

ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ РИСКА И БЕЗОПАСНОСТИ

О. И. ЛАРИЧЕВ

Доктор технических наук

Появление современных крупномасштабных технологий—атомных электростанций, терминалов с сжиженным газом, морских буровых установок, больших химических комбинатов — привело, наряду с экономическими выгодами в народном хозяйстве, к некоторым нежелательным последствиям¹. Аварии на таких производствах, время от времени происходящие в разных странах, связаны с человеческими жертвами и большим ущербом для окружающей среды. Хотя предварительные расчеты показывают, что вероятность таких аварий мала, они все-таки происходят. Более того, в среде специалистов появляется точка зрения, что меры, направленные на достижение абсолютной безопасности при использовании крупных технологий, связаны с очень большими расходами и делают сами технологии не рентабельными. В ряде случаев и эти меры не могут полностью гарантировать исключения возможности аварии.

В связи с этим возникает совокупность научных и практических проблем. Как найти рационально обоснованный уровень безопасности? Как рационально выбрать место для расположения нового производства, авария на котором потенциально может привести к крупным нежелательным последствиям? Как измерять риск для индивидуума и коллектива? Эти и другие подобные вопросы составляют предмет области исследований, получившей название «анализ риска».

С методологической точки зрения проблемы анализа риска являются одним из направлений теории принятия решений. Действительно, проблемы определения допустимого уровня безопасности, стандарта, уровня риска, места для нового предприятия — это проблемы выбора одного из нескольких возможных вариантов решений. Выбор обязательно должен осуществляться с учетом многих и обычно противоречивых критериев (экологических, технических, социальных, экономических и др.) оценки таких вариантов. Поэтому многокритериальные методы принятия решений² могут рассматриваться как средство решения проблем анализа риска.

Направление исследований

В настоящее время над проблемами анализа риска работают междисциплинарные группы специалистов, объединяющие психологов, математиков, инженеров, специалистов по информатике, технологов различных профилей. Можно выделить три основных направления исследований в этой области.

Измерение риска (восприятие его людьми, способы его количественного определения).

Повышение безопасности крупномасштабных технологических систем. Здесь рассматривается следующий круг вопросов: определение допустимого уровня риска (установление стандартов); выбор места расположения новых систем; проблемы взаимодействия человек—машина; разработка более безопасных технологий; определение экономически оправданного уровня затрат на безопасность.

Аварии и их анализ. Рассмотрение причин возникновения и процесса развития аварий; организационно-управленческие вопросы подготовки к возможным авариям; управление в чрезвычайной обстановке; анализ последствий аварий.

Все эти направления связаны друг с другом. И измерение риска и анализ аварий нужны в конечном счете для повышения безопасности крупномасштабных технологических систем. Посмотрим, какие результаты получены к настоящему времени в каждом из этих направлений.

¹ Легасов В. А. Проблемы безопасного развития техносферы // Коммунист. 1987. №: 8.

² Емельянов С. В., Ларичев О. И. Многокритериальные методы принятия решений. М.: Знание, 1985.

Измерение риска

Под измерением риска понимают определение опасности от того или иного источника (вида деятельности) для индивидуума или группы. Различают риск коллективный и индивидуальный. В измерениях риска можно выделить четыре основных направления.

Первое из них назовем инженерным подходом. Основные усилия направляются здесь на сбор статистических данных о поломках, авариях, связанных с утечкой вредных веществ в окружающую среду.

Обычно анализ риска, вызванного функционированием сложных технологических систем, представляет собой расчет вероятностей аварий: построение «деревьев отказов» и «деревьев событий». При построении деревьев отказов начинают с той или иной поломки или отказа и определяют по причинно следственным цепочкам, к каким событиям это может привести. При построении деревьев событий идут от нежелательного события и пытаются проследить причины, которые могли к нему привести. При этом стараются приписать количественные значения вероятности каждой из вершин, что позволило бы количественно определить вероятности поломок, отказов и других нежелательных событий. Там, где не хватает статистических данных, относящихся к работе тех или иных элементов, стараются получить их при помощи специально организованных испытаний. Одним словом, этот подход к измерению риска обычно используется инженерами при расчете надежности любых технических систем.

