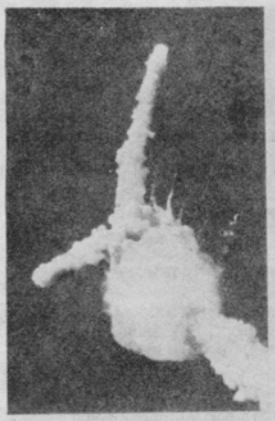
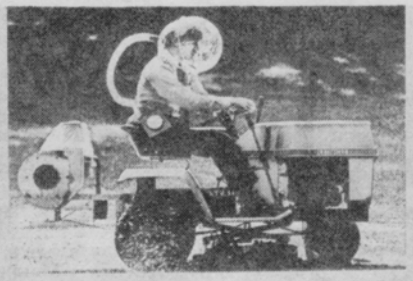
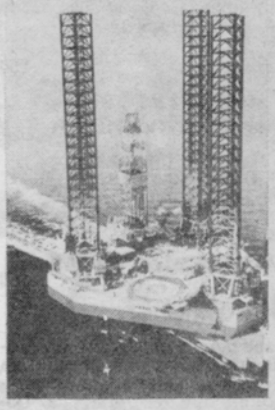
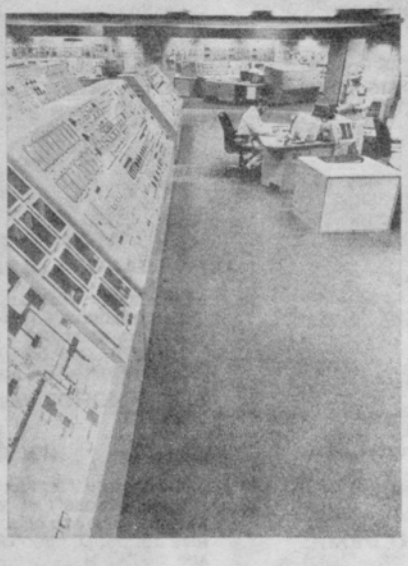
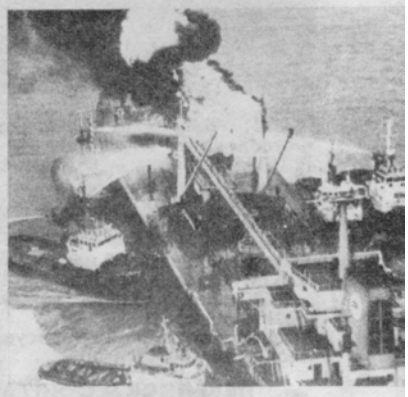
С.Т.Беляев, О.И.Ларичев, И.И.Кузьмин, Л.И.Кречетов. Риск как точная наука. Наука и Жизнь, 1991, № 3, с. 2-5, 59-64.

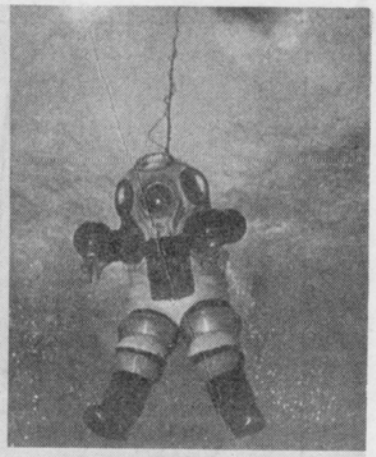
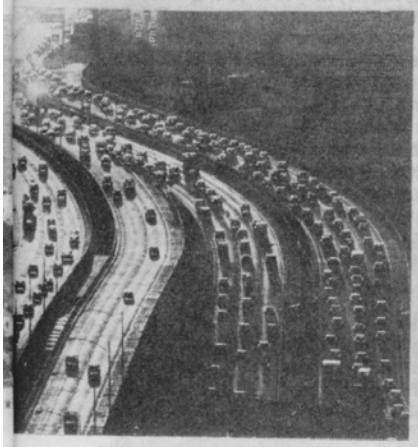




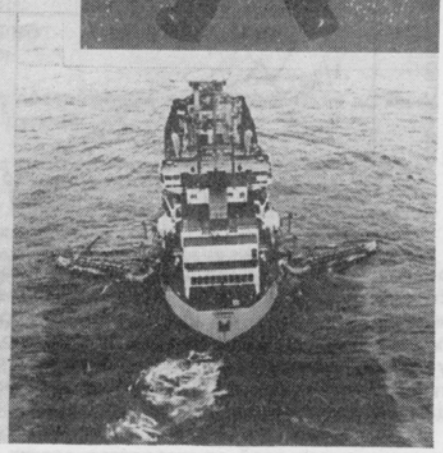
РИСК КАК ТОЧНАЯ НАУКА

Раскрывая свежую газету, мы все чаще узнаем об очередной катастрофе — крушении поезда, падении самолета, большом пожаре или взрыве. Что это — мир становится все опаснее? Двигаясь по пути технического прогресса, человек подвергает себя все большему риску? И если да, то можно ли бороться с этим? Для ответа на такие вопросы за "круглым столом" журнала собрались председатель Научного совета АН СССР по проблемам, связанным с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС, академик С.Т.Беляев, заведующий отделом Всесоюзного научно-исследовательского института системных исследований член-корреспондент АН СССР О.И.Ларичев, ведущий научный сотрудник Института атомной энергии имени И.В.Курчатова доктор физико-математических наук И.И.Кузьмин и старший научный сотрудник Центрального экономико-математического института кандидат физико-математических наук Л.И.Кречетов. Ведет беседу специальный корреспондент журнала Г.Львов.

Чтобы убедиться, что тревога за безопасность человека в сегодняшнем мире обоснованна, достаточно вспомнить хотя бы крупные аварии, которые произошли в нашей стране в конце прошлого года.

11 августа. Мощный взрыв на Ново-Ярославском нефтеперерабатывающем заводе на окраине Ярославля. Погибло шесть человек. 1 ноября. Взрыв полностью разрушил цех завода по производству взрывчатки в Асбесте. 15 человек погибли, множество раненых. Начало ноября. После аварии на химическом заводе в Новополоцке большое количество отравляющих веществ, в том числе цианидов, попало в Даугаву и двинулось к Балтийскому морю. Во многих поселках и городах Латвии была прекращена подача питьевой воды, огромный ущерб нанесен окружающей среде. 13 ноября. Взрывом полностью разрушено четырехэтажное здание одного из цехов олеумного завода в Бийске. Девять человек погибли, еще 16 госпитализированы. 19 ноября. На Красноярском заводе синтетического каучука произошел взрыв углеводородных газов. Погибло четыре человека, госпитализировано пять. 1 декабря. Взрыв на Ново-Уфимском нефтеперерабатывающем заводе. 4 декабря. Взрыв в Перми на Уральском производственном объеди-



нении "Галоген". Один человек погиб, трое получили отравление и ожоги.

