

## Научные основы анализа и снижения рисков чрезвычайных ситуаций в районах Сибири и Севера

Н. А. Махутов<sup>1</sup>, член-корреспондент РАН

Рабочая группа при президенте Российской академии наук по анализу риска и проблемам безопасности

М. П. Лебедев<sup>2</sup>, член-корреспондент РАН,

А. М. Большаков<sup>3</sup>, доктор технических наук

Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова Сибирского отделения РАН

М. М. Гаденин<sup>4</sup>, кандидат технических наук

Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН

*Показано, что последовательное движение в направлении снижения стратегических рисков развития техносферы Сибири и Севера во всем комплексе развития страны связывается, с одной стороны, с рассмотрением ее как целостного образования, влияющего на жизнеобеспечение этого региона и на возможные риски возникновения на входящих в его состав потенциально опасных объектах чрезвычайных ситуаций, с другой — с необходимостью рассматривать такие объекты региона как индивидуальные потенциальные источники опасности, способные повлиять на состояние техносферы в целом. При этом отмечено, что единого нормативного подхода к анализу всех категорий объектов, опасностей и систем защиты от чрезвычайных ситуаций в рассматриваемых условиях пока не принято, однако следует иметь в виду, что использование в этом направлении критериев риска позволяет рассматривать их в качестве универсальных параметров определения уровня опасности эксплуатации объектов техносферы Сибири и Севера и управлять разработкой и реализацией мероприятий по снижению этих уровней и смягчению последствий при их проявлении.*

**Ключевые слова:** техногенная безопасность, риск, чрезвычайные ситуации, районы Сибири и Севера, климатические условия, разрушения, аварии, катастрофы, категорирование объектов техносферы, вероятность, ущерб, управление безопасностью.

Начало интенсивного промышленного освоения районов Сибири и Севера относится к первым десятилетиям второй половины XX в. Огромные природные ресурсы стратегического мирового уровня в этих районах, исключительно суровые климатические условия, сейсмичность, низкая плотность их заселения, невысокая развитость инженерных инфраструктур (энергетических, транспортных, жилищных) сделали северо-восток России одним из важнейших направлений развития социально-экономического, гражданского и оборонного

промышленного потенциала страны в XX и XXI вв. В числе приоритетных направлений этого развития особое место занимает задача создания техники, технологий и материалов, предназначенных для работы при экстремально низких климатических температурах, высоких ветровых и снеговых нагрузках, паводках, землетрясениях и вечной мерзлоте [1] с обеспечением их работоспособности и безопасной эксплуатации в таких условиях. Эти обстоятельства определили важность, актуальность и этапность решения ключевых фундаментальных и прикладных проблем научно-технического развития техносферы Сибири и Севера в направлении следующей последовательности: прочность → хладостойкость → ресурс → надежность → живучесть → безопасность →

<sup>1</sup> e-mail: kei51@mail.ru.

<sup>2</sup> e-mail: m.p.lebedev@prez.ysn.ru.

<sup>3</sup> e-mail: a.m.bolshakov@iptpn.ysn.ru.

защищенность от аварий и катастроф критически и стратегически важных объектов. Обобщение результатов исследований и разработок по этим направлениям выполнено в фундаментальных исследованиях [1—6].

Поручением президента Российской Федерации Российской академии наук было предложено подготовить прогноз социально-экономического и научно-технического развития нашей страны до 2030 г. с использованием критериев стратегических рисков [5; 7]. В рамках деятельности Координационного совета РАН по прогнозированию при разработке такого прогноза и соответствующих прогнозных показателей было отмечено, что обобщающим критерием социально-экономического и научно-технологического развития приняты стратегические экономические риски, учитывающие неестественные и преждевременные потери жизней и другие основные неблагоприятные процессы и ущербы в социуме, природе и техносфере. В последние годы эти риски стали возрастать и по выполненным оценкам достигли величин 0,08—0,12 внутреннего валового продукта.

Ориентация долгосрочного развития на обеспечение приемлемого уровня стратегических рисков, несомненно, сопряжена с внесением серьезных регулирующих начал в функционирование экономики и техносферы. Реализация этих прогнозов должна базироваться на фундаментальных междисциплинарных и межатраслевых исследованиях общих закономерностей развития человека, общества, государства и среды жизнедеятельности. Принципиально важной стороной таких разработок является введение в показатели прогнозного развития стратегических рисков, отражающих широкий спектр угроз и вызовов, способных приводить к возникновению аварий и катастроф в течение прогнозного периода. Количественными критериями в этом направлении могут быть приняты: стратегические индивидуальные риски неестественных, преждевременных и естественных потерь человеческих жизней, измеряемые отношением числа потерянных жизней в течение года к числу живущих, и стратегические экономические риски, учитывающие весь комплекс неблагоприятных процессов и ущербов в социуме, техносфере и природной среде и измеряемые отношением экономического потерь (ущербов) к внутреннему валовому продукту в год.

Указанные стратегические индивидуальные риски в нашей стране в настоящее время оказались в 15—20 раз выше, чем приемлемые риски, и в 2 раза выше, чем недопустимые риски для промышленно развитых стран. К концу прогнозного периода ставится задача снижения стратегических рисков неестественных и преждевременных потерь человеческих жизней в 8—10 раз.

Стратегические экономические риски в нашей стране в 3—4 раза превосходят риски для передовых промышленно развитых стран. Основными

источниками этих рисков стали экономические ущербы от потерь человеческих жизней, деиндустриализация, социально-экономическое неравенство, невостребованность профессионализма и знаний, потери квалификации, деградация промышленного гражданского, оборонного и сельскохозяйственного потенциалов.

