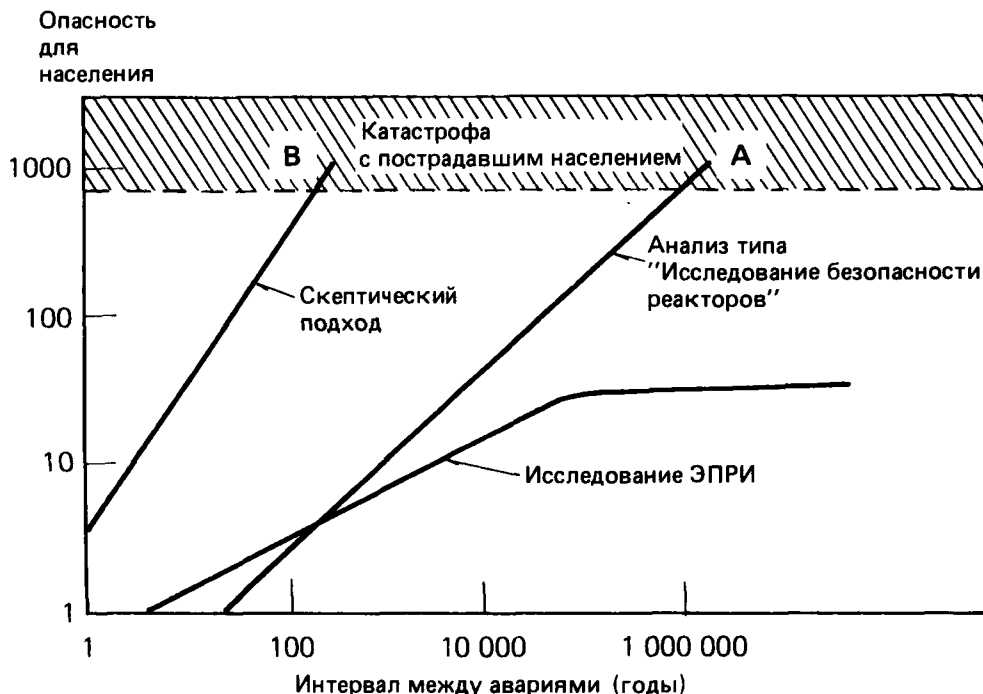
Завышенные оценки риска

Исследования*, проведенные недавно в ЭПРИ, показали, что, как бы ни был оценен доклад Wash-1400 с точки зрения определения вероятности, в этой работе в значительной мере завышена оценка последствий и, таким образом, преувеличен сам риск аварий. Хотя доклад Wash-1400 представляет собой шаг вперед по сравнению с ранее проведенными в Брукхейвенской национальной лаборатории исследованиями (Wash-740) по изучению этой же проблемы, он все-таки далеко не отражает ту реальную ситуацию, с которой, возможно, придется столкнуться во время аварии на реакторе. Авторы доклада Wash-1400 не имели возможности с достаточной степенью точности смоделировать физические условия химических процессов, которые происходят во время аварии. Результатом их труда является эффективная, однако упрощенная модель с консервативными допущениями относительно многих процессов сложных или неопределенных явлений, в частности относительно процессов, касающихся радиоактивно-

* Фирма "Бехтель пауэр корпорейшн", Сан-Франциско, шт. Калифорния, США.

** Научно-исследовательский электроэнергетический институт (ЭПРИ), Пало-Альто, шт. Калифорния, США.

* Реалистичные оценки последствий ядерных аварий, М. Левенсон и Ф. Ран, Научно-исследовательский электроэнергетический институт (ЭПРИ), Пало-Альто, шт. Калифорния, 94303, США (1981).



Различные оценки опасностей для населения

- Наиболее тщательно выполненные анализы вероятностей, такие, как исследование по безопасности реакторов (Wash-1400), показывают, что катастрофа с пострадавшим населением может происходить не чаще одного раза в один миллион реакторо-лет (А).
- Многие опасаются, что этот вывод неправилен и что такая катастрофа может случаться чаще (В).
- Исследования, проведенные ЭПРИ, свидетельствуют о том, что естественные процессы могут ограничивать распространение радиоактивности и снижать связанные с этим опасности для населения.

го выброса. Эти элементы консерватизма имеют сложный характер. В результате в докладе Wash-1400 прослеживается тенденция к значительно-му завышению оценки последствий аварии.

В докладе Wash-1400, а также в других исследованиях, посвященных проблеме риска, не учитываются должным образом ряд химических и физических закономерностей, которые постоянно действуют и приводят к уменьшению выброса радиоактивности. Вот некоторые из этих закономерностей, которыми не следует пренебрегать.

