

УДК 64.066

*Н. А. МАХУТОВ, член-корреспондент РАН, М. М. ГАДЕНИН, кандидат технических наук, Институт машиноведения им. А. А. Благоднава РАН, Москва, Россия, Л. А. СОСНОВСКИЙ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель*

## ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ РИСКА

Изложены основные аспекты безопасности эксплуатации объектов техносферы с использованием критериев риска. Применение этих аспектов будет способствовать успешной реализации современных подходов к проектированию и эксплуатации высокорискового оборудования, а также переходу к новому этапу научных исследований, удовлетворяющих предъявляемым к нему повышенным комплексным требованиям по прочности, ресурсу, живучести и безопасности в ближайшем будущем и на отдаленную перспективу.

**1 Постановка проблемы.** На протяжении трех последних десятилетий ведущие специалисты России и Беларуси, представляющие академические и отраслевые институты, высшие учебные заведения и передовые промышленные предприятия, ведут совместные научные исследования и разработки по важнейшим проблемам создания и функционирования техносферы в интересах жизнеобеспечения.

Все возрастающая важность проблем обеспечения безопасности и защищенности объектов техносферы и населения обусловила выполнение значительного объема научных исследований и прикладных разработок по комплексным проблемам обеспечения безопасности населения и среды жизнедеятельности, а также по подготовке и переподготовке специалистов по этим проблемам. Результаты этих исследований и разработок отражены в ряде концептуальных положений, федеральных и государственных законов России и Беларуси, а также в фундаментальных публикациях специалистов, в том числе в многотомной серии «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты» [1]. Реализация такой многоуровневой постановки проблемы способствует деятельности большой сети научно-производственных организаций и их объединений, а также высших технических учебных заведений и научно-исследовательских центров в указанном направлении.

Реализация опасностей и угроз в природно-техногенной сфере стала приводить к прямым и косвенным ущербам национальным экономикам до 3–8 % ВВП, к гибели десятков тысяч людей, нанесению увечий сотням тысяч и загрязнению огромных территорий. Эти данные показали, что все промышленно развитые страны и мировое сообщество оказались не в состоянии в полной мере противостоять усилению опасностей, угроз и вызовов безопасности населения, объектов инфраструктуры и среды жизнедеятельности. Возникла необходимость создания единых научно-методических подходов к выработке мер по обеспечению защищенности важнейших объектов инфраструктуры от комплексного воздействия поражающих факторов аварий и катастроф, а также реализации мер правового, экономиче-

ского, технического, надзорного и специального характера на всех уровнях – международном, национальном, региональном, отраслевом и объектовом.

Только своевременная постановка новых фундаментальных, поисковых и прикладных исследований, а также совершенствование системы профессиональной подготовки (переподготовки) кадров в данной области могут стать важнейшим элементом и исходной базой для обеспечения стабильного социально-экономического развития страны, повышения качества жизни населения, укрепления национальной безопасности страны.

Проблемы обеспечения защищенности населения и объектов техносферы по своему существу являются междисциплинарными, и их решение предполагает получение новых знаний по всем их составляющим на базе фундаментальных исследований, развиваемых в соответствующих областях математики, физики, химии, механики, биологии, информатики, управления, социологии, экономики, наук о Земле.

Как показали результаты научного анализа, фундаментальных и прикладных исследований по применению концепции рисков для определения текущих параметров состояния элементов высокорисковых конструкций и условий возникновения и развития при их эксплуатации чрезвычайных, аварийных и катастрофических ситуаций качественное и количественное описание сценариев и последствий достижения предельных состояний с возникновением аварий и катастроф, может быть осуществлено на базе использования фундаментальных закономерностей теории безопасности и катастроф (рисунок 1). При этом стадии инициирования и развития аварийных и катастрофических ситуаций могут характеризоваться различным сочетанием механических, физических, химических, биологических поражающих и повреждающих факторов с широким спектром их последствий в сложной социально-природно-техногенной системе.

