

В перспективе: Роль оценки безопасности и управление риском

Унифицированный системный анализ может помочь усовершенствовать управление промышленным риском в целях предотвращения аварий

Антонио Новегно и Эфраэм Аскулай

Возрастающее беспокойство в мире по поводу проблем окружающей среды и крупных аварий связано с осязаемыми результатами в использовании современной технологии. Хотя индустриализация и привела к резкому подъему уровня жизни в каждой стране, она оказала вредное воздействие на окружающую человека среду и содействует возрастанию промышленных и социальных опасностей.

Г-да Новегно и Аскулай – сотрудники Секции оценки надежности и риска Отдела ядерной безопасности МАГАТЭ.

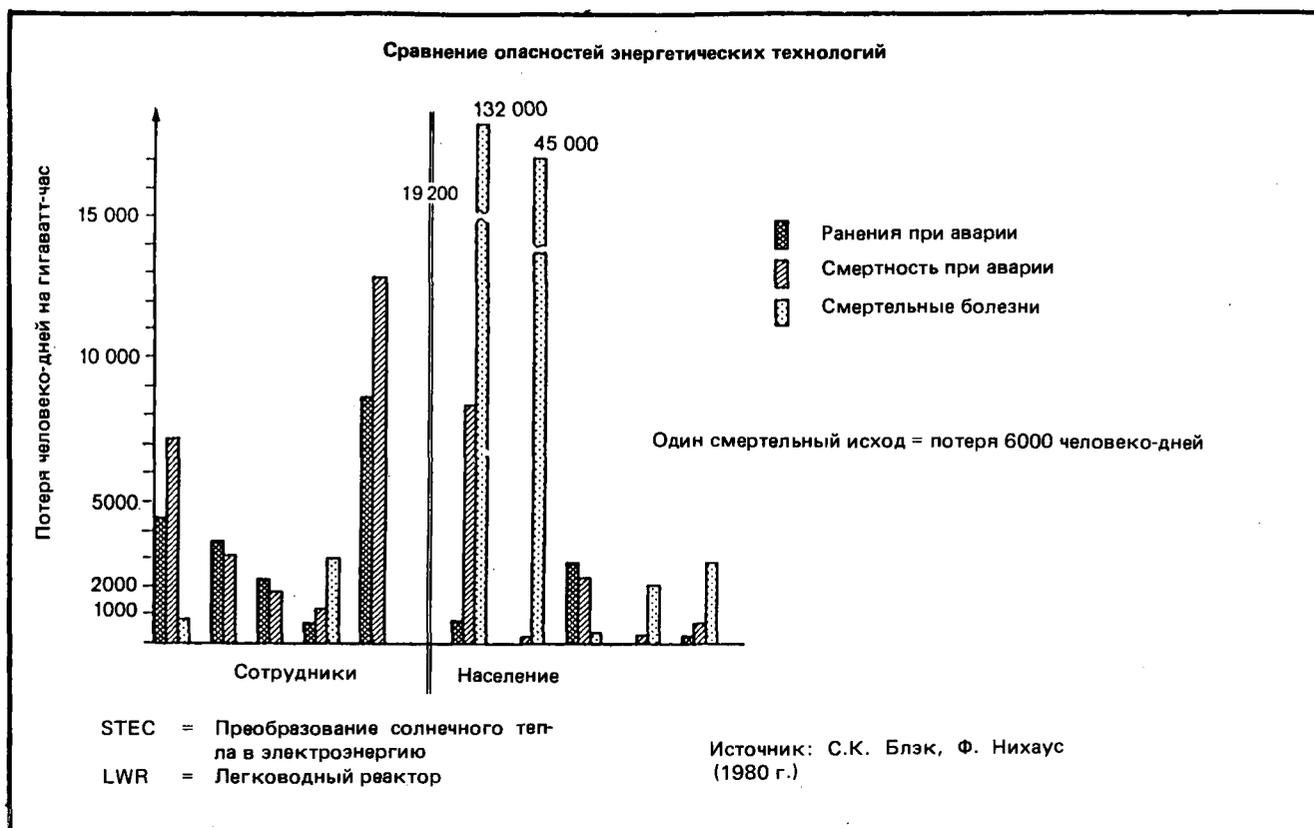
В начале промышленной революции мало внимания уделялось влиянию индустриализации на здоровье людей и окружающую среду. На проблемы защиты окружающей среды обратили внимание совсем недавно, в основном во второй половине XX столетия.