Чтобы реализовать планомерное последовательное движение в направлении снижения стратегических рисков развития техногенной сферы Сибири и Севера во всем комплексе развития страны, следует прежде всего представить эту сферу, с одной стороны, как целостное образование, влияющее на жизнеобеспечение этого региона и на возможные риски возникновения на входящих в его состав потенциально опасных объектах чрезвычайных ситуаций, а с другой — рассматривать такие отдельные объекты как индивидуальные потенциальные источники опасности, способные повлиять на состояние техносферы в целом. В этой связи при анализе возможных техногенных, природно-техногенных, социально-природно-техногенных чрезвычайных ситуаций в Арктике следует учитывать два важных фактора: класс возможных аварий и катастроф и их последствий, а также тип аварийных ситуаций [2; 4—10].

Аварии и катастрофы в зависимости от тяжести возможных последствий (ущербов) и наблюдаемой периодичности их возникновения могут быть разделены (рис. 1) на планетарные, глобальные, национальные, региональные, местные, объектовые и локальные [2; 4—9]. Первые из них создают тяжелые социально-экономические и экологические последствия для сопредельных стран, последние затрагивают промышленные и санитарно-защитные площади объектов. Аварийные ситуации по степени снижения их последствий классифицируются как гипотетические, запроектные, проектные и режимные; первые из них имеют минимальную вероятность возникновения, но наиболее тяжелые последствия и создают максимальный риск, последние имеют большую вероятность возникновения при меньших и парированных последствиях. При этом уровень постановки и решения задач диагностики и мониторинга для гипотетических и запроектных аварий и катастроф остается пока крайне низким.

В соответствии с изложенным интегральные экономические риски, определяемые произведением единичных рисков на число эксплуатируемых объектов, оказываются сопоставимыми как для глобальных, так и для объектовых катастроф. Ущерб от единичных катастроф глобального и объектового масштаба отличаются на 8—10 порядков, риски — на 4—6 порядков, а интегральные ущербы — на 1—3 порядка при семи классах техногенных и природно-техногенных катастроф по рис. 1.

Из числа потенциально опасных объектов для Сибири и Севера следует выделить крупные гидротехнические сооружения — ГЭС на Енисее,

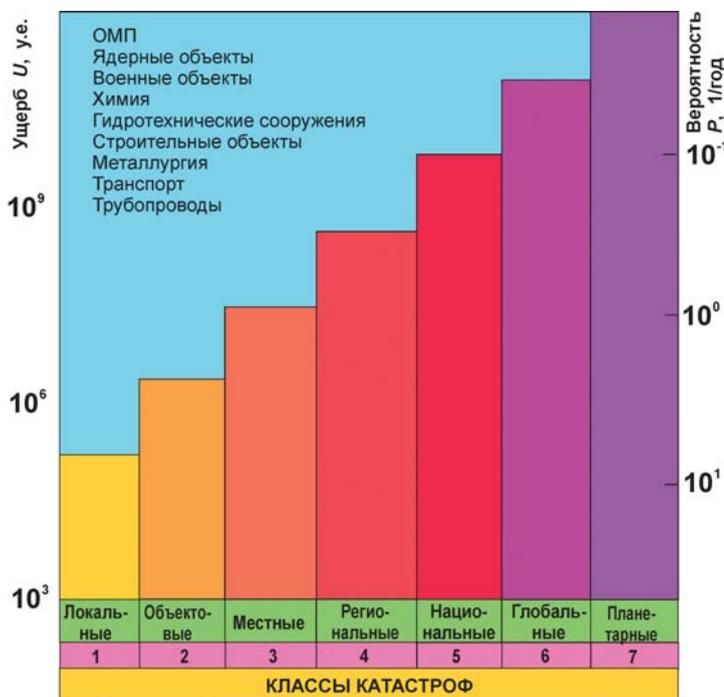


Рис. 1. Базовые параметры рисков чрезвычайных ситуаций

Ангаре, Билибинскую АЭС и объекты Красноярска-26, объекты железнодорожного транспорта — БАМ, Северо-Муйский тоннель, магистральные трубопроводы и в первую очередь ВСТО, объекты нефтегазохимии на Сахалине и в Якутии, горнодобывающие комплексы, военные объекты и строящийся космодром «Восточный», уникальные мосты через крупнейшие реки Сибири [1—6; 8—15]. При этом весь спектр потенциально опасных объектов техносферы может быть разделен на объекты технического регулирования (ОТР), опасные производственные объекты (ОПО), критически важные объекты (КВО) и стратегически важные объекты (СВО).

В связи с изложенным при постановке перед РАН, МЧС России и Ростехнадзором задачи по мониторингу рисков возникновения чрезвычайных ситуаций следует иметь в виду, что при ее решении прежде всего представляется необходимым анализ изменения во времени рисков, привязанных к возникающим ущербам, по параметру определенных классов (см. рис. 1) или категорий (рис. 2) аварийных и катастрофических ситуаций, которые возможны на объектах, подведомственных Ростехнадзору.

Следующим этапом в рассмотрении подходов к анализу рисков возникновения чрезвычайных ситуаций является этап применения федерального законодательства и ведомственных нормативов по безопасности эксплуатации оборудования техносферы и управлению ее обеспечением (рис. 3).

Современное обоснование обеспеченности условий безопасной эксплуатации объектов техносферы базируется на требованиях федеральных законов

(ФЗ) о промышленной безопасности (ПБ) опасных производственных объектов, о техническом регулировании (ТР) объектов технического регулирования, критически и стратегически важных объектов инфраструктуры, о чрезвычайных ситуациях (ЧС). В наиболее законченной форме эти требования сформулированы в федеральном законе о техническом регулировании, и их реализация будет осуществляться через соответствующие технические регламенты, национальные стандарты (НСТ), своды правил (СП), федеральные нормы и правила (ФНиП).

В соответствии с федеральным законодательством, федеральной и отраслевой нормативной документацией, федеральными, региональными и отраслевыми программами обеспечения безопасности и защищенности объектов техносферы на одно из первых мест выдвигаются задачи категорирования потенциально опасных объектов.