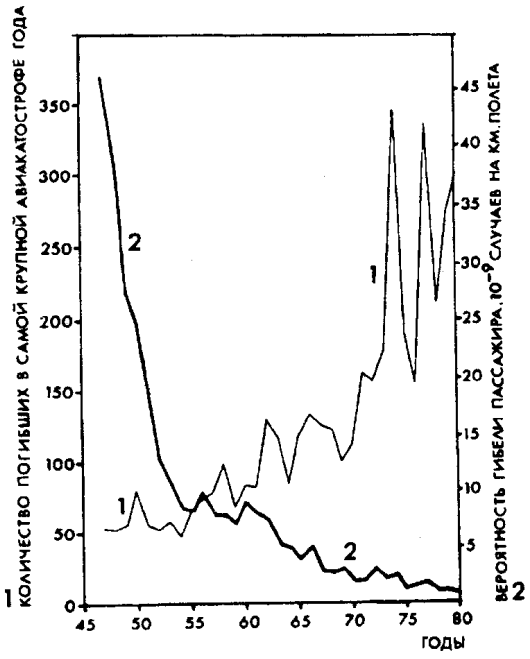
В некоторых видах аварий нашей стране принадлежит печальный приоритет. Это относится не только к Чернобылю. Так, 12 сентября взрыв водорода на бериллиевом производстве объединения "Ульбинский металлургический завод" в Усть-Каменогорске привел к крупному выбросу бериллия (концентрация этого вещества превышала предельно допустимую в 60 — 890 раз). До этого подобных аварий на бериллиевых производствах нигде не случалось. Неизвестны большинству стран и взрывы на элеваторах. У нас же они нередки, поскольку хранилища наполняют недостаточно сухим зерном или семенами подсолнечника.

Много трагедий происходит на транспорте. Если в химической промышленности аварии чаще всего связаны с износом оборудования, то здесь главная причина — ошибки персонала. По оценкам Госавианадзора СССР, ими в последние годы обусловлено 83% авиапроисшествий, тогда как отказами техники — только 9%. 22 декабря близ станции Ельниково два поезда почти целиком сгорели после столкновения локомотива с цистерной сжиженного газа. Непосредственной причиной катастрофы стал металлический зажим, который монтер забыл снять с клемм одного из устройств сигнализации. А несколько лет назад человеческие ошибки привели к крушению экспресса "Аврора" и гибели "Адмирала Нахимова" (см. "Наука и жизнь" № 12, 1988).

Как и много веков назад, опасной отраслью остается горнодобывающая — здесь наибольшая смертность среди работников. Главная угроза — подземные пожары и взрывы, жертвами которых становятся целые группы шахтеров. Так, 12 сентября от вспышки метана на шахте имени Мельникова в Лисичанске получили ожоги сразу 18 человек. Пожары в замкнутом пространстве приводят к накоплению угарного газа и длительному повышению температуры в выработках, что становится причиной новых трагедий.

Иногда шахтеры страдают по причинам, которые прямо не связаны с горнодобывающей отраслью. Скажем, 2 декабря 1989 года в шахте "Александр-Запад" трое шахтеров погибли из-за отравления хлорбензолом, проникшим в шахту с находившегося по соседству Горловского химзавода. Эта трагедия относится к тем, что объясняются неожиданным совместным действием различных факторов. Вот еще несколько случаев такого рода. В сентябре прошлого года в Свердловской области у многих студентов и школьников, работавших на уборке урожая, была поражена периферическая нервная система: не подгибались ступни при ходьбе, встречались случаи частичного паралича. Оказалось, что всему виной совместное действие трех разных пестицидов, которые использовались на этих полях. Напугавшее многих родителей облысение детей в Черновцах также было вызвано совместным действием бора, таллия и некоторыми другими причинами (см. "Наука и жизнь" № 1, 1991).

Казалось бы, люди создавали особую, искусственную среду обитания — техносферу — именно для того, чтоб повысить свою безопасность. Защищаясь от непогоды — строили дома и шили одежду, защищаясь от голода — развивали сельское хозяйство, расширяли производство удобрений и комбайнов, защищаясь от болезней — искали новые лекарства и методы лечения. В



Авиационная статистика утверждает: в ходе развития самолетостроения одновременно с уменьшением общего риска перевозок (кривая 2) растет масштаб отдельных аварий (кривая 1). Проще говоря, если раньше за год происходило множество небольших аварий, то теперь — несколько крупных катастроф. Это общая закономерность эволюции техносферы, она наблюдается и в других областях.

результате средняя продолжительность жизни в Европе, составлявшая в медном, бронзовом и железном веках около 30 лет, к XIX веку возросла до 35—40 лет, а в нашем достигла 75. Но, увы, у техносферы есть собственные законы развития, действие которых иногда приводит к неожиданным результатам.

В последнее время ради улучшения экономических показателей производства растет мощность промышленных установок. Усложняются сами технологии, работа оборудования все больше зависит от правильности действий персонала, управляющего им. Объекты, расположенные в одном регионе, объединяются сетью коммуникаций в единую технологическую систему, так что их влияние друг на друга становится сильней и разнообразней. Растет и плотность населения в индустриальных районах. Все это увеличивает риск и масштаб аварий. Техносфера, созданная для защиты человека от внешних опасностей, сама становится источником опасности, и нужно принимать меры, чтобы защититься от нее.

И. КУЗЬМИН. Одна из важнейших мер — анализ уже случившихся аварий. Между крупными авариями в самых разных отраслях можно заметить явное сходство. Обычно аварии предшествует накопление дефектов в оборудовании или отклонение от нормального хода процессов. Эта фаза может длиться минуты, сутки или даже годы. Сами по себе дефекты или отклонения еще не приводят к аварии, но готовят почву для нее. Операторы, как правило, не замечают этой фазы из-за невнимания к регламенту или недостатка информации о работе объекта, так что у них не возникает чувства опасности. На следующей фазе происходит неожиданное и редкое событие, которое существенно меняет ситуацию. Операторы пытаются восстановить нормальный ход технологического процесса, но, не обладая полной информацией, зачастую только усугубляют развитие аварии. Наконец, на последней фазе еще одно неожиданное событие — иногда совсем незначительное — играет роль толчка, после которого техническая система перестает подчиняться людям, и происходит катастрофа.

К сожалению, мы не можем быть уверены, что из аварий извлекаются все необходимые уроки. В нашей стране этому мешает ведомственный подход, ненужная секретность, искаженные экономические отношения, при которых правительство часто компенсирует ущерб от какой-то аварии за счет других, более благополучных отраслей. Пострадавшее предприятие может даже извлечь из трагедии прибыль — например, обновив оборудование из централизованных фондов.

Парадокс цивилизации: с каждым годом средняя продолжительность жизни человека увеличивается, то есть мир становится безопаснее, — а вероятность крупных аварий растет.

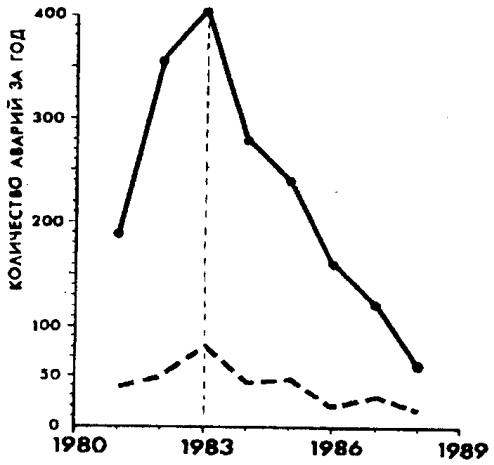
БОЛЬШОЕ ОКНО — ОПАСНОСТЬ № 1

Научный подход к риску — это не только разработка сложнейших математических моделей, но и внимание к простым, порой не менее важным вещам. Как свидетельствует статистика, основной причиной ранений и гибели людей при взрывах на производстве и транспорте становятся, как правило, не огонь или ударная волна, а обломки зданий и оборудования. Наиболее опасны осколки стекла. Так, в 1988 году на станции Арзамас взорвались три вагона с взрывчаткой, погиб 91 человек и 744 было ранено, из них более 600 — осколками оконных стекол. Разброс осколков по массе очень широк — от мельчайших крошек, представляющих опасность только при попадании в глаз, до больших кусков, удар которых угрожает самой жизни человека. Огромные окна или витрины, остекленные толстыми листами, в этом отношении гораздо хуже обычных.