В течение всей своей истории человечество должно было принимать стихийные бедствия как неотъемлемую часть жизни. Помимо таких бедствий, влекущих обычно за собой гибель большого числа людей, существуют менее крупные несчастия, причиняющие экономический ущерб, повреждения,

Промышленные аварии с серьезными последствиями, 1976–86 гг.

Авария	Последствия
<ul style="list-style-type: none">● <i>Севезо, Италия, 10 июля 1976 г.</i> На химическом заводе возникла химическая реакция, вызвавшая взрыв от 0,5 до 10 кг высокотоксичного диоксина, рассевшегося над площадью в 18 квадратных километров	Были эвакуированы свыше 1000 человек. Смертных случаев не было. У многих детей диоксин вызвал кожную сыпь (хлорные прыщи). Другими последствиями были нарушения жизнеобеспечения и загрязнение почвы
<ul style="list-style-type: none">● <i>Сан Карлос де ля Рапита, Испания, 11 июля 1987 г.</i> 38-тонный грузовик, нагруженный 45 м³ легко воспламеняющегося пропилена, врезался в стену на стоянке и взорвался, вызвав пламя 30-метровой высоты	215 погибших
<ul style="list-style-type: none">● <i>Кубатао, Бразилия, 25 февраля 1984 г.</i> Был поврежден трубопровод, и вытекший бензин взорвался, вызвав огромный пламя	Не менее 500 погибших
<ul style="list-style-type: none">● <i>Мехико, Мексика, 19 ноября 1984 г.</i> Контейнеры с жидким газом взорвались в хранилище Сан-Хуан-Иксгуатепек (гигантский взрыв)	452 человека погибли, 4248 человек ранены. Около 1000 пропали без вести и считаются погибшими
<ul style="list-style-type: none">● <i>Бхопал, Индия, 17 декабря 1984 г.</i> Утечка ядовитого газа (метилизоцианид) с нефтехимического предприятия, производящего вещество для борьбы с вредными насекомыми. Ядовитый газ распространился на площади в 40 квадратных километров	2500 человек погибли от отравления, такое же количество людей находятся в критическом состоянии. Около 150000 человек госпитализированы. Наблюдаются такие долговременные последствия, как слепота, постоянные умственные расстройства, повреждение печени и почек, эмбриональные искажения
<ul style="list-style-type: none">● <i>Чернобыль, СССР, 26 апреля 1986 г.</i> На четвертом блоке Чернобыльской атомной электростанции произошло энергетическое отклонение в работе реактора, что вызвало взрыв пара, разрушение реактора и сильное загрязнение окружающей среды радионуклидами, выброшенными из реакторного топлива	31 человек погиб, 203 госпитализированы с острой лучевой болезнью, 135000 человек эвакуированы. Эквивалент максимальной коллективной полученной эффективной дозы определяется в $2,9 \times 10^7$ бэр для европейской части СССР

Примечание. Таблица составлена на основе труда Чекраборти С. "How quantifiable are catastrophic risks". *Risikountersuchungen als Entscheidungsinstrument* (1985 г.)



смерть. Вместе эти несчастия являются основной причиной человеческих жертв. В связи с этим большее внимание следует уделять предотвращению крупных аварий с далеко идущими последствиями (см. прилагаемую таблицу).

Наибольшее влияние на здоровье людей современная технология оказывает длительным и постоянным воздействием сбрасываемых загрязняющих веществ вблизи промышленных комплексов, в том числе вблизи энергопроизводящих систем.

Помимо этих явных проблем окружающей среды, возникают новые, по-видимому, с далеко идущими и глобальными последствиями. К ним относятся проблемы „кислотных дождей”, влияющих на лесоводство и на сельское хозяйство; окисей азота (NO_x), разрушающих различные материалы и наносящих, тем самым, экономический ущерб; фтористых углеводородов и концентраций двуокиси углерода в атмосфере, которые могут серьезно повлиять на климат земли и на жизнь грядущих поколений.