Как указано выше, по уровню потенциальной опасности, по требованиям законодательства и с учетом риска возникновения аварий и катастроф объекты техносферы могут быть разделены (см. рис. 2 и 3) на четыре основные категории, для которых предусмотрены соответствующие требования к безопасности:

- объекты технического регулирования, безопасность эксплуатации которых обеспечивается по закону о техническом регулировании, — их число измеряется миллионами и десятками миллионов;
- опасные производственные объекты, безопасность эксплуатации которых обеспечивается по закону о промышленной безопасности, — их число измеряется сотнями тысяч;

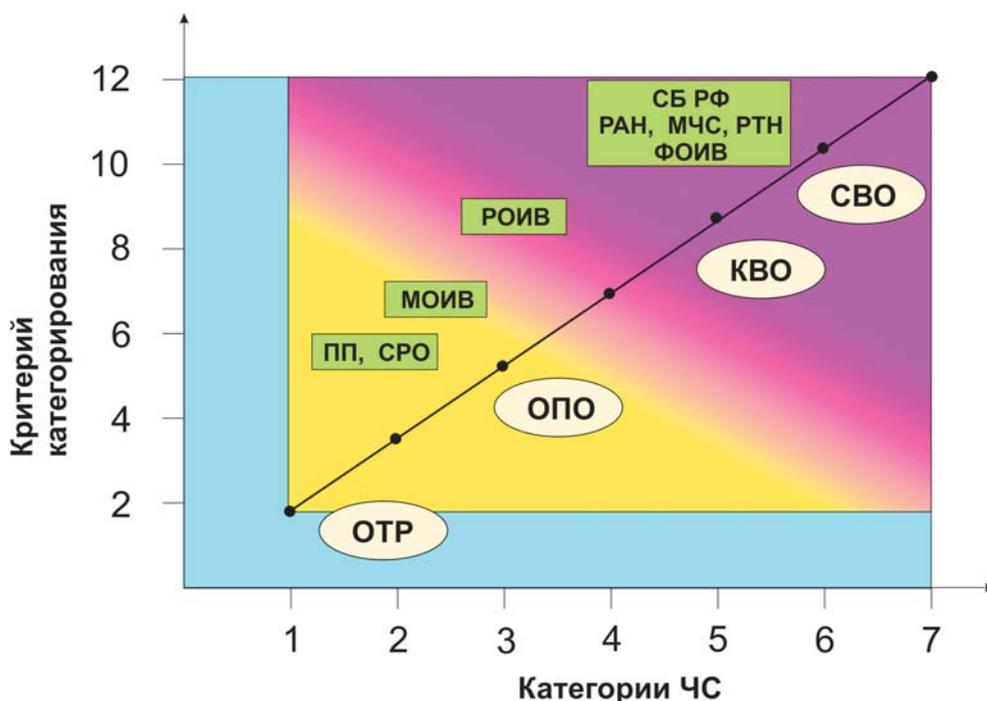


Рис. 2. Категорирование объектов по величинам рисков (СБ РФ – Совет безопасности Российской Федерации, РТН – Ростехнадзор, ФОИВ – федеральные органы исполнительной власти, РОИВ – региональные органы исполнительной власти, МОИВ – местные органы исполнительной власти, ПП – промышленные предприятия, СРО – саморегулируемые организации)

- критически важные объекты, безопасность эксплуатации которых обеспечивается по решению Совета безопасности Российской Федерации, — их число измеряется тысячами;

- стратегически важные объекты, безопасность функционирования которых влияет на состояние национальной безопасности страны, — их число измеряется сотнями.

Основными задачами в сфере обеспечения безопасности объектов техносферы и в первую очередь объектов с предельно высокими показателями рисков являются:

- формирование на основе исследований по социальным, естественным и техническим наукам фундаментальной базы анализа рисков  $R(t)$  в трех основных сферах жизнедеятельности — социальной  $N$ , природной  $S$  и техногенной  $T$ , составляющих единую сложную социально-природно-техногенную систему «человек — природа — инфраструктура», функционирующую во времени  $t$ :

$$R(t) = F_R \{R_N(t), R_S(t), R_T(t)\}; \quad (1)$$

- построение обобщенной модели указанной сложной системы с определением роли ее основных компонентов  $N, S, T$  в величинах базовых параметров рисков  $R(t)$  — вероятностей возникновения  $P(t)$  неблагоприятных процессов и событий (опасностей, вызовов, угроз, кризисов, катастроф) и сопутствующих им ущербов  $U(t)$ :

$$R(t) = F_R \{P(t), U(t)\}; \quad (2)$$

$$P(t) = F_P \{P_N(t), P_S(t), P_T(t)\}; \quad (3)$$

$$U(t) = F_U \{U_N(t), U_S(t), U_T(t)\}; \quad (4)$$

- построение сценариев неблагоприятных событий в сложной системе и количественная оценка рисков  $R(t)$  через параметры главных иницирующих и поражающих факторов — опасных энергий  $E(t)$ , веществ  $W(t)$  и потоков информации  $I(t)$ :

$$R(t) = F_R \{E(t), W(t), I(t)\}. \quad (5)$$

На основе соотношений (1)—(5) разрабатываются основы категорирования чрезвычайных ситуаций, высокорисковых объектов и опасных процессов по величинам рисков  $R(t)$ .