Кому-то может показаться, что проблема касается только зданий, расположенных вблизи опасных объектов. Однако это не так: при утечке горючих газов образуется облако, которое может дрейфовать на значительные расстояния. Статистика подобных происшествий показывает, что от момента утечки до взрыва проходит в среднем около 10 минут и за это время в каждом десятом случае облако перемещается на километр и дальше.

Московские специалисты по промышленной безопасности А.Н.Елохин, С.Н.Нехорошев и В.С.Рыжиков промоделировали явления, происходящие при разрушении оконных стекол под действием ударной волны. Численные эксперименты показали, что в помещениях можно выделить три зоны. Люди, находящиеся в первой зоне, рискуют получить только легкие ранения или порезы, во второй зоне поражения серьезнее (вероятность повреждения глаз,

Техническим риском вполне можно управлять. После крупной аварии в Севезо (Италия), когда 17 км² были отравлены диоксином, Европейское Сообщество в 1983 году приняло специальную "Директиву по Севезо". Согласно этому документу при строительстве каждого нового объекта фирмы обязаны представить доклад с точным обоснованием его безопасности. После принятия "Директивы" количество аварий в европейской промышленности стало резко снижаться (сплошная кривая — все аварии, пунктир — только крупные, с ущербом свыше миллиона долларов).



О. ЛАРИЧЕВ. Я согласен с Игорем Ивановичем Кузьминым. Читая в газетах о разных авариях, видишь, что они имеют общие причины: ошибки в проектах, неправильные решения о месте постройки объектов и режиме их эксплуатации, недооценка подготовки персонала, невнимание к старению оборудования, ведомственные барьеры, мешающие анализу причин аварий, халатность, беспечность, надежда на "авось". Безусловно, аварии нужно изучать. Очень часто бациллы человеческих ошибок спрятаны в конструктивных особенностях оборудования. Одну из них Игорь Иванович назвал: недостаток информации о работе объекта. Другая, не менее распространенная — избыточная информация, которую оператор не может переработать. В таком случае он бессознательно отбрасывает какую-то ее часть, но именно она может оказаться самой важной. В результате оператор строит неверный сценарий аварии и предпринимает неадекватные действия. Особенно часто это случается на ранних стадиях аварии. Вот почему, например, системы безопасности ядерных реакторов проектируют так, чтобы в первые моменты после нештатных событий они действовали автоматически и не подчинялись командам человека.

Однако мне кажется, что один только анализ случившихся аварий не решит проблемы. В основе почти всех крупных катастроф лежит совпадение ряда очень маловероятных событий плюс ошибки человека, и это вносит большую неопределенность в любой анализ или прогноз. В сложной ситуации человеческие действия, как правило, имеют нестатистический, непредсказуемый характер, так что прошлая ошибка оператора может ничего не говорить о будущей. Поэтому нужно разрабатывать совокупность специальных мер, не позволяющих аварии развиться до масштаба крупной.

Когда на смену примитивным станкам, приводимым в движение человеческими мускулами, пришли мощные агрегаты, небрежное обращение с которыми стало грозить работающему серьезной травмой, возникла техника безопасности — свод простых и эффективных эмпирических правил. Сегодня оператор имеет дело со сложнейшими промышленными комплексами, и простых эмпирических правил уже недостаточно. Техника безопасности должна смениться теорией безопасности, способной обнаруживать наиболее рискованные звенья производственных комплексов и подсказывать оптимальные пути их замены. На основе каких дисциплин может возникнуть такая наука?

С. БЕЛЯЕВ. Безусловно, такая наука появится. Но ее задачи несколько шире: не только находить "слабые звенья" в технологических цепочках, но

Техника безопасности — это важные и нужные, проверенные временем способы предотвращения несчастий. Но сегодня их уже недостаточно — необходима теория риска.

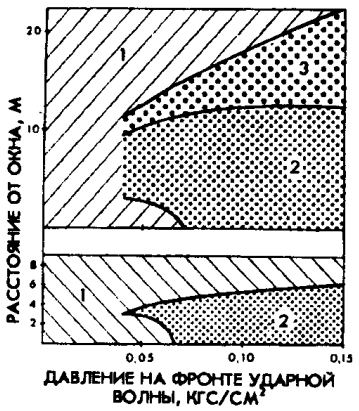
и подсказывать, как будут развиваться события в случае той или иной аварии, как действовать,

(Окончание на стр. 59)

травмы черепа или глубокого пореза — 0,05), а для оказавшихся в третьей зоне последствия взрыва будут наихудшими (вероятность тяжелого ранения — 0,09, летального исхода — 0,01). Размеры зон зависят от типа остекления, удаленности и мощности взрыва.

Как же уменьшить угрозу от осколков? Делать окна совсем маленькими? Неэстетично, а порой и просто невозможно. Вставлять в окна предварительно напряженные стекла, которые, как ветровое стекло автомобиля, при ударе рассыпаются на мелкие кусочки? Слишком дорого. Московские исследователи предложили еще один выход. Достаточно затянуть металлической сеткой определенные участки стекла, и зоны тяжелых поражений становятся очень узкими или вообще исчезают.

Границы зон поражения в одноэтажном здании со сплошным остеклением (вверху) и с обычными окнами (внизу). В непосредственной близости от окна осколки не успевают набрать скорость, и потому здесь располагается зона 1. Затем сменяют друг друга зоны 2 и 3, а на большом удалении снова возникает зона 1 — сюда осколки попадают на излете.



РИСК КАК ТОЧНАЯ НАУКА

(Окончание. Начало статьи см. стр. 2)

чтобы предельно уменьшить последствия. Это и отличает будущую теорию безопасности — или иначе, теорию риска — от самой близкой ее предшественницы, теории надежности. Теория надежности предсказывает, как долго проработает интересующий вас узел, но ничего не говорит о том, что лучше предпринять в случае его отказа.

Впрочем, теория надежности для сложных систем в чем-то приближается к теории безопасности. Ведь такие системы состоят из многих элементов, и работа системы как целого по-разному зависит от работы каждого элемента: отказ одного почти ни на что не влияет, а отказ другого может быть критическим. Здесь приходится не только рассчитывать ресурс элемента, но и анализировать, как станут развиваться события после его отказа. И все же разница сохраняется. Теория надежности имеет дело с системами, для которых можно рассмотреть все цепочки событий, а теория безопасности — с системами настолько сложными, что все варианты перебрать невозможно, и необходимо предотвратить только те, которые приводят к тяжелым авариям. В США такие работы активно развернулись в связи с проектом "Аполлон". Для каждого космического корабля американские специалисты по безопасности точно определяют, сколько систем данного рода может выходить из строя за каждый полет. Для "Шаттла", например, может выйти из строя 5 систем некоторого класса. И в среднем 5 таких систем действительно отказывают, но это системы, без которых можно выжить. А другие системы ни в коем случае не должны отказать, поэтому специалисты по надежности вынуждены дублировать их или принимать иные меры. Это серьезная наука, особая область исследований — и экспериментальных, и теоретических, и статистических, — которая у нас только-только начинает развиваться.