- Стабильные, способные к дисперсии аэрозоли трудно получить. Высококонцентрированные аэрозоли быстро соединяются, аэрозоли с низкой плотностью чрезвычайно быстро увеличивают их эффективную плотность в присутствии водяных паров, служащих в качестве ядер конденсации.
- Йод в химическом и физическом отношении реактивен во многих своих формах. Поскольку все внутренние поверхности защитной оболочки (контейнмента) здания покрыты краской, пластиком или органической пленкой, обеспечивается высокая степень удержания йода. Кроме того, происходит поглощение йода на поверхности аэрозольных частиц, которые быстро сцепляются между собой и выпадают в виде осадка. В обоих случаях происходит

быстрая иммобилизация значительного количества йода.

- Аэрозоли, как правило, удерживаются при прохождении через трещины и проходы в трубах, через стены отсеков или контейнмента здания.
- Аэрозоли, имеющие высокую концентрацию и большую физическую плотность, оседают вблизи их источника. Несмотря на то, что первоначальная масса частиц может быть довольно большой, лишь незначительная часть частиц удается избежать участия в этом процессе оседания и оставаться в газоаэрозольном состоянии.
- Контейнмент здания и оборудование внутри него образуют обширные поверхности, на которых происходит осаждение и адсорбция продуктов деления. Вследствие того, что здание имеет многосекционную конструкцию и оснащено сложной системой трубопроводов и аппаратных средств, вытекающее вещество должно пройти мимо обширных поверхностных площадей прежде, чем произойдет его выброс.
- Наличие влажной среды в контейнменте реактора приводит к тому, что большинство растворимых продуктов деления, которые поступают в атмосферу, растворяются. Поскольку авария с расплавлением активной зоны является результатом потери теплоносителя, она всегда будет сопровождаться выделением большого количества пара и воды. Поэтому

туманообразная завеса или дождеподобные условия будут существовать, даже если в контейменте не применяется орошение. Это происходит оттого, что теплоемкость здания и оборудования способствует конденсации влаги и ее стеканию со всех поверхностей. Благодаря этим явлениям значительное количество продуктов деления в реакторном здании будет подвергаться вымыванию до того, как они смогут поступить в атмосферу. Как указывалось ранее, влага в дальнейшем способствует агломерации аэрозолей и увеличивает их плотность.

- Сам грунт действует в качестве фильтра для любых выделяющихся наружу продуктов деления в случае аварии с "расплавлением" или "атмосферным выбросом". Если избыточное давление приводит к разрушению перегородок или уплотнений в конструкции защитной оболочки (контеймента), то обычно утечка радиоактивных веществ происходит через другие здания. Это, в свою очередь, предполагает возможность дальнейшего осаждения и выпадения радиоактивности.

- В случае крупной аварии, связанной с разрушением контеймента, присутствие значительного количества воды и паров плюс теплоемкость защитной оболочки и обломков здания будут обеспечивать иммобилизацию значительной доли радиоактивности.

Действие каждого из упомянутых выше факторов призвано уменьшать величину прогнозируемых выбросов и в значительной степени относительное количество йода и частиц в благородных газах, присутствующих в выбросах. В обоих случаях будет происходить уменьшение степени последствий аварии для населения. Количество смертных случаев с быстрым и постепенным исходом в районе расположения реактора, которые фактически явятся результатом аварии, будет значительно меньше прогнозируемого количества, которое указывается в проведенных ранее исследованиях, например, в докладе Wash-1400. Так, например, уменьшение в десять раз предела источника* по йоду и частицам означает, что в результате аварии *не будут* иметь место случаи с быстрым смертельным исходом.

Эвакуация неоправдана

Значение этой новой оценки, основанной на закономерностях химии и физики, выходит за рамки чисто технической проблемы. Вопрос о том, какие меры по ликвидации последствий аварии необходимо принимать, должен решаться с учетом *фактического* риска для населения. В случае возникновения аварии органы здравоохранения и обеспечения радиационной безопасности должны решать, каким образом нужно обеспечить защиту населения. С одной стороны, эти органы должны учитывать множество рисков, связанных с эвакуацией: смертные случаи вследствие дорожно-транспортных происшествий и увеличения числа сердечных приступов у эвакуируемого

населения, а также психические травмы, вызываемые стрессовой ситуацией во время эвакуации; с другой стороны, им необходимо определить фактическую опасность облучения. Если оценка размеров выброса радиоактивных веществ сильно завышена, то может оказаться, что предпринимаемые меры по ликвидации последствий аварии являются ненужными и, может быть, даже вредными.