Для техносферы Сибири и Севера решение проблем прочности, ресурса, хладостойкости и живучести имеет большое значение для оценки  $P(t)$  — вероятностей отказов, аварий, катастроф, а также для оценки  $U(t)$  — ущербов от них. Существо нормирования, регулирования и управления техногенной безопасностью по ее основным компонентам с использованием параметров рисков сводится [2; 4—9] к требованию непревышения величин

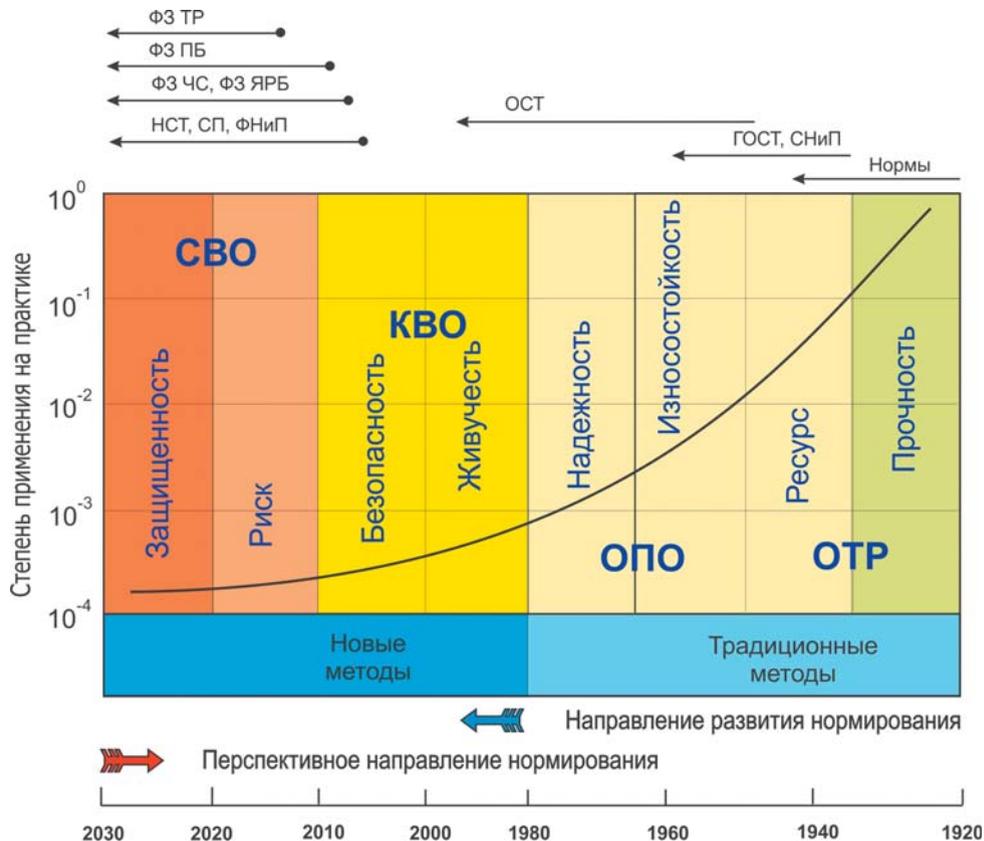


Рис. 3. Структура и развитие методов нормирования

формирующихся и реализующихся по выражениям (1)—(5) рисков  $R(t)$  над величинами приемлемых (допускаемых) рисков  $[R(t)]$  на заданном временном интервале  $t$ :

$$R(t) \leq [R(t)]. \tag{6}$$

Величина  $[R(t)]$  нормируется регулирующими органами с учетом уровня научных обоснований, отечественного и мирового опыта. Реализация требования (6) должна осуществляться исходя из того, что определяющими рисками  $R(t)$  являются две группы рисков:

- индивидуальные риски (1/год) потери жизни и здоровья человека от неблагоприятных процессов и явлений;
- экономические риски (руб./год) от неблагоприятных процессов и явлений, учитывающих уязвимость социальной  $N$ , природной  $S$  и техногенной  $T$  сфер по выражениям (1)—(4).

В экономические риски  $R(t)$  включаются и экономические ущербы от потери жизней и здоровья людей, от поражений окружающей природной среды и технических инфраструктур.

Научное обоснование величин приемлемых рисков  $[R(t)]$  для процедуры их нормирования состоит в разработке методологии определения критических

(предельных, недопустимых) рисков  $R_c(t)$  и назначения запасов  $n_R$  по этим рискам в форме

$$[R(t)] = \frac{R_c(t)}{n_R}. \tag{7}$$

Для количественной оценки величин рисков  $R_c(t)$  могут использоваться приведенные выше выражения (1)—(5), а величины запасов  $n_R$  должны быть не меньше единицы ( $n_R \geq 1$ ). Анализ условий (6)—(7) для современного состояния безопасности в Российской Федерации показывает, что они выполняются далеко не в полной мере. В связи с этим одной из важных задач должно стать исследование рисков  $R_c(t)$  и запасов  $n_R$  в условиях принципиально новых реальных кризисных процессов в научно-технологическом развитии России. При этом нормирование запасов  $n_R$  должно быть предметом совместной деятельности как органов государственного управления и надзора, так и научных организаций федерального, регионального и отраслевого уровней.

Таким образом, за основу анализа условия безопасной эксплуатации объектов техносферы должны быть приняты [2; 4—9], с одной стороны, показатели (классы, категории) возможных чрезвычайных ситуаций, с другой — показатели категорирования самих потенциально опасных объектов (см. рис. 2).



Рис. 4. Общая структура анализа и управления безопасностью по критериям рисков

Последние в соответствии с выражениями (1)—(4) могут быть представлены в виде количественных значений, определяемых из соотношения соответствующих относительных величин рисков для человеческих жизней, техносферы и окружающей среды

$$\bar{R}(t) = \sqrt{\bar{R}_N^2 + \bar{R}_T^2 + \bar{R}_S^2}. \quad (8)$$

В определении соответствующих показателей категорирования опасных объектов по величинам рисков и управлении этими показателями должны участвовать для различных типов объектов соответствующие их подведомственности административные и надзорные органы, в том числе для объектов типа ОТР ими могут быть (см. рис. 2) сами промышленные предприятия или саморегулируемые организации, для объектов типа ОПО — местные органы исполнительной власти или региональные органы исполнительной власти, для объектов КВО и СВО ими являются Совет безопасности Российской Федерации, РАН, МЧС, Ростехнадзор, федеральные органы исполнительной власти.