Однако есть более важное и глубокое отличие теории риска от ее предшественниц. Раньше считали так: если создается новая установка, ее нужно сделать абсолютно безопасной, чтобы на ней никогда не произошла авария. Техника безопасности как раз и ставит своей целью не допустить никаких аварий. Казалось бы, очень гуманный подход. Но к чему он приводит? Поскольку все установки у нас абсолютно безопасны, никто не изучает, почему и как авария может произойти. Но ведь ничего нельзя сделать абсолютно надежным, и когда авария все-таки происходит, вы оказываетесь просто не готовыми к ней. На самом деле вы должны знать вероятность аварии. И если докажете, что эта вероятность крайне мала, то имеете право заявить: с такой установкой можно работать.

И. КУЗЬМИН. Концепция "абсолютной безопасности", о которой говорил Спартак Тимофеевич, до недавнего времени была фундаментом, на котором во всех странах строились нормативы безопасности. Для предотвращения аварий внедрялись дополнительные технические устройства — инженерные системы безопасности, принимались организационные меры, обеспечивающие высокий уровень дисциплины, строгий регламент работы и тому подобное. Считалось, что такой инженерный, детерминистский подход позволяет исключить любую опасность для населения и окружающей среды.

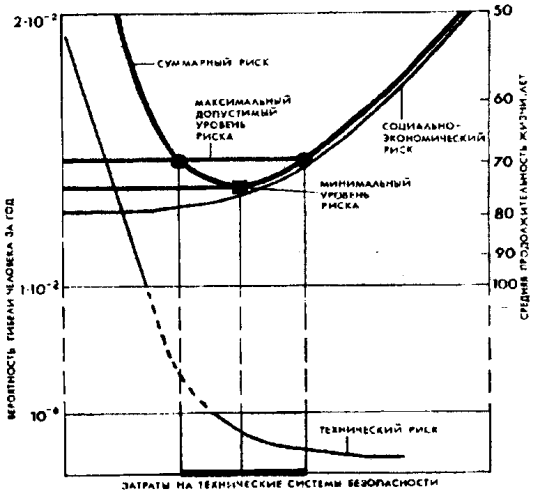
До последних десятилетий этот подход был оправдан, однако сегодня из-за беспрецедентного усложнения производств и появления принципиально новых технологий концепция "абсолютной безопасности" стала неадекватна внутренним законам техносферы. Эти законы имеют вероятностный характер, и нулевая вероятность аварии достигается лишь в системах, лишенных запасенной энергии, химически и биологически активных компонентов. На остальных же объектах (а таких большинство) аварии все равно возможны, их не исключают даже самые дорогостоящие инженерные меры. Можно говорить о снижении риска аварии, но нельзя забывать о том, сколько за это придется заплатить. Ресурсы любого общества ограничены, и если мы вкладываем неоправданно много средств в технические системы предотвращения аварий, то вынуждены урезать финансирование социальных программ — строить меньше квартир, стадионов, больниц, школ. Весьма вероятно, что в итоге, даже с учетом уменьшившегося риска аварий, мы сократим среднюю продолжительность жизни человека и снизим ее качество.

Это хорошо видно на графике зависимости риска от затрат на технические системы безопасности. При увеличении затрат технический риск уменьшается, но растет социально-экономический. Кривая же суммарного риска имеет минимум при определенном соотношении между инвестициями в техническую и социальную сферы.

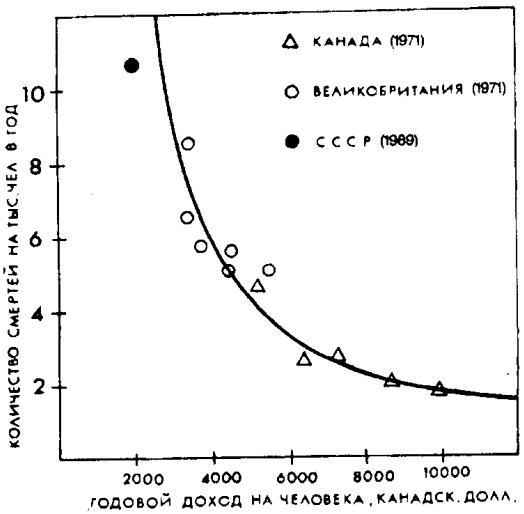
За безопасность техники всегда нужно платить, и после некоторого уровня цена уже не оправдывается достигнутым эффектом. Поэтому "слишком безопасная" техника для общества ничуть не лучше слишком опасной.

Это и нужно учитывать при выборе уровня риска, с которым общество пока вынуждено мириться.

Кстати, затраты на снижение риска аварий распределяются у нас далеко не лучшим образом. Их можно вкладывать в технические системы безопасности, в подготовку персонала или в совершенствование управления при чрезвычайных ситуациях. В первых двух случаях средства расходуются на снижение вероятности аварии, в



Зависимость технического, социально-экономического и суммарного риска от затрат на технические системы безопасности. Видно, что вкладывать в такие системы слишком много средств неразумно — страдает развитие экономики и социальной сферы, а значит, ухудшаются условия жизни людей.



Кривая зависимости смертности в разных социальных группах от уровня доходов семьи подтверждает и без того очевидный закон — богатые люди живут дольше. СССР на графике представлен точкой, соответствующей среднему доходу и средней смертности для всего населения страны.

третьем — на уменьшение ее масштабов, если она произойдет. Мы всегда занимались первым, забывая про последнее. Но анализ эффективности капиталовложений показывает, что во многих случаях можно сильней снизить риск для населения, если больше внимания уделять действиям в случае аварии, чем техническим системам ее предотвращения, которые все равно абсолютных гарантий не дают.

К сожалению, у нас в стране концепция приемлемого риска имеет много противников. Они считают ее аморальной — дескать, эта концепция дает конструктору право заранее планировать на объектах аварии с вероятностью ниже приемлемой. Но, на мой взгляд, куда аморальнее вводить себя и других в заблуждение упованиями на недостижимую "абсолютную безопасность". Конечно, недопустимо намеренно оставлять даже самый малый риск для людей, если есть простые средства его избежать. Но нельзя получить все сразу, и приходится выбирать приоритеты. Концепция приемлемого риска и позволяет делать это с открытыми глазами.

Если на уровень безопасности влияют не только технические, но и экономические или социальные решения, принимаемые обществом, открывается возможность сравнивать все варианты действий по общему критерию — снижению риска. Но стоит ли рассчитывать на создание универсальной теории, способной находить оптимальный путь общественного развития, который обеспечивает минимальный риск?

И. КУЗЬМИН. Зависимость риска от экономической стратегии носит статистический, усредненный характер. С ее помощью можно принимать решения для общества в целом, но такие решения не обязательно совпадут с целями и желаниями конкретных людей. Например, кто-то согласен мириться с повышенным техническим риском, если это обеспечивает высокий уровень жизни, а кто-то хочет жить без машины и видео магнитофона, но чтобы рядом с его домом не стояло опасных предприятий. Нельзя принимать решения за всех. Вот почему нужно исходить не из минимального риска (нижней точки суммарной кривой), а из некоторого максимального допустимого уровня, расположенного чуть выше. В промежутке между этими двумя значениями и лежит область, в которой у человека остается свобода выбора.