В настоящее время эвакуация является рекомендуемой защитной мерой на случай большинства предполагаемых выбросов радиоактивности. Однако почти во всех случаях эта мера не является необходимой. В течение последнего десятилетия были разработаны многочисленные модели эвакуации, учитывающие динамику распространения радиоактивного шлейфа и перемещения населения. Даже в случае использования этих моделей и пределов источника, которые применяются в докладе Wash-1400, техническое обоснование эвакуации крупного масштаба представляется минимально справедливым. Если же использовать более реалистичные пределы источника для радиоактивных выбросов, основанные на физических и химических законах, то обоснование такой эвакуации будет даже еще менее справедливым.

В случае аварии, связанной с расплавлением активной зоны (отказ всех инженерных средств защиты плюс разрушение контеймента), дозы излучения за пределами площадки, вероятно, превысят уровень, регламентированный в проекте руководства по обеспечению защитных мер, разработанном Агентством охраны окружающей среды США, однако лишь в зоне с небольшим радиусом – возможно, на расстоянии одной или двух миль от реактора. Только в радиусе этой зоны может оказаться целесообразной эвакуация. (В отличие от этого Агентство охраны окружающей среды США предлагает осуществлять эвакуацию населения в радиусе 10-мильной зоны в случае аналогичного выброса радиоактивности в результате аварии, связанной с расплавлением активной зоны). Более того, эвакуация, как мера защиты населения, может оказаться не более эффективной, чем нахождение внутри помещений с плотно закрытыми дверями и окнами в целях ограничения дозы облучения. Фактор времени между началом аварии и фактической угрозой для населения может быть относительно большим – в количественном выражении он может быть равен часам и дням, а не минутам. Далее, если допустить, что угроза становится реальной сразу же после начала аварии, то единственным выходом из положения может быть использование укрытий. Несмотря на то, что планы эвакуации могут оказаться целесообразными, они должны быть основаны на реалистичных условиях, которые могут существовать во время аварии.

Важно также использовать реалистичный подход к оценке опасности. Расчеты, в основу которых положены "консервативные" допущения, как общепринято считать, повышают "запас прочности", однако в действительности они могут *понижать* его за счет введения в методику опасностей, не учтенных в оценке. Эвакуация связана со множеством опасно-

* "Предел источника" – термин, используемый в лицензировании. Под этим термином понимается теоретическое количество радиоактивных продуктов деления, выделяющихся в процессе аварии на реакторе.

стей, как реальных, так и предполагаемых. Идея целесообразности или необходимости немедленной или крупномасштабной эвакуации в целях обеспечения безопасности населения является, по-видимому, ошибочной в обоих отношениях.

Следует считать недостаточно признанной меру увеличения безопасности за счет применения укрытий и контролируемой подачи воздуха. Эта мера, по сути дела, сводится к тому, что люди остаются в помещениях с плотно закрытыми дверями и окнами и отключенной приточной вентиляцией. Преимущество эвакуации по сравнению с размещением населения в укрытиях во многом зависит от конкретных особенностей данной аварии. Среди таких особенностей, которые необходимо принимать во внимание, могут быть серьезность аварии, местоположение площадки и метеорологические условия. Лишь в некоторых случаях и для ограниченного количества лиц эвакуация может оказаться лучшим средством, чем укрытие.

Сравнение рисков

Точные ответы на вопросы о том, следует ли производить эвакуацию людей, когда их эвакуировать, как далеко и в каком направлении, зависят от конкретных характеристик каждой площадки и

особенностей аварии. Однако ни в коем случае анализ нельзя считать полным, если в него не включены расчеты, связанные с укрытием, и если не были рассмотрены на равной консервативной основе ядерные и неядерные риски.

Действительный риск для населения в результате ядерной аварии является функцией трех факторов: вероятности аварии; последствий аварии; эффекта мероприятий по ликвидации последствий аварии. Используемая в настоящее время процедура "консервативных" допущений на каждом этапе расчетов приводит к получению оценки риска, которая на один или два порядка величины завышена по сравнению с обычно допускаемыми высокими коэффициентами безопасности.

Когда такие консервативные допущения используются регулирующими органами в процессе лицензирования, они приводят к дополнительному "неоправданному" увеличению коэффициента безопасности. Это может явиться причиной возрастания общего риска из-за чрезмерного завышения пределов источника и, таким образом, переоценки преимуществ мероприятий, подобных эвакуации. В свою очередь, подобные ошибки могут привести к тому, что большое количество людей может быть поставлено в условия, при которых они будут подвергаться воздействию ненужного риска.