Проблемы окружающей среды, связанные с технологией, фактически являются проблемами безопасности, поскольку редко бывает так, чтобы экономические и социальные последствия воздействия на окружающую среду не были связаны с безопасностью. Это еще более очевидно для аварийных выбросов и воздействий на окружающую среду, возникающих в результате неправильной конструкции или повреждения систем безопасности.

Эти два вида воздействия на окружающую среду — повседневная работа промышленности и аварийные выбросы — взаимосвязаны. Управляя одним видом опасности, мы оказываем влияние на другой ее вид. Например, совершенствование защиты окружающей среды может означать увеличение профессиональной опасности для работников, которые создают, устанавливают и ремонтируют дополнительное оборудование для обеспечения безопасности.

Управление этими видами опасности требует интегрированного подхода, который учитывал бы все причины и возможные последствия. Такой подход должен быть разработан не для одной промышленной установки или операции, а для промышленных комплексов и региональных операций, особенно когда они расположены близко друг от друга и могут влиять друг на друга и на одну и ту же окружающую среду в целом.

Сравнительные исследования опасностей в энергетических системах

Влияние различных технологий производства энергии на здоровье людей и окружающую среду стало в последнее десятилетие важным аспектом общественных дискуссий по энергетическим системам. Сравнительные исследования опасностей и воздействий ядерной, угольной, нефтяной и гидро-

энергетики имеют целью определить правильную перспективу для опасностей, связанных с производством энергии.

Основная цель таких исследований — снабдить органы, планирующие развитие энергетики, научной информацией об одном из многих факторов, влияющих на принятие решения относительно энергетических систем как на национальном, так и на международном уровнях.

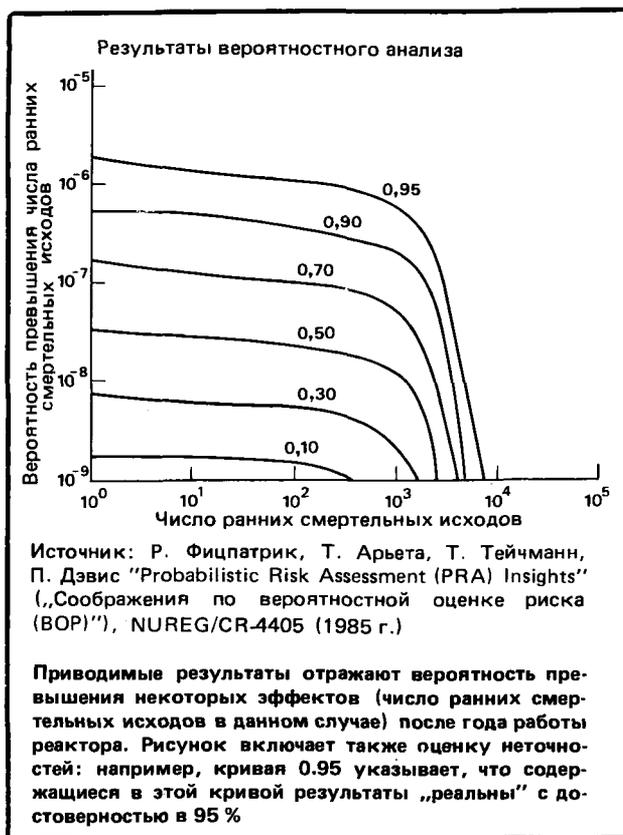
Первые исследования были посвящены конкретным аспектам опасностей, связанных с производством энергии, а затем определению концептуальных рамок и методологических проблем и сбору данных. Позднее были выделены проблемы ядерного риска, выбросов двуокиси серы, кислотных дождей, радиоактивности в угле и малоинтенсивного излучения. Наконец, было выведено количественное определение и сравнение различных видов ущерба для здоровья, постоянных воздействий и последствий редких аварий.