О. ЛАРИЧЕВ. Каждый выбор, сделанный обществом, действительно влияет на уровень безопасности его членов. Но это не значит, что можно написать систему уравнений, пусть даже очень сложную, решение которой определит идеальный путь развития. И дело не только в ограниченности наших знаний — в человеческих желаниях много субъективного, "невычисляемого". Скажем, при эксплуатации АЭС люди требуют значительно большей степени безопасности, чем при использовании автомобильного транспорта. И это объясняется в первую очередь не неосведомленностью населения о реальных уровнях риска, как иногда утверждают, а психологическими особенностями восприятия риска разного рода. Конечно, такое восприятие может меняться, но его нельзя быстро корректировать по желанию физиков, химиков или инженеров. Тем более нельзя его игнорировать. Можно только пытаться влиять на него, если делать это очень осторожно и умело с социально-психологической точки зрения.

Сложные проблемы возникают и при измерении риска. Здесь существуют четыре разных подхода. Первый — инженерный. Он опирается на статистику поломок и аварий, на вероятностный анализ безопасности (ВАБ): построение и расчет так называемых деревьев отказов и деревьев событий. С помощью первых предсказывают, во что может развиться тот или иной отказ техники, а деревья событий, наоборот, помогают проследить все причины, которые способны вызвать какое-то нежелательное явление. Когда деревья построены, рассчитывается вероятность реализации каждого из сценариев (каждой ветви), а затем — общая вероятность аварии на объекте.

Второй подход, модельный, — построение моделей воздействия вредных факторов на человека и окружающую среду. Эти модели могут описывать как последствия обычной работы предприятий, так и ущерб от аварий на них.

Первые два подхода основаны на расчетах, однако для таких расчетов далеко не всегда хватает надежных исходных данных. И тогда настает очередь третьего подхода — экспертного: вероятности различных событий, связи между ними и последствия аварий определяют не вычислениями, а опросом опытных экспертов. Наконец, в рамках четвертого подхода — социологического — исследуется отношение населения к разным видам риска, например, с помощью социологических опросов.

То, что для определения риска используются четыре столь не схожих между собой метода, не должно удивлять. В разных задачах под риском следует понимать то вероятность какой-то аварии, то масштаб возможного ущерба от нее, а то и комбинацию двух этих величин. Описывая риск, нужно учитывать и выгоду, которую получает общество, когда на него идет (бесполезный риск недопустим, даже если он ничтожно мал). Иными словами, величина риска — это не какое-то одно число, а скорее вектор, состоящий из нескольких компонент. И потому мы имеем дело с так называемым многокритериальным выбо-

ром, процедура которого описывается теорией принятия решений.

В таком выборе должны участвовать не только технические эксперты. Совместное рассмотрение проблемы представителями всех заинтересованных групп, открытое обсуждение достоинств и недостатков новых объектов, понятное неспециалисту обоснование оценок риска помогут выработать общее, согласованное решение. Только так можно избежать случаев, когда крупное предприятие уже построено, а население препятствует его пуску.

С. БЕЛЯЕВ. Особенно важно учесть мнения разных групп населения, поскольку они могут сильно различаться между собой. В Швеции по-

Что такое риск? В разных ситуациях это понятие имеет разный смысл, но почти в каждом конкретном случае его можно точно подсчитать.

сле референдума о судьбе атомной энергетики психологи и социологи провели специальный опрос. Кроме вопроса о том, как человек голосовал на референдуме, в анкету включили множество других, чтобы определить его психологическую конституцию — например, об отношении к сексуальной революции, различным техническим, социальным или политическим новшествам. И оказалось, что между ответами на разные вопросы есть сильная корреляция. Те, кто не приемлют атомной энергетики, негативно относятся и ко многим другим новшествам. Те же, кто против атомной энергетики не возражают, спокойно принимают и остальные виды риска, от технического до социального. В обществе существуют самые разные типы людей, и интересы каждого должны приниматься во внимание. В Швеции не только определены главные из этих типов, но и оценена их численность. А мы даже в среднем не знаем отношения наших людей к риску.

О. ЛАРИЧЕВ. Субъективное восприятие риска неспециалистом — очень интересный и сложный вопрос. У экспертов представление о риске от какой-либо технологии однозначно связано со смертностью от нее, у населения же такой связи нет. Яркий пример: при опросе о степени риска различных технологий население США поставило атомную энергетику на первое место, хотя смертность от нее по оценкам тех же людей стояла на одном из последних мест. Как показали исследования, на субъективное восприятие риска влияет множество факторов. Назову только главные.

Значимость последствий. При оценке риска важную роль играет то, какие потребности человека будут удовлетворены с помощью данной технологии в случае благоприятного исхода и чем грозит ему неблагоприятный исход.

Распределение угрозы во времени. Люди относятся терпимее к частым мелким авариям, чем к редким катастрофам с большим числом жертв, даже если суммарные потери в первом случае намного больше, чем во втором.

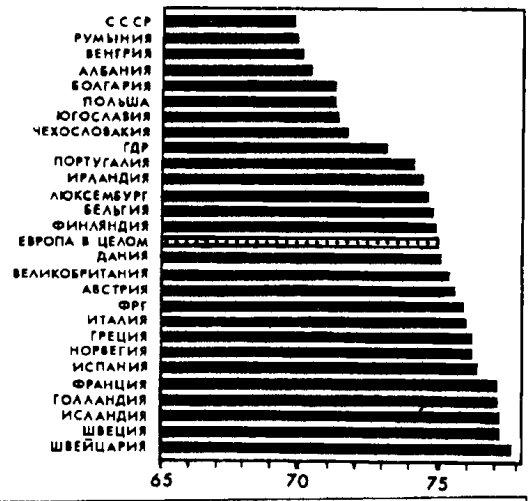
Контролируемость. Человек готов идти на большую степень риска в ситуации, когда он может предпринять какие-то меры для предотвращения негативных последствий, когда многое зависит от его личных действий, а не только от стечения внешних обстоятельств.

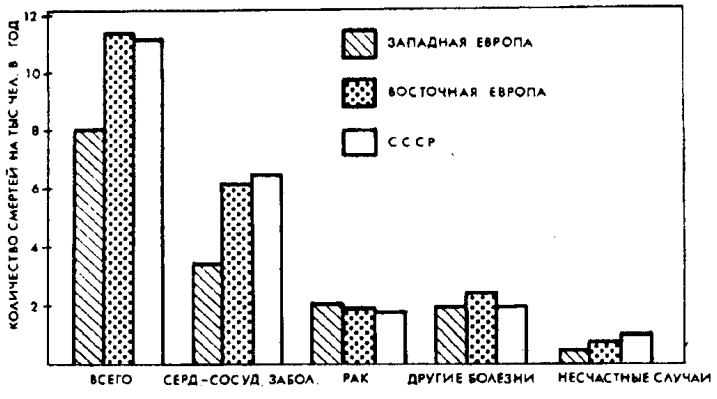
Добровольность. Люди могут примириться с риском в тысячу раз большим, если он принят ими добровольно, а не навязан извне.

Новизна. Общество проявляет большую терпимость к старым, хорошо известным технологиям, чем к новым, о которых оно мало что знает.

Все эти и многие другие особенности человеческой психологии нужно учитывать, принимая решения, касающиеся риска.