Опасные физические, химические, биологические и механические процессы, имеющие место даже при штатных условиях функционирования промышленных объектов, определяют кратко-, средне- и долгосрочные последствия для жизнедеятельности и жизнеобеспече-

ния. Результаты научного анализа условий перехода от штатных к аварийным и катастрофическим ситуациям показывают, что последние в значительной степени определяются как самими рабочими процессами в технических системах, так и внешними по отношению к ним воздействиями, что сопровождается резким возрастанием рисков. Такие воздействия характеризуются также комплексом специфических факторов, описываемых биологическими, географическими, экономическими, социологическими аспектами анализа аварийных и катастрофических явлений на основе математического представления соответствующих сценариев их возникновения, развития и парирования.



Рисунок 1 – Основы теории катастроф и анализа их сценариев

Сказанное в полной мере обуславливает необходимость привлечения в алгоритмы построения сценариев опасных процессов и условий достижения предельных состояний на базе результатов новых фундаментальных исследований и прикладных разработок:

- математической теории катастроф и вероятностной теории рисков;
- физики, химии и механики аварийных ситуаций и катастроф;
- теории предельных состояний, прочности и ресурса с учетом аварийных и катастрофических ситуаций;
- теории жесткой, функциональной и комбинированной аварийной защиты объектов, операторов и персонала;
- теории встроенного и дистанционного мониторинга и прогнозирования сценариев и последствий техногенных катастроф;
- научных методов, технологий и техники ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

**2 Основные направления разработок.** Для Российской Федерации и Беларуси в ближайшей и отдаленной перспективе вопросы обеспечения безопасности техносферы будут приобретать все большее значение в таких областях техники и промышленности, как атомная и тепловая энергетика, транспорт (железнодорожный и автомобильный), сельскохозяйственное машиностроение, нефтегазохимия, оборонный комплекс.

В качестве одного из базовых результатов названных выше исследований и разработок в рассматриваемом направлении должна явиться подготовка и переподготовка научных кадров высшего уровня по рассматриваемой проблеме, которая может осуществляться в Институтах РАН и НАН Беларуси по фундаментальным проблемам обеспечения безопасности и защищенности населения и среды жизнеобеспечения, а также в высших учебных заведениях и ведущих НИИ отраслей по поисковым и прикладным исследованиям. Подготовка и переподготовка руководителей высшего звена в этих случаях должна осуществляться в Российской академии государственной службы, в специализированных академиях и образовательных центрах ведомств и регионов России и Беларуси. Подготовка специалистов среднего звена (инженеров, конструкторов, технологов, экономистов, экологов, юристов, исследователей) может осуществляться в высших учебных заведениях (университетах, аспирантурах), академических институтах, специализированных учебно-образовательных центрах, методических и учебно-образовательных центрах ведомств и регионов. В их число входят ИМАШ РАН, ИВТАН, ИПМех РАН, МГТУ, МГУ, МЭИ.

Основная задача традиционных подходов в проектировании, изготовлении, строительстве, эксплуатации объектов техносферы на протяжении длительного времени сводилась к обеспечению их работоспособности в штатных (нормальных) условиях эксплуатации. Такие подходы нашли свое отражение в национальных и международных нормах и правилах их проектирования и эксплуатации. Пока общий объем высоконагруженных объектов и уровень их эксплуатационных параметров находились на невысоких уровнях, удавалось свести к минимуму возникновение аварийных и катастрофических ситуаций и минимизировать ущербы от них. Этому способствовали традиционно принимавшиеся тогда повышенные запасы по пределу прочности на уровне 2,8–4,0, а по пределу текучести – до 2,0–2,5. При этом условия эксплуатации (по температурам, агрессивности рабочих сред, цикличности), как правило, в детальной постановке их учета не рассматривались.