Большая работа была проведена при разработке моделей, имитирующих долговременную дисперсию загрязняющих веществ в воздухе и проникновение их через почву в пищевую цепочку. Отсутствие широких эпидемиологических исследований ограничивало установление зависимости доза-эффект с целью определения всех видов опасности для здоровья. Некоторые аспекты сравнения риска еще не определены главным образом из-за отсутствия данных, сложности проведения сравнительных исследований здоровья людей и окружающей среды, неточности данных и нехватки знаний о применении соответствующих методов и данных.

Ввиду того, что выводы, вытекающие из проведенных общих сравнений, весьма ограничены, проводятся исследования, имеющие целью сравнить только технологии снабжения энергией (см. прилагаемый рисунок).

Однако, несмотря на значительную неопределенность этих оценок, общие выводы вполне обоснованы и устанавливают определенный порядок энергетических систем согласно размеру риска. Тем не менее следует признать, что наибольшая ценность сравнений риска для различных источников энергии заключается не в общих результатах, а в идентификации основных носителей риска в каждом из рассматриваемых топливных циклов.

Следует также признать, что количественные сравнения величины риска и воздействия для различных энергетических систем не могут существенно влиять на принятие решений по национальным планам энергетического развития. В действительности „энергетическая смесь” определяется в стране с учетом целого комплекса других аспектов. К их числу относятся: потребность в энергии, международная торговля, промышленное развитие, экономическая обстановка, платежный баланс, надежность снабжения, стоимость капитала и др. Поэтому было сочтено, что анализу риск-последствия с упором на управление риском следует отвести основную роль при определении уровня



национального планирования строительства энергетических предприятий с определением конкретной технологии и выбором площадок на национальной или региональной основе.

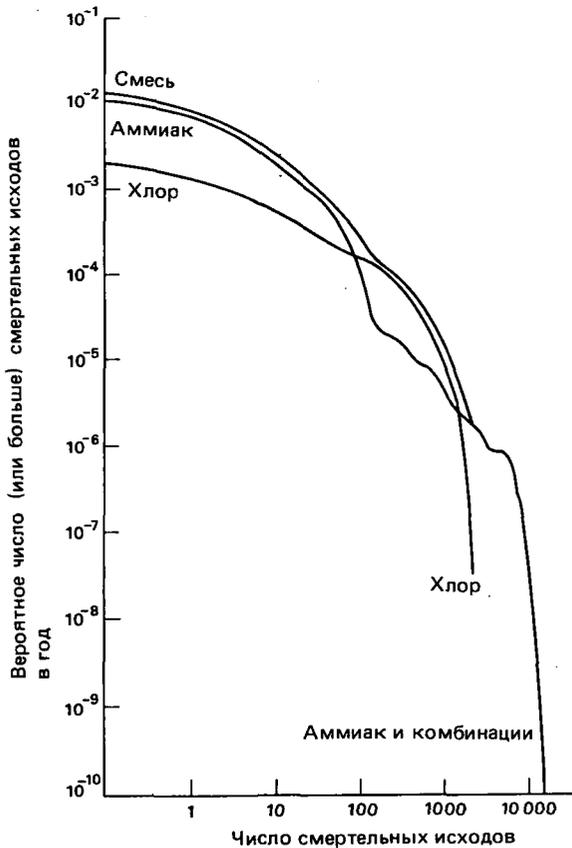
От сравнения опасностей к управлению риском

В результате проведенных исследований по сравнению опасностей энергетических систем и на основе приведенных выше общих соображений в последние годы произошел сдвиг от сравнений к управлению риском.

Сравнение опасностей для типовых установок выносит эти опасности в перспективу. Однако такая информация еще недостаточна для того, чтобы судить об их надежности. Рациональная политика обеспечения безопасности не может ставить целью сократить (или увеличить) все опасности до одного уровня для отдельного человека или для всего общества. Разумнее еще уменьшить небольшую опасность, если это достижимо, или оставить риск на довольно высоком уровне (если он не выше уровня других видов риска), когда его слишком трудно (дорого) уменьшить. Методом систематического изучения этого вопроса является анализ зависимости стоимость-эффективность (см. прилагаемые рисунки с примерами результатов).