И. КУЗЬМИН. Я бы еще подчеркнул, что решения нужно принимать, исходя из ситуации в конкретном регионе: находящиеся рядом объекты могут влиять друг на друга, создавая дополнительный риск. Например, неразумно располагать атомную электростанцию поблизости от тепловой: вокруг АЭС заметно повышается влажность воздуха, а в выбросах ТЭС присутствует окись серы, при взаимодействии которой с парами воды образуется серная кислота. Иными словами, расположенные рядом АЭС и ТЭС — источник кислотных дождей. У нас же это зачастую не учитывается. Так, в Запорожье построили мощнейшую АЭС с пятью блоками-миллионниками всего в нескольких километрах от ТЭС на угле мощностью 3,6 ГВт. Другой пример взаимного влияния разных источников риска — катастрофа в Башкирии в 1989 году, когда при взрыве газа, вытекшего из продуктопровода, пострадали пассажиры двух встречных поездов. Вообще, авария на одном предприятии может вызвать аварию на





Ожидаемая средняя продолжительность жизни людей, родившихся в европейских странах в 1988 году, и причины смертности в это же время.

соседнем, а та, в свою очередь, станет причиной еще одной — реализуется так называемый "эффект домино". Поэтому решения о снижении риска можно принимать только для всего комплекса объектов, расположенных в регионе. В частности, так сейчас анализируют ситуацию в поселке Сосновый Бор под Ленинградом, где находится Ленинградская АЭС и ряд других потенциально опасных промышленных объектов.

С. БЕЛЯЕВ. Вполне естественно, что крупные аварии — взрывы, пожары, столкновения — привлекают внимание общественности. Но нужно понимать, что их вклад в общий риск не так велик, как вклад "нормальной" работы многих предприятий: мелких утечек вредных веществ, загрязнения воздуха и воды. В стране есть десятки городов, в которых количество онкологических заболеваний превышает среднее во много раз. Поэтому следует заниматься не только предотвращением аварий, но и совершенствованием технологий с экологической точки зрения.

Л. КРЕЧЕТОВ. Если мы тратили усилия на предотвращение технических аварий, забывая готовиться к борьбе с их последствиями, то ситуация с экологическим риском почти противоположна: экономя на предотвращении деградации окружающей среды, мы затем вынуждены бросать миллиарды на грандиозные программы по уменьшению последствий в зонах уже разразившихся катастроф — таких, как Чернобыль или Арал. Здесь тоже необходимо разумное перераспределение средств.

Но прежде, чем распределить средства на снижение экологического риска, нужно их где-то изыскать, а это проблема не из легких. Многие считают, что особенно острой она станет при переходе к рынку, поскольку отдельным предприятиям и фирмам будет невыгодно расходовать деньги на снижение риска.

Л. КРЕЧЕТОВ. Переход к рынку может изменить ситуацию и в лучшую, и в худшую сторону — сам по себе тип экономического механизма еще ни о чем не говорит. К примеру, во многих странах с рыночной экономикой экологический риск регулируется централизованно, можно сказать — административно-командным методом, и вполне успешно. С другой стороны, в иных странах не меньшие успехи достигнуты с помощью типично рыночных приемов. "Переход к рынку" — скорее лозунг, чем точное описание необходимых нашей стране перемен. Нам нужно более гибко распределить права и обязанности между отдельными людьми, предприятиями и государственными структурами.

ГОЛЛАНДИЯ: УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ В МАСШТАБАХ СТРАНЫ

Проблема уменьшения риска решается в Голландии настолько активно и последовательно, насколько это возможно при нынешнем уровне знаний. Основные принципы такой деятельности закреплены в правительственной программе управления риском, которая является составной частью общей программы по защите окружающей среды.

Голландские эксперты стараются определить риск всесторонне. Учитывают индивидуальный риск, социальный риск и даже риск для экосистем (первый задается вероятностью гибели отдельного человека, второй — соотношением между количеством людей, которые могут погибнуть при одной аварии, и вероятностью такой аварии, а третий — процентом биологических видов экосистемы, на которых скажется вредное воздействие). Рассматриваются не только события, приводящие к мгновенной смерти, но и факторы, дающие отдаленные последствия — например, использование пестицидов в сельском хозяйстве или загрязнение окружающей среды. Разработаны сложные комплексы компьютерных программ, способные вычислить вероятность аварии на предприятии, определить величину и характер опасных выбросов, учесть метеорологические условия, рельеф местности, расположение дорог и населенных пунктов и в конечном счете построить карту распределения риска.

Существует уровень риска, который можно считать пренебрежимо малым. Если риск от какого-то объекта не превышает такого уровня, нет смысла принимать дальнейшие меры по повышению безопасности, поскольку это потребует значительных затрат, а люди и окружающая среда из-за действия иных факторов все равно будут подвергаться почти прежнему риску. С другой стороны, есть уровень максимального приемлемого риска, который нельзя превосходить, каковы бы ни были расходы. Между двумя этими уровнями лежит область, в которой и нужно уменьшать риск, отыскивая компромисс между социальной выгодой и финансовыми убытками, связанными с повышением безопасности.

Решение о том, какой уровень риска считать приемлемым, а какой нет, носит не технический, а политический характер и во многом определяется экономическими возможностями страны. Правительство и парламент Голландии законодательно установили такие уровни. Максимальным приемлемым уровнем индивидуального риска считается величина 10^{-6} в год. Иными словами, вероятность гибели человека в течение года не должна превышать одного шанса из миллиона. Пренебрежимо малым считается индивидуальный риск 10^{-8} в год. Для факторов, которые приводят не к немедленной смерти, а к отдаленным опасным последствиям и не имеют порога действия, приняты эти же нормы. Если такие факторы сказываются лишь после превышения порога (например, предельно допустимой концентрации вредного вещества), то максимальный приемлемый уровень риска соответствует порогу. Максимальным приемлемым уровнем риска для экосистем считается тот, при котором может пострадать 5% видов биогеоценоза.

Два конкретных примера того, как работают такие нормы на практике.

Голландская компания "General Electric Plastics" обратилась за разрешением на расширение производства на одном из своих заводов. На этот завод по железной дороге привозилось примерно 600 т хлора в неделю, а в качестве промежуточного реактива использовался фосген. Жители расположенного в 600 м поселка возражали против такого разрешения, поскольку боялись увеличения риска катастрофы. Эксперты провели расчет, и оказалось, что вклад фосгена в общий риск, создаваемый заводом, совсем невелик. Зато расширение завода неминуемо приводило к увеличению объемов хранения и перегрузки хлора, в результате чего значительная часть поселка могла оказаться в зоне, где риск превышал 10^{-6}. Из этой ситуации был найден довольно неожиданный выход: чтобы сделать завод более безопасным, требовалось не просто расширить его, но и начать собственное производство хлора. Тогда исчезла бы угроза, связанная с перевозкой и хранением этого ядовитого газа, и общая безопасность предприятия даже возросла бы. Такой выход устроил и местные власти, и руководителей компании.

Другой случай произошел несколько лет назад на юго-востоке Голландии, где расположено

Риск необходимо регулировать на двух уровнях — централизованно (разработка стратегии и крупномасштабные программы) и децентрализованно (решение текущих вопросов). К сожалению, децентрализованная система управления риском в нашей стране почти не развита. Поскольку в ней между участниками нет взаимной подчиненности, именно здесь наибольший простор для экономических методов снижения риска.