Во второй половине XX века ситуация с эксплуатацией потенциально опасных высокорисковых объектов техносферы существенно изменилась. Произошло значительное увеличение общего уровня их нагруженности, были снижены нормативные запасы статической прочности (по пределу прочности до 2,0–2,5, по пределу текучести до 1,1–1,8), расширилось применение высокопрочных сталей, диапазон рабочих температур расширился и составил от криогенных (–267...–196 °С) до высоких (+300...+1500 °С). Условия внешних воздействий на элементы агрегатов и конструкций значительно изменились – большое их число стало эксплуатироваться в районах Сибири и Севера (с выраженными низкими климатическими температурами), в зонах повышенной и высокой сейсмической активностью (до 6–9 баллов и выше), при наличии сред с высокой коррозионной и радиационной агрессивностью.

Используемые ранее традиционные нормы и правила проектирования, строительства и эксплуатации не отражали в полной мере опасностей возникновения и развития аварийных и катастрофических ситуаций.

Только в последние десятилетия в полной мере была осознана необходимость перехода к новым методам оценки ресурса, живучести, риска и безопасности. Это обстоятельство обусловило переход к постановке и решению новых фундаментальных задач механики катастроф, включающих в себя задачи анализа напряженно-деформированных и предельных состояний элементов конструкций в заведомо нелинейной постановке, задачи физического и математического моделирования сценариев их эксплуатации и оценки рисков возникновения и развития в них аварий и катастроф. В этот анализ вводится весь комплекс предельных состояний объектов техносферы:

- достижение недопустимых уровней упругих и пластических деформаций и перемещений;
- потеря общей и локальной устойчивости;
- образование трещин в зонах экстремальной локальной напряженности;
- развитие рассредоточенных и магистральных трещин до критических размеров;
- износ в зонах контактных сопряжений;
- возникновение локальных и глобальных разрушений несущих компонентов объектов техносферы.

Указанные предельные состояния для сложных технических систем подлежат комбинированному анализу с учетом всего спектра технологических и эксплуатационных воздействий – статических, динамических, длительных, циклических. При этом решаются связанные задачи термомеханики, трибофатики, физико-химической повреждаемости в детерминированной и вероятностной постановке. Основные результаты исследований по этим направлениям, выполненных в ИМАШ РАН и БелГТУ, получили свое отражение в энциклопедических и монографических публикациях [1–7].

Исключительно важное значение в этой связи имеет достигнутый уровень проектного обоснования рисков и безопасности потенциально опасных объектов, в том числе по критериям прочности и ресурса. Из данных о вероятностях  $P$  и рисках  $R$  техногенных аварий и катастроф на объектах с исключительно высокой потенциальной опасностью следует, что различие в уровнях требуемых и приемлемых рисков, с одной стороны, и уровнем реализовавшихся рисков, с другой, достигает двух и более порядков.

Разработка наиболее полного и научно обоснованного метода оценки рисков аварий и катастроф осуществляется в рамках анализа рисков всех основных классов катастроф, всех видов потенциально опасных объектов и всех сценариев их возникновения и развития. Накопленный опыт по созданию и развитию указанных выше методов анализа рисков в настоящее время требует углубленного исследования и количественного описания, что должно основываться на детальном изучении внешних воздействий на объекты и реакций объектов и их наиболее ответственных элементов на эти воздействия на базе определяющих уравнений математической теории катастроф и вероятностной теории рисков; базовых закономерностей физики, химии и механики аварийных ситуаций и катастроф, положений теории предельных состояний, прочности и ресурса с учетом аварийных и катастрофических ситуаций, теории жесткой, функциональной и комбинированной аварийной защи-

ты объектов, операторов и персонала, теории мониторинга и прогнозирования (с применением космических, воздушных и наземных систем) сценариев и последствий техногенных катастроф, научных методов, технологий и техники ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Современное развитие фундаментальной теории безопасности обосновывает необходимость изменения действующих традиционных подходов к обеспечению требуемых условий эксплуатации потенциально опасных объектов на новые перспективные, в основу которых должны быть положены исходные параметры рисков и безопасности, обосновываемые по критериям живучести, надежности, ресурса и безопасности.