Второе направление можно назвать модельным. В нем разрабатываются модели процессов, приводящих к нежелательным событиям. К нему относятся работы, в которых пытаются найти статистически значимую зависимость между действием опасных веществ на человека и увеличением количества тех или иных заболеваний. Разрабатываются, модели воздействия тех или иных веществ на население непосредственно и через продукты питания. Существуют модели воздействия опасных веществ на окружающую среду, позволяющие оценить уровень ее загрязнения и даже моменты экологических катастроф³.

При использовании, как первого, так и второго подхода к измерению риска часты случаи, когда некоторые зависимости недостаточно понятны, а статистических данных не хватает. В таких случаях единственным источником сведений являются эксперты. Перед ними ставятся задачи оценки в количественном виде тех или иных вероятностей, от них получают оценки связей между различными параметрами и событиями. Следовательно, третий подход к измерению риска может быть назван экспертным.

Наконец, существует четвертый, так называемый социологический подход, когда пытаются измерить восприятие населением и его отдельными группами того или иного риска. Широко известны исследования, в которых определялись оценки риска при различных видах деятельности, даваемые людьми во время социологических опросов⁴. Эти опросы выявили ряд интересных явлений. Люди предпочитают добровольный риск (например, альпинизм, курение) принудительному, охотнее идут на риск, если они могут как-то влиять на его степень. Они обращают больше внимания на достаточно частые события (например, мелкие аварии) и не воспринимают редкие, маловероятные события, вероятности порядка одного шанса из миллиона.

Рассматривая все четыре подхода к измерению риска, можно отметить, что они имеют равные области применения (хотя в ряде случаев эти области пересекаются) и не свободны от недостатков. Инженерный подход применим для старых, хорошо изученных технологий, где существует детальная статистика, а человек мало влияет на надежность работы. В современных крупномасштабных технологиях надежность работы существенно определяется человеко-машинным взаимодействием. Несомненный факт — человеческие ошибки, связанные с большинством крупных аварий. Вот почему оценки вероятностей тех или иных устройств, найденные с помощью традиционного инженерного подхода, вызывают недоверие: по этим

³ Мусеев Н. Н. Экологический императив // Химия и жизнь. 1987. № 2.

⁴ Fishhoff B. e. a. Acceptable risk. Cambridge University Press. 1981.

оценкам аварии практически невозможны, а в действительности они происходят. Даже чисто технические причины этих аварий определяются совпадением крайне маловероятных событий, для которых нет надежной статистики.

Имеет существенные недостатки и модельный подход. Современный уровень знаний во многих областях (например, в биологии) недостаточен для построения надежных моделей воздействия вредных веществ на человеческий организм (прямо или через окружающую среду). Следовательно, модели строятся на тех или иных гипотезах. Статистических данных для их проверки часто не хватает.

Экспертный способ измерения риска нередко оказывается единственным выходом из положения. Но и он имеет недостатки. Есть специфические особенности восприятия риска людьми. Психологические исследования показали, что они плохо определяют вероятности событий, переоценивают вероятности тех из них, с которыми встречались раньше и которые «ярко» на них подействовали. Люди плохо учитывают априорные вероятности. Кроме того, первая подсказка, данная во время оценки, сильно влияет на результат.

О недостатках социологического способа измерения риска уже упоминалось. Но кроме этого, существует проблема коммуникаций между специалистами и обыкновенными людьми. Специалисты, обладающие теми или иными сведениями, не знают, как их донести до населения. Как, например, наглядно показать необходимость страховки от наводнений, использования привязных ремней в автомобилях? Как убедить людей в относительной безопасности новой технологии? На эти вопросы пока нет убедительных ответов. Мнения обычных людей в сильной степени смещены из-за эмоционального восприятия многих событий, с чем нельзя не считаться.

Повышение безопасности крупномасштабных технологических систем

Измерения риска должны привести к установке стандартов. Часто именно модельный подход направлен на их разработку. Но есть и другие, более распространенные подходы.

В ряде случаев стандарты определяются на основе субъективных установок. Отсутствие надежных способов измерения риска приводит к тому, что постулируется определенный уровень безопасности. Например, принимается, что дополнительный риск не должен увеличивать смертность в определенной возрастной группе населения более чем на 1%. Принимается, что бетонный купол реактора должен выдержать прямое попадание самолета. Эти установки определяются (прямо или косвенно) соглашениями между различными группами людей.