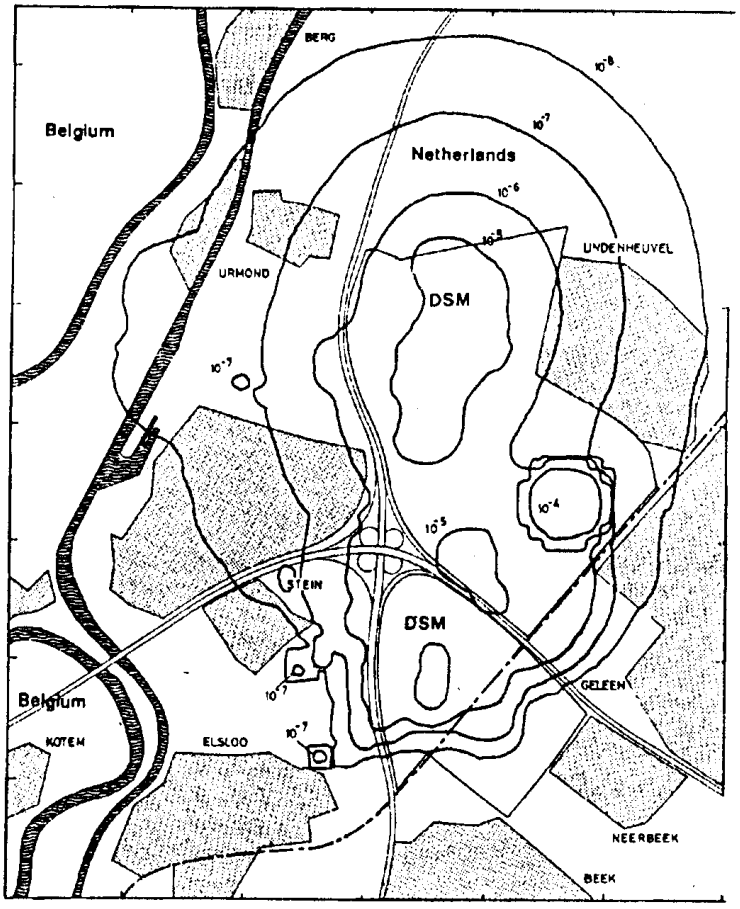
Переход к рынку открывает принципиально новые возможности повышения безопасности техносферы.

Когда говорят об экономических методах, обычно имеют в виду страхование. Однако этот метод не универсален — выплата страховых взносов лишь распределяет ожидаемые потери между клиентами страховой компании и разносит эти потери назад по времени относительно аварии. Другой механизм — денежная компенсация ущерба. Она распределяет потери по времени после аварии. Оба эти метода смягчают ожидаемые экономические последствия, но не влияют на вероятность неблагоприятных событий, поэтому ограничиваться только ими нельзя. Чтобы заставить предприятия снижать вероятность аварий, лучше использовать штрафы, но это скорее не экономический, а административный метод.

Пытаются внедрять и более тонкие механизмы. Например, платежи за риск, из которых можно формировать фонды для борьбы с последствиями аварий или загрязнения окружающей среды. Однако снижение частоты нежелательных событий может объясняться не столько стимулирующим действием платежей, сколько неправильной оценкой риска. Поэтому, если аварии долго не происходят, часть денег целесообразно возвращать предприятию. В некоторых странах вводятся платные квоты на вредные выбросы. В этом случае население какого-то района или экологические организации могут выкупить у предприятия эти квоты и запретить ему выбросы либо вообще закрыть его. Предприятия также могут перекупать друг у друга разрешения на выбросы. Как правило, каждая такая сделка должна получить одобрение местного природоохранного агенства. В целом возникновение региональных "рынков квот" на загрязнение способствует охране окружающей среды. На мой взгляд, стоило бы обсудить и возможность применения аналогичных квот на риск, которые предприятия могли бы перекупать друг у друга. К примеру, заводу необходимо расширить производство, а это связано с увеличением риска. Чтобы общий

крупное химическое предприятие DSM, выпускающее среди прочего до полумиллиона тонн аммиака и акрилонитрита в год и отстоящее от ближайших поселков всего на 200 м. Когда местные власти предложили план застройки местности между поселками и предприятием, по существующим правилам был проведен анализ уровня риска в этой зоне. На территории завода находилось около 35 различных объектов, 10 из которых вносили главный вклад в общую угрозу. Каждый из них был тщательно изучен. Неожиданно обнаружилось, что многие считавшиеся раньше весьма опасными установки на самом деле не играют той роли, которую им приписывали. Зато недооценивалось опасность, связанная с хранилищами аммиака. Выяснилось, что часть новой застройки попадает в зону с высоким уровнем риска. Эксперты дали две рекомендации: руководству завода принять меры по снижению риска, местным властям ограничить строительство на территориях, примыкающих к заводу. Жители поселков с энтузиазмом приняли первую часть рекомендаций и с негодованием — вторую. После обсуждений в парламенте было решено в этот раз позволить строительство в зоне, где риск не превышает 10^{-6}, но в будущем ориентироваться на линию, на которой риск составляет 10^{-6}, то есть пренебрежимо мал.

Специалисты из разных стран спорят о том, насколько правильны и объективны используемые голландцами методы расчета, насколько точны их карты, насколько оправдан поиск компромисса между выгодой и безопасностью. Рядовым жителям Голландии, неспециалистам, судить об этом трудно. Зато они чувствуют, что государство не на словах, а на деле заботится об их жизни, так что они могут доверять самому подходу к проблеме — честному и действенному.



Карта риска в районе предприятия DSM.

риск в регионе не возрос, такой завод может субсидировать меры по повышению безопасности на одном из близлежащих предприятий, приобретая тем самым у соседа необходимые квоты на предполагаемое увеличение риска. Подобные сделки позволили бы сохранять риск на приемлемом уровне с существенно меньшими затратами.

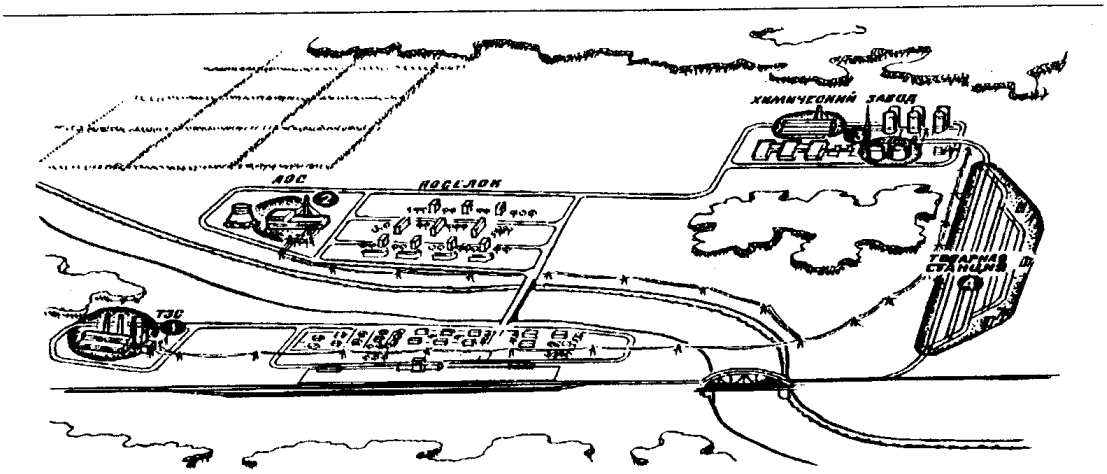
Как уже говорилось, уровень риска во многом определяется ошибками людей на сложных технических объектах. Чтобы сильней заинтересовать персонал в безаварийной работе, можно ввести надбавки к зарплате за обязательства коллектива по снижению риска. Но работники должны помнить: если обязательства будут нарушены, их заставят вернуть часть этих денег. Наконец, государство может прямо финансировать предприятиям меры по уменьшению риска, в том числе экологического.