Результаты фундаментальных и прикладных научных исследований по проблемам прочности, ресурса, живучести, рисков и безопасности относятся к таким важным научным дисциплинам, как машиноведение, механика деформирования и разрушения, физика прочности, конструкционное материаловедение, теория надежности, безопасности и рисков. При этом фундаментальными, основополагающими для количественного анализа проблем анализа прочности, ресурса, безопасности и рисков, являются [1, 3, 4–6, 8, 9]:

- уравнения состояния (диаграммы деформирования) при широкой вариации условий нагружения (статического, циклического, динамического, длительного);
- решение краевых задач в упругой и неупругой постановке для определения напряженно-деформированных состояний: в зонах конструктивной концентрации напряжений (определяемых теоретическими коэффициентами концентрации напряжений) и в зонах трещин (определяемых коэффициентами интенсивности напряжений);
- деформационные критерии образования предельных состояний: возникновения трещин в зонах концентрации напряжений и развитие возникших или исходных трещин; эти критерии используются для широкого диапазона условий нагружения (по нагрузкам, температурам, временам); видов разрушения (вязкого, квазихрупкого, хрупкого);
- детерминированные и вероятностные представления: о сопротивлении деформированию и разрушению (обусловленные статистическим рассеянием основных механических свойств) и об условиях эксплуатационной нагруженности (обусловленных вариацией номинальных и местных деформаций);
- рассчитанные или назначенные запасы по прочности, деформативности, устойчивости, ресурсу, живучести в детерминированной или вероятностной постановке;
- расчетные или постулированные типы опасных состояний в наиболее нагруженных зонах несущих элементов (повреждения, отказы, аварии, катастрофы) и вероятности их наступления в процессе жизненного цикла анализируемых объектов техносферы (объектов технического регулирования ОТР, опасных производственных объектов – ОПО, критически – КВО, и стратегически – СВО, важных объектов);
- ущербы от реализации указанных выше опасных состояний и затраты на их предупреждение или ликвидацию последствий, зависящие от вида объектов техносферы, источников и сценариев развития опасных состояний;
- риски возникновения опасных состояний, опреде-

ляемые как соответствующий функционал произведения вероятностей их возникновения на соответствующие ущербы и увязанные с указанными выше запасами в статистической или детерминированной постановке.

«Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» официально сформулировала систему стратегических приоритетов, целей и мер в области внутренней и внешней политики, определяющих состояние национальной безопасности и уровень устойчивого развития государства на долгосрочную перспективу. В «Стратегии» поставлена задача снижения стратегических рисков национальной безопасности в ряде важных сфер жизнедеятельности государства, общества и человека – в национальной обороне, государственной и общественной безопасности, в повышении качества жизни, в экономическом росте, в науке, в технологиях и образовании, в здравоохранении, культуре, экологии.

С учетом изложенного, основными задачами анализа рисков в сфере обеспечения безопасности и защищенности объектов жизнедеятельности являются [1, 3, 5–7]:

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

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

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

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

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

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

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

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

При этом величина  $E(\tau)$  определяется неконтролируемым высвобождением энергии при авариях и катастрофах и кинетической энергией разрушающегося оборудования, величина  $W(\tau)$  – выбросом опасных веществ, величина  $I(\tau)$  – разрушением информационных систем управления и защиты объектов.

На основе соотношений (1)–(5) по величинам рисков  $R(\tau)$  могут быть сформулированы (рисунок 2) основы категорирования чрезвычайных ситуаций, а также опасных и безопасных процессов. При этом, оценивая интегральный вектор опасности, как это рассмотрено выше, по трем его составляющим, может быть построена общая модель определения уровня грозящей в данный момент времени опасности и уровня рисков ее возникновения на основе анализа соответствующих трехмерных поверхностей опасных состояний с тем, чтобы принять управляющее решение о предотвращении или парировании чрезвычайной ситуации.