МАГАТЭ активно содействует применению таких методов и в 1983 г. начало осуществление про-

Результаты вероятностного анализа для транспортировки химических веществ



Источник: В основу положена работа Г.А. Семана "International experience in assessment of risks due to oil and gas production and chemical manufacture" („Международный опыт оценки риска в связи с добычей нефти и газа и производства химикалий“), представленная на семинаре МАГАТЭ/Программы ООН по защите окружающей среды/ ВОЗ, 13–17 октября 1986 г., Париж, Франция

Вероятностная оценка безопасности (ВОБ) применяется не только в атомной промышленности. Здесь показаны результаты ВОБ для транспортировки хлора и аммиака с учетом предположений относительно интенсивности выбросов, дисперсии в атмосфере и воздействия этих соединений на человека

граммы координируемых исследований („Сравнения стоимость-эффективность уменьшения риска для различных энергетических систем“). Основная ее цель — координация исследовательских проектов (являющихся вариантными исследованиями) ряда государств-членов по оценке риска с использованием метода стоимость-эффективность.

Пятнадцать государств-членов сотрудничают с Агентством в этой области*. На сегодня закончены 18 вариантных исследований с использованием

* Отчет о втором совещании по координации исследований можно получить у авторов; окончательный отчет ожидается в 1988 г.

методологических основ, определенных на первом совещании по программе координируемых исследований (ПКИ). Эти исследования касаются главным образом различных установок и операций ядерного топливного цикла (урановые рудники, электростанции, транспортировка радиоактивных материалов, захоронение отходов). Проводятся еще десять вариантных исследований, которые будут закончены до завершения ПКИ.

Эти вариантные исследования показывают, что анализ зависимости стоимость-эффективность при уменьшении риска является приемлемым методом оценки и определения средств, выделяемых на защиту и безопасность крупных промышленных систем.

Безопасность и управление риском крупных аварий

Вероятно лучший пример законченной системы оценки риска и управления им дает ядерная энергетика.

Для каждой атомной электростанции проводится исследование всех видов ее воздействия на окружающую среду. Оно включает эксплуатацию станции и оценку профессионального риска для ее работников, а также расчет обычных сбросов радиоактивности в окружающую среду, предполагаемые уровни облучения населения и оценку последствий аварийных крупных выбросов радиоактивности в атмосферу.

Существуют два подхода к расчету последствий аварии на атомной станции для окружающей среды. Первый — традиционный подход называется „детерминистским“. Он основан на предусматриваемой проектом аварии („Design Basis Accident“) и рассчитывает последствия аварии для умеренных атмосферных условий в сравнении с нормами допустимого облучения при аварии.

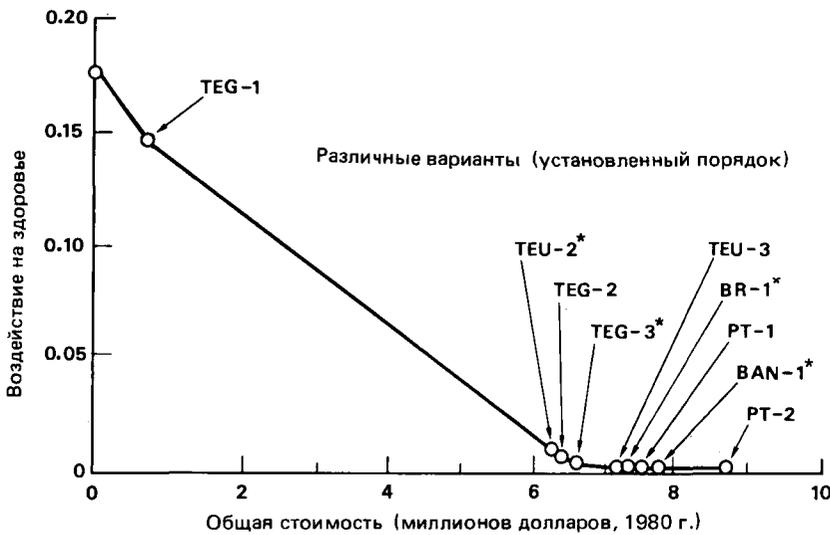
Второй — новый подход — это вероятностная оценка безопасности (ВОБ). Существует не один сценарий аварии, а набор сценариев, описываемых вместе с прогнозируемыми вероятностями ее возникновения. Последствия для окружающей среды рассчитываются на основе этого набора в отношении ранней и латентной смертности, раннего и латентного заболевания, а также экономические расходы, с учетом возможных погодных условий, распределения населения и использования земли. По получаемым результатам определяются вероятности возникновения аварии и связанные с ней последствия. Кроме того, вероятностный подход позволяет оценивать и представлять неточности анализа. Применение ВОБ не ограничивается атомной промышленностью (см. прилагаемые рисунки).