Итак, для снижения риска нужны меры во многих областях — от совершенствования технических систем безопасности до введения новых экономических механизмов. С чего же сегодня начинать?

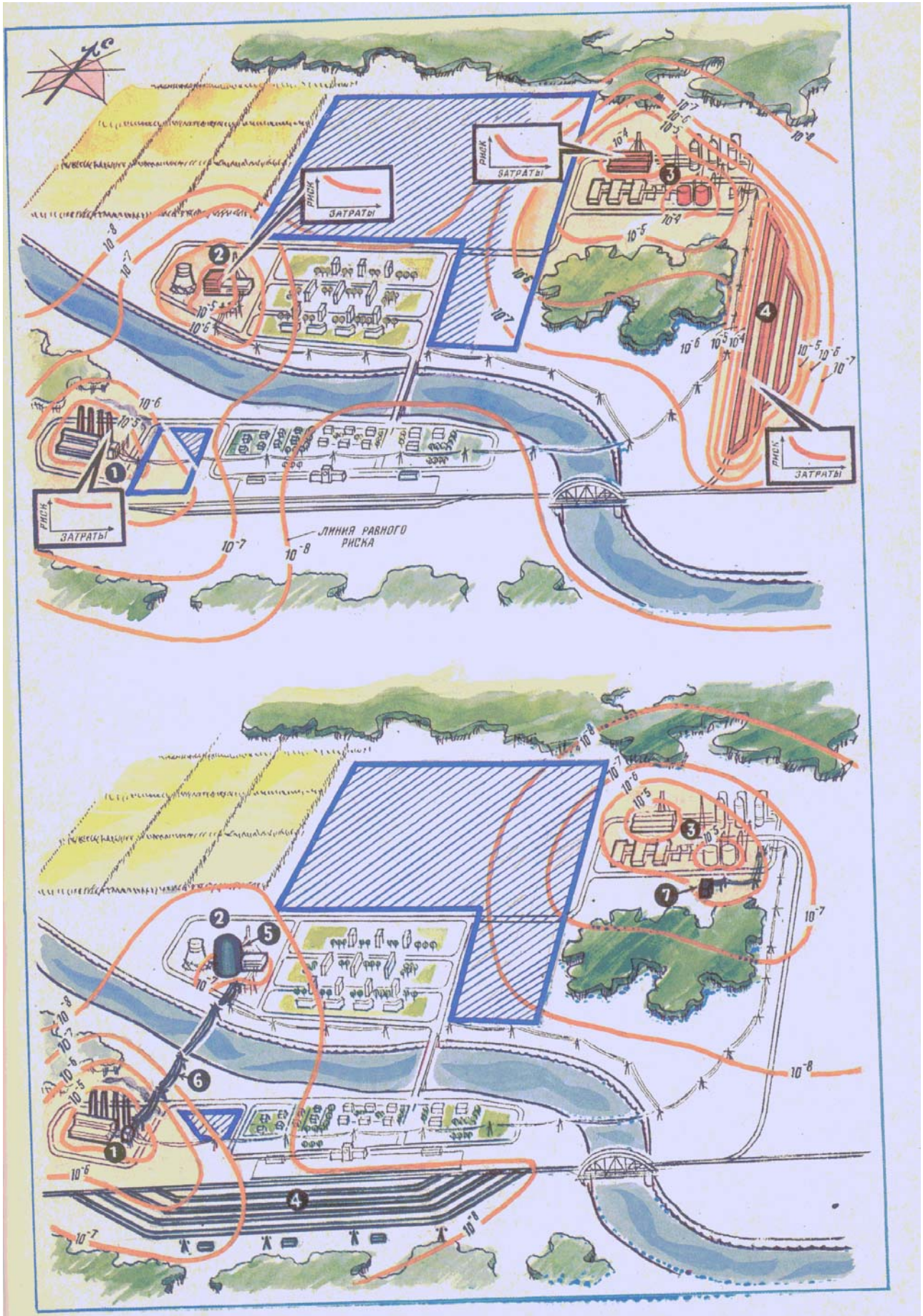
О. ЛАРИЧЕВ. В первую очередь следует изменить процедуры принятия решений по строительству крупномасштабных производств, особенно — опасных. Нужно привлекать к выработке решений все заинтересованные группы людей, анализировать варианты с точки зрения как экономической выгоды, так и риска. Необходимо создать в СССР (как это сделано в странах ЕЭС) центр, где бы накапливались и изучались сведения о всех авариях. Во многих случаях придется ужесточить стандарты безопасности и усилить ответственность за их нарушение. Такие стандарты могут быть обременительны для промышленности и транспорта, но они неизбежны, если мы не хотим терять людей.

Из программы на более далекую перспективу отмечу лишь самое важное. Будущие инженеры, физики, химики и другие специалисты должны изучать в вузах особые курсы по теории риска. Кроме того, в стране должны появиться независимые консультативные организации, способные анализировать риск от потенциально опасных объектов.

И все же, наверное, сейчас главное — заставить общество осознать значение проблемы. Люди должны понять: хотя риск никогда нельзя свести к нулю, его можно значительно снизить, но для этого придется пойти на дополнительные траты. Только такое понимание позволит сделать наш мир достаточно безопасным.



Методика управления безопасностью в регионе (условный пример). Работу по снижению риска для людей, проживающих в определенной местности, начинают с выявления наиболее важных источников опасности. Для жителей вымышленного поселка, изображенного на верхнем рисунке, такими источниками будут выбросы тепловой электростанции 1, атомная электростанция 2, охлаждаемые хранилища сжиженного аммиака и один из цехов химического завода 3, товарная станция железной дороги 4 (выделены черным). Затем эксперты строят все возможные сценарии аварий на каждом из этих объектов, принимая во внимание их взаимное влияние или случайное совпадение, и вычисляют вероятность осуществления каждого из сценариев. На следующем этапе с помощью математических моделей строят карту риска, для чего наряду с расстоянием до опасных объектов учитывают ожидаемый масштаб выбросов и направление их переноса (линии равного риска показаны оранжевыми кривыми на цветной вкладке вверху). Такая карта может служить основой для выбора плана будущей застройки. Скажем, на ней видно, что часть территории, первоначально отведенной под застройку (синий контур), попадает в зону неприемлемого риска — свыше 10^{-6} в год, так что для строительства пригодны только заштрихованные участки. Можно подойти к снижению риска и по-другому: принять технические меры по повышению безопасности объектов и за счет этого расширить зону возможного строительства. В этом случае проводится экономический анализ: для каждого объекта определяют, как снижение риска зависит от затрат на повышение безопасности (красные кривые на графиках), и вкладывают деньги туда, где меньшие затраты дают больший эффект. Так, в нашем примере целесообразно построить защитный колпак 5 над реактором АЭС, провести дублирующий отрезок ЛЭП 6, обеспечить химический завод автономным электрогенератором 7 и перенести товарную станцию на новое место. Эти меры заметно изменят карту риска, и можно будет полностью застроить свободную территорию на севере. Изменение же технологии сжигания топлива на ТЭС и очистка ее выбросов от всех вредных примесей — дело менее выгодное, так что проще сохранить ограничения на застройку к юго-западу от поселка.


РИСК
ЗАТРАТЫ
ЛИНИЯ РАВНОГО РИСКА