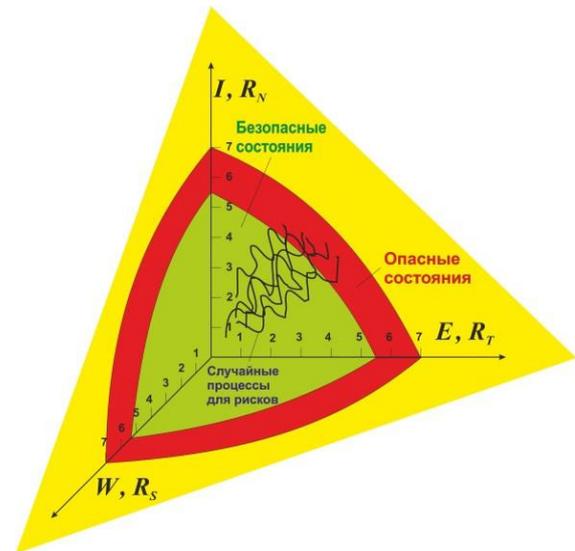


Рисунок 2 – Поверхности опасных и безопасных состояний объектов по параметрам рисков и поражающих факторов

Если принять во внимание классификацию аварийных и катастрофических ситуаций, как: класс 1 – локальные, класс 2 – объектовые, класс 3 – местные, класс 4 – региональные, класс 5 – национальные (федеральные), класс 6 – глобальные (трансграничные), класс 7 – планетарные, а также уровни воздействий названных выше параметров  $W, E, I$ , то для категорирования объектов можно построить предельные области (поверхности) их опасных и безопасных состояний (см. рисунок 2). В тех случаях, когда для конкретного вида эксплуатируемого оборудования определены риски  $R$  (для населения –  $R_N$ , для техносферы –  $R_T$  и для окружающей среды –  $R_S$ ), то поверхность предельных состояний может быть построена в величинах этих рисков.

Существо нормирования, регулирования и управления условиями безопасного функционирования объектов с использованием рисков сводится к требованию непревышения величин формирующихся и реализующихся по выражениям (1)–(5) рисков  $R(\tau)$  над величинами приемлемых (допускаемых) рисков  $[R(\tau)]$  на заданном временном интервале  $t$ :

$$R(\tau) \leq [R(\tau)]. \quad (6)$$

Из изложенного вытекает постановка новой задачи об определении и обеспечении комплексной безопасности и защищенности по критериям приемлемых и управляемых рисков. При такой постановке задачи только безопасность и защищенность с заданными уровнями рисков дает основание к принятию (или неприятию) решений о допустимости реализации новых проектов или допустимости эксплуатации действующего оборудования.

Как известно, в процессе эксплуатации объекта происходит накопление повреждений по некоторой траектории  $D(N, t, \sigma)$ , определяемой историей его нагружения (рисунок 3). При этом в механическом представлении уровень поврежденности оценивается относительным числом циклов нагружения (усталость) или относительной накопленной пластической деформацией (длительное статическое нагружение, ползучесть).

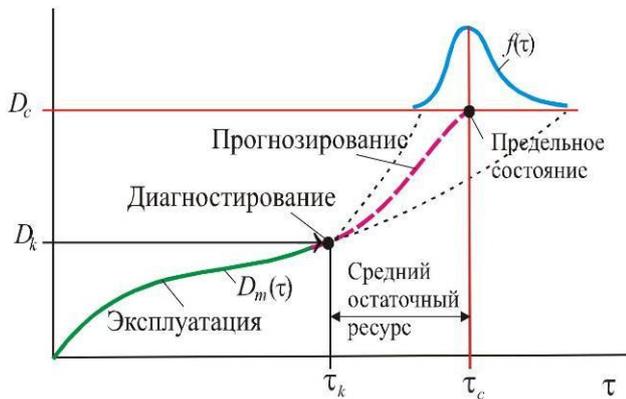


Рисунок 3 – Схема прогнозирования безопасного остаточного ресурса

Для расчета остаточного ресурса эксплуатации объекта после его работы на предыдущих стадиях жизненного цикла, сопровождаемых соответствующей диагностикой с регистрацией названных выше базовых параметров, необходимо проведение комплекса исследований условий и характера предыдущей и планируемой в будущем стадий нагружения, характеристик механических свойств материала, особенностей напряженно-деформированного состояния, технологической дефектности и эксплуатационной поврежденности. Результаты оценки остаточного ресурса по представленной на рисунке 3 схеме представляют собой статистическую функцию  $f(\tau)$  и не являются окончательным решением задачи. Необходимо также определить интервал времени  $\Delta t$  до проведения следующей экспертизы безопасности объекта.