В настоящее время в соответствии с законодательством в категорию опасных производственных объектов зачисляются объекты по различным, не только количественным, но и качественным показателям, например, по объему взрывоопасных веществ, выраженному в тоннах, и выраженной в киловаттах мощности энергопроизводства, причем без существенной градации по величинам для I—II групп опасности (тонны и тысячи тонн для хранилищ взрывчатых веществ, миллионы киловатт и миллиард и более киловатт для энергопроизводства). Непосредственное использование таких разнородных параметров объектов для анализа их потенциальной опасности для населения и окружающей среды весьма затруднительно, а в ряде случаев

и принципиально невозможно. И только показатели рисков с входящими в них характеристиками вероятности возникновения на конкретном объекте той или иной категории чрезвычайной ситуации (аварии или катастрофы) и возможных ущербов для всех присутствующих категорий субъектов (населения, окружающей среды и инфраструктуры обеспечения жизнедеятельности) способны универсально отразить реальный уровень потенциальной опасности, а управление этими показателями — обеспечить эффективную защиту от чрезвычайных ситуаций. То есть каждый объект при использовании показателей рисков его эксплуатации может быть категорирован по единой системе и классифицирован по этому показателю с целью отнесения его к соответствующей категории опасности. Это отражено в количественных показателях на рис. 2 и в выражении (8).

Общая структура анализа и управления безопасностью потенциально опасных объектов по критериям рисков включает в себя упоминавшиеся выше [2; 5; 8; 9] классификацию типов аварийных и катастрофических ситуаций, определение класса аварий и катастроф по уровням возможных рисков и ущербов, а также характеристику типов потенциально опасных объектов (рис. 4).

Для характеристики типов аварийных и катастрофических ситуаций и степени их защищенности при переходе от нормальных условий эксплуатации к аварийным принята (рис. 4, левая часть) следующая их классификация:

- отклонения от проектных условий эксплуатации (возникают при штатном функционировании потенциально опасных объектов, последствия от них непредсказуемые, защищенность от них достаточная);
- проектные аварийные ситуации (возникают при выходе за пределы штатных режимов с предсказуемыми и приемлемыми последствиями, защищенность от них частичная);

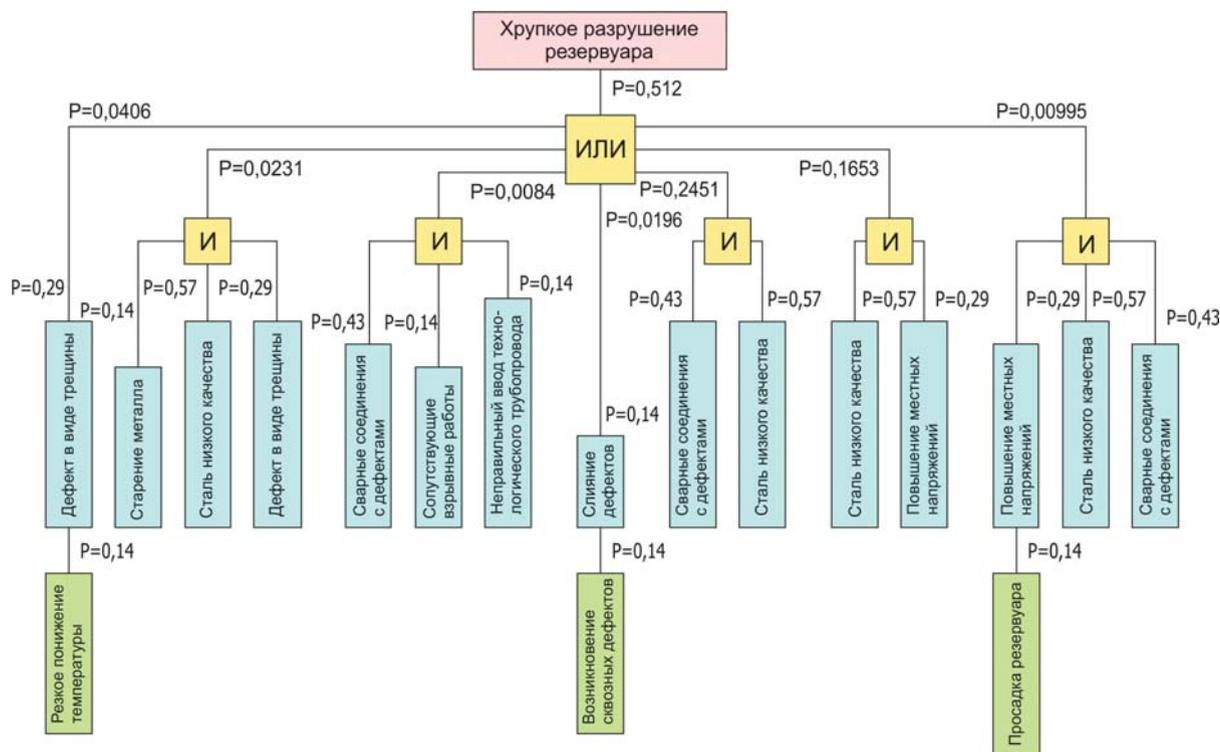


Рис. 5. Дерево отказов хрупкого разрушения резервуара при низких температурах (ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ )

- запроектные аварийные ситуации (возникают при необратимых повреждениях ответственных элементов с высокими ущербами и человеческими жертвами, степень защищенности от них недостаточная с необходимостью впоследствии проведения восстановительных работ);
- гипотетические аварийные ситуации (могут возникать при не предсказанных заранее вариантах и сценариях развития с максимально возможными ущербами и жертвами, защищенность от них низкая, и прямому восстановлению объекты не подлежат).

Классификация типов, объектов и инфраструктуры (рис. 4, правая часть) оказывается увязанной с классами аварий, катастроф и рисков для возникающих аварийных и катастрофических ситуаций и может быть выполнена по оценкам степени их тяжести и наносимым ущербам, а также параметров вероятности их возникновения и уровней возможных человеческих и материальных потерь.