Достоинства такого анализа очевидны даже без формального применения. Он расширяет понимание поведения станции в необычных условиях, взаимодействия человек-машина и относительного значения функций, систем и компонентов безо-

Специальные сообщения

пасности. Он является дополнительным средством подготовки специалистов и может использоваться в различных целях, например, для оказания компьютерной помощи операторам или для разработки сценариев аварий с помощью моделирующих устройств. Но кроме этих **качественных** возможностей ВОБ позволяет делать **количественные** оценки.

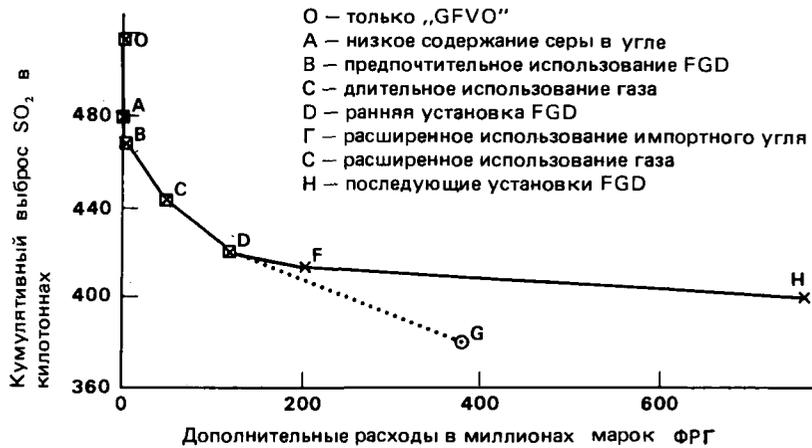
Безусловно, ВОБ не может заменить отсутствие знаний, но она может помочь идентифицировать пробелы в информации. Необходимо и желательно наилучшее использование получаемых количественных результатов. Для этого должны быть установлены вероятностные критерии безопасности (ВКБ), по отношению к которым должны оцениваться результаты ВОБ и осуществляться управление риском.



Примечание: Воздействие на здоровье и анализ основаны на работе PWR мощностью 1,3 ГВт эл. за 20 лет

Источник: IAEA-SH-273 (1984 г.)