Часто стандарты на новые источники риска устанавливаются по аналогии с уже известными. В случае аварий стандарты часто повышаются, а в случае длительной безопасной работы с течением времени снижаются (то есть человечество действует способом «проб и ошибок»). В ряде стран помимо определения основного стандарта разрабатывают гибкую систему промежуточных стандартов, которые заставляют промышленность постепенно перейти к определенному уровню нежелательного воздействия на окружающую среду. Иначе говоря, устанавливается последовательность целей, приемлемая как для промышленности, так и для защиты окружающей среды.

В исследованиях, направленных на повышение безопасности крупномасштабных технологических систем, можно выделить два направления: минимизация нового риска и уменьшение существующего. С первым связана, прежде всего, проблема выбора места расположения новых технологических систем. Часто она решается на основе чисто экономических соображений при учете лишь факторов, необходимых для функционирования нового объекта (например, при выборе места для постройки АЭС определяется в первую очередь потребность региона в электроэнергии). Далее принимаются во внимание наличие воды, сейсмичность, качество грунта, расстояние до крупного города. Иначе говоря, учитывается один критерий — стоимость электроэнергии и принимается ряд ограничений, связанных с местом строительства.

Другой подход к решению этой задачи — аксиоматический метод построения функции

полезности, представленный в книге Р. Кини⁵. Метод предназначен для построения индивидуальной функции полезности и требует количественного измерения всех факторов. Выбор конкретного вида функции полезности связан с проверкой ряда условий, называемых аксиомами.

Как первый, так и второй подход к выбору местоположения новых технологических систем имеет недостатки. Сама задача выбора многокритериальна: необходим учет не только экономических, но и экологических, социальных, технических критериев. Важно отметить, что эти критерии относятся к трем моментам: времени постройки объекта, его нормального функционирования и к моменту возможной аварии. Кроме того, сама проблема выбора является не индивидуальной, а коллективной. В выборе фактически участвуют несколько организаций или групп (так называемые активные группы). Так, при выборе трассы газопровода необходимо учитывать не только интересы организации, разрабатывающей проект, но и строящей его, и организации, осуществляющей нормальную эксплуатацию газопровода, а также интересы местных органов власти. Эти интересы в общем случае противоречивы. В подобных случаях выбор наилучшего варианта — это поиск согласованного решения нескольких активных групп, причем в процессе согласования могут возникать технические изменения в самих вариантах.

С точки зрения приведенных выше особенностей задачи выбора видны недостатки первого из подходов — не учитывается как экономическое, так и социальное воздействие построенного объекта, возможные последствия аварий. Второй подход неадекватен из-за необходимости количественного измерения по всем критериям (в том числе и трудноформализуемым), построения чисто индивидуальной функции полезности. Более адекватен особенностям задачи выбора местоположения сложных технологических объектов дескриптивно-нормативный подход, позволяющий согласовывать мнения различных активных групп на привычном языке описания оценок по различным критериям⁶.

Второй, крайне важной проблемой минимизации риска является создание новых технологических систем с высоким уровнем безопасности, разработка технологий, которые не могут стать опасными ни при каких обстоятельствах. Ясно, что эта цель заманчива, но трудно достижима. К ней направлены усилия инженеров в разных странах мира. В частности, в ФРГ предложена конструкция реактора мощностью 200—250 МВт с повышенным уровнем безопасности. При рассмотрении всех подобных проектов имеется в виду, что любое повышение безопасности достигается за счет дополнительного увеличения расходов. Возникает проблема определения уровня расходов, при котором технология еще остается рентабельной.

В некоторых странах для решения этой проблемы применяется метод «стоимость—выгода», при использовании которого сопоставляются в денежной форме затраты на безопасность и ожидаемые потери в случае аварии (они определяются как произведение вероятности аварии на величину потерь). Принятый подход состоит в минимизации суммы расходов на безопасность (цены риска) и ожидаемых потерь.

Однако данный подход связан с рядом сложных методологических проблем. Очень трудно оценить в денежном эквиваленте различные виды потерь, любые такие оценки являются весьма приближенными. Однако с практической точки зрения даже приближенные расчеты часто могут быть лучше, чем их отсутствие.

С методологической точки зрения многокритериальный анализ является более удобным и гибким средством, чем анализ «стоимость — выгода». К тому же он более приближен к реальным решениям. Ведь на такие решения влияет еще масса социальных факторов — норм, традиций, это приводит к тому, что в различных видах человеческой деятельности затраты на безопасность и уровни безопасности различаются в сотни раз. При обосновании затрат на повышение безопасности важно рассматривать ее на всех этапах — от функциониро-

⁵ Кини Р. Размещение энергетических объектов, выбор решений. М.: Энергоатомиздат, 1983.