Самые тяжелые планетарные катастрофы (рис. 4, центральная часть) наносят ущербы основным континентам планеты, а самые незначительные — ограниченной части объекта. К планетарным катастрофам можно отнести возможное столкновение Земли с крупными космическими объектами или мировой военной конфликт с применением ядерного, термоядерного, химического и бактериологического оружия массового поражения. К глобальным катастрофам следует отнести крупнейшие цунами, землетрясения, наводнения, аварии на ядерных объектах

гражданского и военного назначения. В этом случае ущербы наносятся ряду государств. Национальные катастрофы возникают по тем же причинам, что и глобальные, но ущербы причиняются той стране, в которой они произошли. При региональных катастрофах ущербы наносятся определенной части (региону) страны. Для местных аварий и катастроф повреждения создаются на определенной местной территории, примыкающей к потенциально опасному объекту. Для объектовых и локальных чрезвычайных ситуаций возможные ущербы ограничиваются территорией самого объекта.

Арктическая зона значительно отличается по природно-экономическим, демографическим и иным условиям от других регионов Российской Федерации. К таким отличиям относятся: экстремальные природно-климатические условия включая постоянный ледовый покров или дрейфующие льды в арктических морях; очаговый характер промышленно-хозяйственного освоения территорий и низкая плотность населения (1—2 человека на 10 км<sup>2</sup>); удаленность от основных промышленных центров, высокая ресурсоемкость и зависимость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от поставок топлива, продовольствия и товаров первой необходимости из других регионов России; уязвимость природы от техногенных чрезвычайных ситуаций и производственной деятельности человека [1]. Для элементов технических систем, эксплуатируемых в условиях Севера, определяющим внешним фактором являются низкие температуры атмосферного

воздуха, которые ухудшают основные физико-механические свойства конструкционных материалов, повышают возможность хрупкого разрушения материалов [4—6; 11; 12; 14; 16].

Площадь континентального шельфа Арктической зоны составляет около 70% континентального шельфа России — более 4 млн км<sup>2</sup>. В Арктической зоне сосредоточены основные запасы полезных ископаемых, причем общая стоимость разведанных запасов минерального сырья ее недр достигает 1,5—2 трлн долл. Здесь находится 90% извлекаемых ресурсов углеводородов всего континентального шельфа России (из них 70% на шельфе Баренцева и Карского морей), ведется добыча 91% природного газа и сконцентрировано 80% общероссийских разведанных запасов газа промышленных категорий. Прогнозируемые запасы углеводородов в глубоководной части Северного Ледовитого океана составляют 15—20 млрд т условного топлива. В связи с этим проблемы обеспечения безопасного развития территорий и инфраструктуры Арктической зоны в настоящее время являются особо актуальными [13—15].

Для анализа риска возникновения чрезвычайных ситуаций в ряде случаев используют метод построения дерева событий или дерева отказов, который позволяет проследить за последствиями каждого возможного исходного события и вычислить максимальную вероятность главного события от каждого из таких исходных событий [5; 6; 17]. По результатам анализа аварий резервуаров и трубопроводов, произошедших при низких температурах, выявлены основные причины, влияющие на частоту аварий (табл. 1—6), и построено дерево отказов хрупкого разрушения резервуара (рис. 5) [1; 17].

Анализ разрушений резервуаров при низких температурах (ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ ) эксплуатации показывает, что их предельное состояние определяется как хрупкое

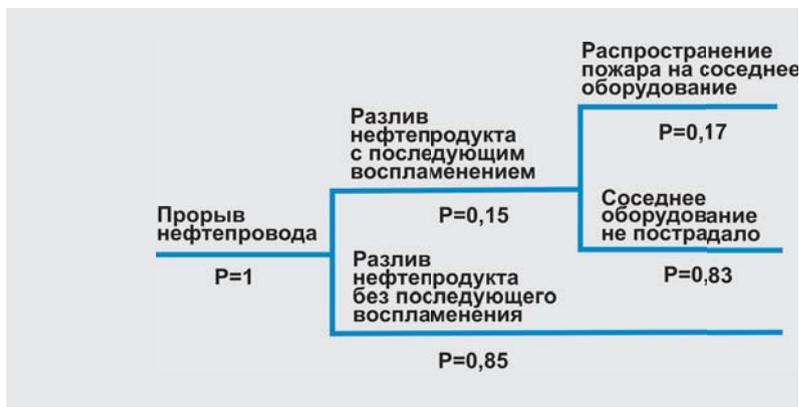


Рис. 6. Дерево событий при порыве нефтепровода при низких температурах эксплуатации



Рис. 7. Дерево событий при утечке газа на газопроводе при низких температурах эксплуатации

разрушение, имеющее внезапный характер и происходящее при низкой температуре. Аварии сопровождаются выбросом значительного количества нефтепродуктов и представляют серьезную экологическую опасность.

Наиболее частой причиной аварий являются: для резервуаров с нефтепродуктами — нарушение правил технической и пожарной безопасности, использование сталей низкого качества, сварные соединения, имеющие технологические дефекты, повышение местного напряжения; для резервуаров высокого давления — нарушение технологического процесса, скрытые дефекты; для нефтепроводов — износ нефтепровода, нарушение технологического процесса, утечка через свищ, коррозионное отверстие, трещину, разгерметизация по сварному стыку, повреждение нефтепровода; для газопроводов — износ газопровода, дефекты, усталость металла, влияние низких климатических температур.

В результате анализа и систематизации данных по авариям резервуаров и трубопроводов при низких температурах эксплуатации построены деревья событий (рис. 6—9).