Стоимость и эффективность мер по уменьшению выбросов SO₂



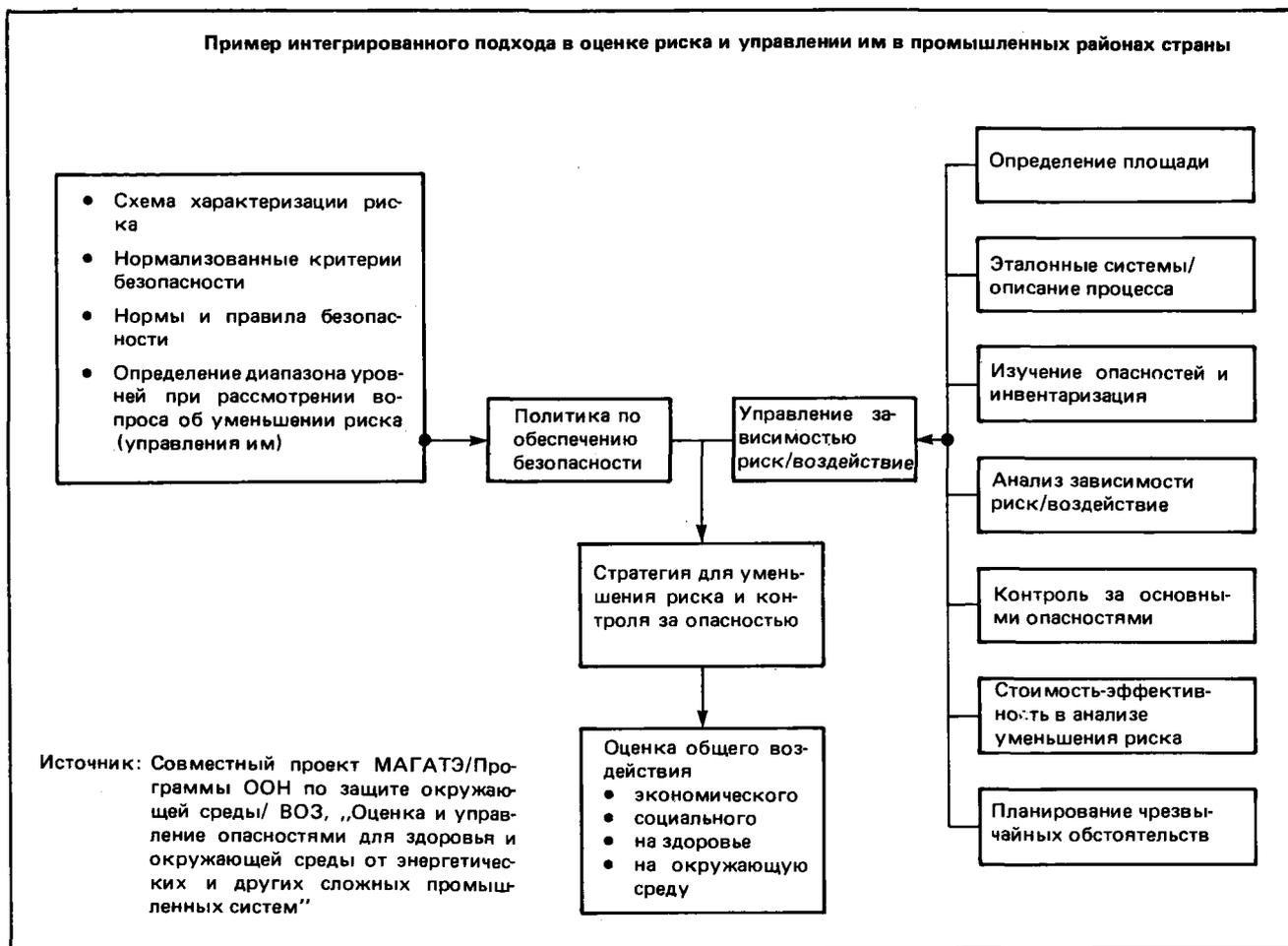
FGD = Десульфурация топочного газа GFVO = Существующие правила

Примечание: Анализ показывает взаимозависимость между выбросами SO₂ и расходами в Баден-Вюртенберге, Федеративная Республика Германии.

Источник: IAEA-SH-273 (1984 г.)

Показываются две кривые уменьшения риска, относящихся к практическому применению подхода стоимость-эффективность в ядерной и угольной энергетических системах

Пример интегрированного подхода в оценке риска и управлении им в промышленных районах страны



Стремление к интегрированному региональному подходу

Последние катастрофические промышленные аварии, происшедшие в Бхопале и в Чернобыле, а также недавняя химическая авария в Базеле, Швейцария, подтверждают необходимость идентификации, оценки и управления опасностями от сложной промышленной деятельности с целью в максимальной степени обеспечить безопасность и свести к минимуму вредные воздействия на работников, население и окружающую среду. Поэтому необходимо разрабатывать интегрированный подход к оценке риска и управлению им в районах страны с высококоразвитой промышленностью.

В последние годы внимание органов, принимающих решения по безопасности, в различных странах и в некоторых международных организациях было привлечено к необходимости определить и разработать унифицированную „политику безопасности” в отношении опасностей от технологической деятельности.

Комиссия европейских сообществ (КЕС) подготовила „директивы”, касающиеся наиболее опасных установок, загрязнения воздуха промышленными предприятиями и других видов риска. Основ-

ная их цель — разработать в европейских странах общую политику управления зависимостью опасность-воздействие для промышленных установок, сконцентрированных по техническим и экономическим соображениям в определенных районах страны.