⁶ Осередько Ю. С., Ларичев О. И., Мечитов А. И. Исследование процесса выбора трассы магистрального газопровода // Проблемы и процедуры принятия решений при многих критериях. Тр. ВНИИСИ. № 6. М., 1982.

вания потенциально опасных объектов до перевозок опасных веществ и хранения отходов. Кроме того, повышение безопасности достигается не только чисто инженерными средствами. Неотъемлемой частью современных технологий является человек-оператор.

Исследования человеко-машинного взаимодействия — важное направление работ в настоящее время. Если раньше эти работы были направлены лишь на правильную организацию рабочего места оператора, то сейчас их спектр существенно расширился. Исследуется поведение оператора с точки зрения его возможностей перерабатывать информацию и принимать решения. Выявлены общие черты поведения людей при отклонениях объекта от нормальной работы. Важно отметить, что умение человека адаптироваться к работе объекта, создавать его привычный образ — залог успешной работы оператора. С другой стороны, это же умение не позволяет оператору быстро перестроиться при ином поведении объекта. Поэтому обсуждаются способы управления потенциально опасными объектами с помощью двух операторов, один из которых начинает действовать лишь при необычных обстоятельствах. Для повышения безопасности вводятся специальные правила и средства подготовки и переподготовки операторов. Наряду с этим в некоторых странах разрабатываются специальные экспертные системы, помогающие оператору в анализе поведения объекта, отличающегося от нормального.

Аварии и их анализ

Анализ аварии на АЭС, химических производствах, терминалах с сжиженным газом, причин их возникновения, процесса развития проводится в последние годы в различных странах мира. Общий вывод из таких исследований не очень утешителен. Крупные аварии являются, как правило, результатом совпадений крайне маловероятных событий, статистические данные, о которых не могут быть собраны. К этим событиям относятся не только неожиданные изменения в функционировании объекта, но и явное непонимание оператором нового состояния объекта, что приводит к неправильным действиям.

В связи с тем, что новые технологии сложны, не до конца изучены, а поведение человека недостаточно понимающего изменения в объекте, трудно предугадать, необходимы специальные меры подготовки к возможной аварии. Они должны определяться разработанными сценариями чрезвычайной обстановки. В настоящее время проводятся исследования, связанные с коммуникациями в чрезвычайной обстановке — созданием децентрализованного управления в чрезвычайных ситуациях.

Такие мероприятия можно подготавливать на основе данных о прошедших авариях (мелких и средних). Для этого нужен банк данных об авариях, где собранные сведения подвергаются тщательному изучению. Такой банк создан в Западной Европе. Сведения о каждой аварии в определенной форме поступают в центральную исследовательскую группу, расположенную в Италии. Результаты анализа открыты для стран — членов Европейского экономического сообщества. В банке данных накапливаются сведения об авариях на одинаковых производствах, что позволяет вскрывать их общие причины

Управление риском

Результаты, полученные при проведении исследований различных проблем анализа риска, дают в настоящее время лицам, принимающим решения, конструктивные средства управления риском. Для каждого потенциально опасного объекта (крупномасштабной технологии) могут быть определены уровни риска людей, находящихся на различных расстояниях от него. Эти уровни могут быть сопоставлены со стандартами. Кроме того, имеющиеся модели позволяют определить степень воздействия объекта на окружающую среду (воздух, земля, вода) и сравнить его со стандартами. Такое сравнение, а также информация о стоимости различных способов уменьшения воздействия объекта на окружающую среду являются основой для принятия соответствующих решений.

Анализ возможных поломок и их последствий, организации человеко-машинного взаи-

модействия, степени подготовленности персонала также позволяет оценить потенциальную возможность аварии. Анализ системы управления в чрезвычайной обстановке дает возможность оценки последствий аварии, если таковая произойдет. Совокупность моделей позволяет оценить степень воздействия той или иной аварии на окружающую среду. Все это создает информационную базу для принятия решений.

Можно сравнить различные варианты местоположения объекта по совокупности критериев и либо выбрать лучший, либо предъявить новые требования к безопасности объекта. При анализе различных способов перевозки отходов или опасных веществ можно заранее рассчитать уровни риска, вдоль путей перевозки и выбрать наиболее безопасный.