При вероятностной оценке интервала  $\Delta t$  в качестве критерия безопасности должен быть принят риск  $R_f$  возможности катастрофического разрушения. Назначенный интервал  $\Delta t$  должен обеспечивать вероятность возможного разрушения не выше заданного уровня  $[R_f]$  риска аварии. Величина этого риска должна назначаться с учетом характера (класса) потенциальной опасности объекта. Если при этом использовать рекуррентные соотношения для вероятностей перехода объекта в предельное состояние  $P_f(\tau)$ , то можно получить выражение для оценки оптимального времени до следующего момента контрольного обследования объекта.

В общем случае возможны два основных сценария кинетики (изменения) рисков  $R(\tau)$  во времени  $\tau$  (рисунок 4). Первыми являются сценарии управления безопасностью в условиях устойчивого (нормального, штатного) функционирования системы с монотонным ростом рисков  $R(\tau)$  до приемлемых  $[R(\tau)]$  в момент времени  $[\tau]$  в точке  $A$  по линии  $1$ . При этом критические риски  $R_k(\tau)$  не достигаются. В этот момент требуется проведение специальных мероприятий по снижению рисков  $R(\tau)$  по линии  $1'$  до точки  $C$ , и далее по линии  $1''$ , когда риски для рассматриваемой системы сохраняют приемлемые уровни.

Вторыми сценариями могут быть такие, при которых могут возникать точки неустойчивости  $A$  и  $B$  с опасным ростом рисков по линиям  $2$  и  $3$  до критической точки  $K$  при времени  $\tau = \tau_k$ , а  $R(\tau) = R_k(\tau)$ . Точками неустойчивости (бифуркаций) в системе могут быть появления зон локальной поврежденности в объекте, воз-

никновение внешних угроз его штатной эксплуатации, несанкционированное воздействие на рассматриваемый объект и т.п.

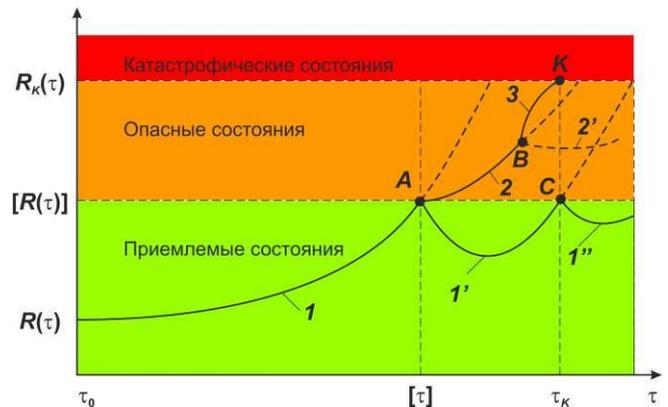


Рисунок 4 – Диаграмма изменения рисков  $R(t)$  в процессе эксплуатации объекта

В целях уменьшения вероятности возникновения нештатных ситуаций (с соответствующим повышением рисков их реализации) и снижения возможного ущерба от их проявления для потенциально опасных объектов техносферы должен быть реализован комплекс мероприятий, учитывающий следующие обстоятельства [1, 3–7]:

- характер источников опасности и особенностей их проявления;
- допустимые режимы эксплуатации применительно к каждой фазе нарастания рисков;
- возможности применения средств парирования угроз на основе результатов комплексной диагностики и мониторинга рассматриваемого объекта.

Решение указанных задач может быть обеспечено путем создания и практического применения комплекса современных методов и средств контроля параметров состояния объекта при возможно широком диапазоне их изменения (в том числе и за пределами штатных режимов), систем мониторинга и анализа данных об окружающей среде и возможных внешних воздействиях, использование банков данных и баз знаний по сценариям развития нештатных ситуаций, критериям их оценки и алгоритмам превентивных действий систем парирования чрезвычайных ситуаций по программируемым командам системы мониторинга рисков.