Идентификация опасности является ответственным этапом анализа риска, так как не выявленные на этом этапе опасности в дальнейшем не рассматриваются и исчезают из поля зрения. При предварительной

Таблица 1. Основные причины аварий на нефтепроводах при низких температурах

Причины, влияющие на частоту аварий на нефтепроводах	Вероятность реализации данного события
Разрыв элементов трубопровода (задвиги)	0,08
Утечка через свищ, коррозионное отверстие, трещину, разгерметизация по сварному стыку	0,16
Диверсия	0,30
Нарушения технологического процесса	0,14
Износ трубопровода	0,14
Человеческий фактор	0,05
Повреждение нефтепровода	0,11

Таблица 2. Основные причины утечки газа на газопроводах при низких температурах эксплуатации

Причины, влияющие на частоту взрыва резервуара с нефтепродуктом	Вероятность реализации данного события
Резервуар с нефтепродуктом попал в очаг пожара	0,18
Воздействие статического электричества на резервуар с нефтепродуктом	0,09
Нарушение правил технической и пожарной безопасности	0,45
Диверсия	0,09
Воздействие резкого колебания температуры атмосферного воздуха	0,09
Причины взрыва пустого резервуара с остатками паров нефтепродукта: нарушение правил технической и пожарной безопасности	1,0
Причины взрыва резервуара высокого давления: нарушение технологического процесса	0,5
скрытые дефекты	0,5

Таблица 3. Основные причины аварий на газопроводах, связанных со взрывом газопровода при низких температурах

Причины	Вероятность
Трещина в газопроводе	0,09
Коррозия	0,27
Износ трубы	0,18
Деформация трубы при усталости металла	0,09
Деформация трубы от перепада температур окружающей среды	0,09
Отказ задвиги, разрушение шарового крана, разгерметизация стыка между ИФС и фланцем подводящего газопровода	0,14
Повреждение трубы	0,14

оценке опасностей могут быть выбраны следующие направления дальнейшей деятельности: прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей, провести более детальный анализ риска, выработать рекомендации по уменьшению опасностей.

После идентификации опасности переходят к этапу оценки риска, на котором идентифицированные опасности должны быть оценены на основе критериев приемлемого риска с целью выделения опасности с неприемлемым уровнем риска.

С учетом изложенного можно заключить, что обычные повседневные условия жизнедеятельности применительно к эксплуатации объектов техносферы в условиях Сибири и Севера предполагают, что они находятся либо в штатных условиях работы, либо в условиях небольших отклонений от проектных решений (см. рис. 4). Проектные чрезвычайные ситуации характеризуются, как правило, как объектовые и распространяются на опасные производственные объекты с умеренными уровнями рисков. Для проектных аварий можно в достаточной степени предусмотреть меры компенсации их последствий. При переходе к более тяжелым авариям регионального или местного уровня следует рассматривать категорию возможных запроектных аварий и катастроф. При их анализе исходят из того, что при проектировании объектов техносферы в принципе такие условия должны предусматриваться, но защищенность от них в силу малой вероятности их проявления рассматривается на заниженном уровне, поскольку отсутствует прогноз конкретного сценария развития такой ситуации в силу влияния на него многофакторности воздействий. Такая ситуация применима как при эксплуатации опасных производственных объектов, так и тем более критически и стратегически важных объектов. Однако при надлежащем отношении к защищенности

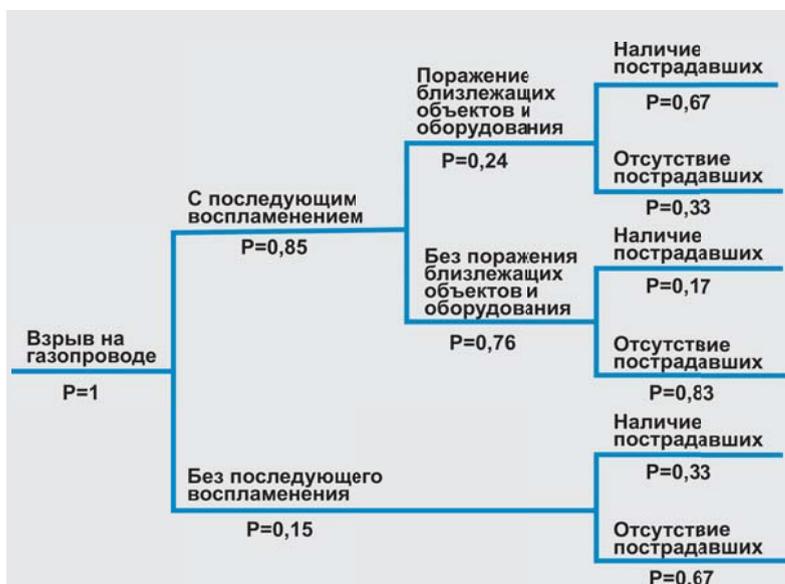


Рис. 8. Дерево событий при взрыве газопровода при низких температурах эксплуатации



Рис. 9. Дерево событий при взрыве резервуара с нефтепродуктом при низких температурах эксплуатации

опасных производственных объектов от аварий и катастроф проработка такого рода ситуаций должна выполняться в полном объеме и стать составной частью декларирования безопасности как их владельцами, так и административными органами. Гипотетические аварии типа падения космических объектов, например, на атомную электростанцию, не могут быть предотвращены, но последствия от них должны быть проанализированы, а максимально возможный уровень защищенности от них обоснован и реализован [2; 5].