Все эти возможности создают рациональную основу управления риском от крупномасштабных технологий. Примером того, как используются эти возможности в национальном масштабе, являются Нидерланды⁷. Здесь построены карты риска при действии каждого из существующих потенциально опасных предприятий. Определены стандарты, которым должны соответствовать предприятия, а там, где нужно, — промежуточные стандарты. Решение о постройке нового предприятия принимается лишь после проведения анализа риска. Выбор места для предприятия определяется уровнями риска и близостью к объекту населенных пунктов. При перевозке опасных веществ маршруты рассчитываются, исходя из минимума возможного риска.

Современным средством анализа риска служат системы поддержки принятия решений, объединяющие возможности информатики и теории принятия решений. Эти системы позволяют руководителю вести диалог с ЭВМ, получая необходимую информацию, сравнивая различные варианты решений, оценивая их последствия. Системы поддержки принятия решений содержат в общем случае базу данных, базу моделей, совокупность методов принятия решений, базу знаний и средства диалога с пользователем. Системы поддержки принятия решений, связанных с анализом риска, создаются сейчас в различных организациях, в частности в Международном институте прикладного системного анализа.

Первоочередные проблемы

Развертывание в нашей стране работ по анализу риска требует не только привлечения к ним внимания исследовательских коллективов — существуют и другие проблемы психологического и организационного характера.

Прежде всего, необходимо общее понимание важности тщательного обоснования вариантов принимаемых решений. Ошибки в принятии решений стоят дорого, особенно если речь идет об анализе риска. Поэтому нельзя жалеть усилий на детальный анализ вариантов решений. Расходы на построение моделей, сбор и анализ данных, опросы экспертов составляют ничтожно малую долю возможных потерь.

Во-вторых, необходимо преодолеть известный консерватизм мышления, при котором авария — либо ошибка оператора (которого следует наказать), либо недоработка разработчиков, не сумевших создать абсолютно безопасный объект. Конечно, бывают и такие случаи. Но проблема сложнее и глубже. Она лежит в появлении потенциально опасных крупномасштабных производств принципиально нового типа. Лишь совокупность мер технического, организационного, психологического характера может позволить в будущем сделать крайне малой вероятность крупных аварий на таких производствах.

Следует учесть также зарубежный опыт в создании банка данных об авариях, происходящих в различных отраслях промышленности. Углубленный анализ позволит найти общие причины ряда аварий, приведет к постановке новых задач. Создание такого банка данных возможно лишь с преодолением ведомственных барьеров, мешающих распространению информации об авариях, и тем самым — проведению анализа риска. Такой банк может быть создан при Совете Министров СССР. В то же время анализ риска, и в частности анализ ава-

⁷ Van Knipen K. Risk management in Netherlands, paper presented at conferens Technological Risk in Modern Society. IIASA, 1987.

рий, должен, исходя из зарубежного опыта, осуществляться профессионалами, имеющими дело с большим числом подобных задач.

В результате развития новых крупномасштабных технологий человечество впервые в своей истории оказалось в парадоксальной ситуации. Оно вынуждено пользоваться средствами, еще до конца не изученными, которые могут выйти из-под контроля и привести к крайне нежелательным последствиям. Речь идет не только об атомной энергетике. Всюду — от космоса до глубин океана — люди создают все более сложные объекты, аварии которых приводят к человеческим жертвам и порче окружающей среды.

Появление новых крупномасштабных технологий не случайно, и человечество уже не может отказаться от них. Необходимы методы анализа риска, позволяющие повысить безопасность этих объектов и избежать крупных аварий. Эти методы во многом несовершенны, и нужна работа по их развитию, которая должна проводиться междисциплинарными группами исследователей. Чтобы не оказаться в положении пассажиров, несущихся в поезде без машиниста, необходим строгий логический, экспертный и математический анализ последствий принимаемых решений.

УДК 658.562.3

Ларичев О. И. Проблемы принятия решений с учетом факторов риска и безопасности // *Вестник АН СССР*.— 1987.—№ 11.—С. 38–45.

```
@Article{Larichev_1987,
  author = "Ларичев, О. И.",
  title = "Проблемы принятия решений с учетом факторов
           риска и безопасности",
  journal = "Вестник АН СССР",
  number = "11",
  pages = "38--45",
  year = "1987",
  language = "russian",
}
```