Некоторые промышленные страны (США, Франция, Федеративная Республика Германии, Нидерланды, Швеция) проводили в последние годы специальные исследования по оценке риска в крупных индустриальных районах.

В связи с этим количественный анализ риска, а особенно управление рисками стали важным аспектом принятия решений по регламентированию и защите здоровья людей и окружающей среды.

На уровне предприятия управление риском не может достичь сложных и многочисленных целей процесса выработки решений, связанных с воздействием на окружающую среду, охраной здоровья и социально-экономическими последствиями. Соответствующие оценка и управление должны быть расширены, учитывая регионы, в которых размещены различные промышленные установки и для которых необходимо рассмотрение различных проблем уменьшения риска.

Аварии в Чернобыле и Базеле показали, что

такие регионы могут охватывать площади, принадлежащие различным суверенным государствам. Поэтому планы на случай возникновения чрезвычайных обстоятельств (важная часть процесса управления риском) в промышленных районах должны составляться таким образом, чтобы они были гибкими и годными содействовать ликвидации любой крупной аварии, могущей произойти в данном регионе.

Совместный проект МАГАТЭ/Программы ООН по защите окружающей среды/ВОЗ

Политика управления риском предполагает определение количественных критериев и норм безопасности, разработку руководства и процедур, а также наличие рационального инструмента для оптимизации политических решений по выделению средств на безопасность. Поэтому региональный подход является, по-видимому, наилучшим для решения сложных проблем управления технологическим риском. В связи с этим МАГАТЭ присоединилось к Программе ООН по защите окружающей среды и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в предложении совместного проекта по оценке риска и управлению им для защиты здоровья людей и окружающей среды на энергетических и других сложных промышленных системах (см. прилагаемую диаграмму). Это — интегрированный подход, основанный на принципе оптимального выделения средств на уменьшение риска с учетом сложных и многочисленных целей соответствующего процесса принятия решений. Эта новая исследовательская работа будет выполняться путем проведения вариантных исследований в развитых и развивающихся странах. Она направлена на установление унифицированной систематической методики принятия решений по уменьшению риска в промышленных районах различных стран.

Проект предусматривает четыре основных направления работ:

- Разработка руководства по управлению риском и контролю за опасностью на основе результатов вариантных исследований, которые будут проводиться в государствах-членах;
- Установление и эксплуатация системы по сбору, оценке и распределению информации относительно методов (если потребуется) воздействия на здоровье людей и окружающую среду;
- Подготовка персонала по управлению риском и контролю за опасностью;
- Содействие разработке подхода к управлению риском и осуществлению контроля за опасностью, а также методика планирования производства и использования энергии, и других сложных технологий на национальном уровне.



Ядерная электростанция „Атуча-1“ в Аргентине мощностью 692 МВт (эл.)

Ядерная энергетика в развивающихся странах (по состоянию на 31 декабря 1986 г.)

	Действующие реакторы		Строящиеся реакторы		Планируемые реакторы	
	количество блоков	суммарная мощность, МВт (эл.)	количество блоков	суммарная мощность, МВт (эл.)	количество блоков	суммарная чистая мощность, МВт (эл.)
Аргентина	2	935	1	692	2	нет данных
Бразилия	1	626	1	1245	1	1245
Болгария	4	1632	2	1906	2	1906
Венгрия	3	1235	1	410	2	1900
Египет	—	—	—	—	2	1000*
Индия	6	1154	4	880	4	200
Ирак	—	—	—	—	1	400
Иран, Исламская Республика	—	—	2	2400	—	—
Китай	—	—	1	288	1	900
Куба	—	—	2	816	—	—
Ливийская Арабская Джамахирия	—	—	—	—	1	408
Мексика	—	—	2	1308	—	—
Пакистан	1	125	—	—	1	900
Польша	—	—	2	880	10	8430
Румыния	—	—	3	1980	1	660
Таиланд	—	—	—	—	1	900
Тайвань, Китай	6	4918	—	—	4	4120
Турция	—	—	—	—	1	нет данных
Чехословакия	7	2799	9	5508	—	—
Югославия	1	632	—	—	1	1000
Юж. Корея	7	5380	2	1800	2	1800

* Мощность только одного блока.

Источник: PRIS МАГАТЭ