**Таблица 4. Основные причины аварий, связанных со взрывом резервуара при низких температурах**

Причины, влияющие на частоту взрыва газопровода	Вероятность реализации данного события
Разрыв трубы (износ, дефекты, усталость металла, из-за сильных морозов)	0,82
Повреждение газопровода	0,12
Диверсия	0,06

**Таблица 5. Основные причины пожара резервуаров при низких температурах**

Причины, влияющие на частоту пожара резервуаров с нефтепродуктами	Вероятность реализации данного события
Нарушение технологического процесса при электроподогреве сырой нефти	0,4
Попадание в очаг пожара	0,2
Ошибка персонала	0,4
Воздействие пожара резервуара на соседние объекты оборудования: поражение соседних объектов без поражения соседних объектов	0,1 0,9

**Таблица 6. Основные причины хрупкого разрушения резервуаров при низких температурах (ниже -50°C)**

Причины	Вероятность
Сталь низкого качества	0,57
Сварные соединения, имеющие технологические дефекты	0,43
Повышение местных напряжений	0,29
Просадка резервуара	0,14
Возникновение сквозных дефектов — свищей и их слияние	0,14
Взрывные работы в карьере	0,14
Неправильный ввод технологического трубопровода	0,14
Старение металла резервуара	0,14
Наличие дефекта в виде трещины	0,29
Резкое понижение температуры воздуха	0,14

Таким образом, единого подхода к анализу всех категорий объектов, опасностей и систем защиты от чрезвычайных ситуаций пока не существует. Однако следует иметь в виду, что использование в этом направлении критериев риска по выражениям (1)—(8) позволяет рассматривать их в качестве универсальных параметров определения уровня опасности эксплуатации объектов техносферы Сибири и Севера и управлять разработкой и реализацией мероприятий по снижению этих уровней и смягчению последствий при их проявлении.

### Литература

1. Труды VI Евразийского симпозиума по прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 24—29 июня 2013: В 2 т. / Отв. ред. М. П. Лебедев. — Якутск: Ахсаан, 2013. — 256 + 332 с.
2. Безопасность России: Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. — Т. 1—40 / Под науч. рук. Н. А. Махутова. — М.: МГОФ «Знание», 1998—2013.
3. Механика катастроф: Определение характеристик трещиностойкости конструкционных материалов: методические рекомендации: В 2 т. — М.: Изд. ГНТП «Безопасность»; Ассоциация КОДАС, 1995; 2001. — 360 + 254 с.
4. Махутов Н. А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность: В 2 ч. — Новосибирск: Наука, 2005. — 494 + 610 с.
5. Махутов Н. А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования. — Новосибирск: Наука, 2008. — 528 с.
6. Махутов Н. А., Лыглаев А. В., Большаков А. М. Хладостойкость: Метод инженерной оценки. — Новосибирск: Наука, 2011. — 195 с.
7. Махутов Н. А., Кузык Б. Н., Абросимов Н. В. и др. Научные основы прогнозирования и прогнозные показатели социально-экономического и научно-технического развития России до 2030 года с использованием критериев стратегических рисков / Координац. совет РАН по прогнозированию. — М.: ИНЭС, 2011. — 136 с.
8. Махутов Н. А., Гаденин М. М. Техногенная безопасность // Диагностика и мониторинг состояния потенциально опасного оборудования и рисков его эксплуатации: Федеральный справочник: Информационно-аналитическое издание: Т. 26. — М.: Центр стратегич. партнерства, 2012. — С. 307—314.
9. Махутов Н. А., Гаденин М. М. Фундаментальные и прикладные основы безопасности критически важных объектов Сибири и Севера // Труды VI Евразийского симпозиума по прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 24—29 июня 2013. — Т. 1. — Якутск: Ахсаан, 2013. — С. 24—33.
10. Гаденин М. М. Многоуровневый мониторинг безопасности техносферы и окружающей среды // Материалы Второй научно-практической конференции «Безопасность регионов — основа устойчивого развития», Иркутск, 28 сентября — 1 октября 2009 г. — Т. 1. — Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2009. — С. 100—119.
11. Ларионов В. П. Сварка и проблемы хрупкого разрушения. — Новосибирск: ИФТПС СО РАН, 1998. — 596 с.
12. Ларионов В. П., Ковальчук В. А. Хладостойкость и износ деталей машин и сварных соединений. — Новосибирск: Наука, 1976. — 194 с.
13. Чуприян А. П., Веселов И. А., Сорокина И. В., Наумова Т. Е. Мероприятия, проводимые МЧС России по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктике // Арктика: Экология и экономика. — 2013. — № 1 (9). — С. 70—78.
14. Каблов Е. Н., Лебедев М. П., Старцев О. В., Голыков Н. И. Климатические испытания материалов, элементов конструкций техники и оборудования в условиях экстремально низких температур // Труды VI Евразийского симпозиума по прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 24—29 июня 2013. — Т. 1. — Якутск: Ахсаан, 2013. — С. 5—13.
15. Безопасность России: Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Безопасность топливно-энергетического комплекса». Основы безопасности при освоении континентальных шельфов / Науч. рук. Н. А. Махутов. — М.: МГОФ «Знание», 2013. — 640 с.
16. Гаденин М. М. Многопараметрический анализ условий безопасной эксплуатации и защищенности машин и конструкций по критериям прочности, ресурса и живучести // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2012. — № 6. — С. 50—56.
17. Большаков А. М. Разработка механизмов по управлению прочностью материалов и конструкций: Риски эксплуатации // Труды VI Евразийского симпозиума по прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск, 24—29 июня 2013. — Т. 1. — Якутск: Ахсаан, 2013. — С. 207—209.
18. Махутов Н. А., Лисин Ю. В., Гаденин М. М. и др. Обеспечение защищенности магистральных нефтепродуктопроводов по критериям рисков // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2012. — № 3. — С. 10—16.
19. Махутов Н. А., Гаденин М. М. Обеспечение условий безопасной эксплуатации объектов топливно-энергетического комплекса на основе концепции риска // Безопасность топливно-энергетического комплекса. — 2012. — № 1. — С. 158—161, 2013. — № 1 (3). — С. 152—156.
20. Махутов Н. А., Гаденин М. М. Фундаментальные и прикладные исследования безопасности и рисков объектов энергетики. Федеральный справочник: Информационно-аналитическое издание: Т. 25. — М.: Центр стратегич. партнерства, 2011. — С. 439—446.