Знание параметров вероятностей возникновения чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах  $P(\tau)$  и ожидаемых при этом ущербов  $U(\tau)$  позволяет определить для них значения соответствующих рисков  $R(\tau)$ , а также построить (рисунок 5) кривые их критических, неприемлемых (с параметрами  $P_c(\tau)$ ,  $U_c(\tau)$ ) и допустимых, приемлемых (с параметрами  $[P(\tau)]$ ,  $[U(\tau)]$ ) значений. При этом области таких значений и соответствующие им классы опасных ситуаций, аварий и катастроф (от 1-го до 7-го) могут быть сопоставлены названным выше категориям соответствующих потенциально опасных объектов (ОТР, ОПО, КВО, СВО).

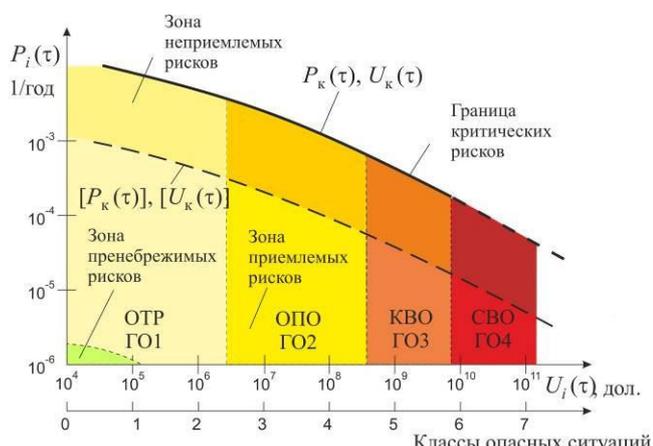


Рисунок 5 – Области приемлемых и неприемлемых рисков для различных классов чрезвычайных ситуаций и категорий промышленных объектов

Исходя из того, что наиболее значимыми в теории безопасности являются индивидуальные и экономические риски  $R(\tau)$ ,  $[R(\tau)]$  и  $R_c(\tau)$ , для достижения расчетными рисками  $R(\tau)$  на данном отрезке времени  $\tau$  величин приемлемых рисков  $[R(\tau)]$  и запасов по рискам  $n_R$ , необходимо осуществление комплексов мероприятий с соответствующими экономическими затратами  $Z(\tau)$ . Эти мероприятия, направленные на снижение рисков  $R(\tau)$  до уровня  $[R(\tau)]$ , должны быть эффективными и связанными с уровнями расчетных рисков  $R(\tau)$  выражением

$$Z(\tau) = \frac{R(\tau)}{m_z}, \quad (7)$$

где  $m_z$  – коэффициент эффективности экономических затрат на снижение экономических рисков ( $m_z \geq 1$ ).

Обобщенным выражением для анализа и обеспечения безопасности по критериям рисков на основе соотношений (1)–(7) является следующее:

$$R(\tau) = F_R \{P(\tau), U(\tau)\} \leq [R(\tau)] = \frac{R_c(\tau)}{n_R} = m_z^{-1} Z(\tau). \quad (8)$$

В выражении (8) для объектов техносферы отражены практически все основные, поставленные выше задачи:

- научный анализ рисков  $R(\tau)$  через их компоненты – вероятность  $P(\tau)$  и ущерб  $U(\tau)$ ;
- обоснование приемлемых рисков  $[R(\tau)]$ ;
- научно-методическое обоснование предельных рисков  $R_c(\tau)$  и запасов  $n_R$  по рискам;
- разработка методических рекомендаций по формированию и реализации мероприятий, направленных на снижение рисков  $R(\tau)$  до приемлемых  $[R(\tau)]$  и обеспечивающих оптимальные затраты  $Z(\tau)$  с заданной эффективностью  $m_z$ .

Из сказанного следует, что разработка алгоритмов анализа и обеспечения защищенности  $Z_c(\tau)$  является важнейшим направлением комплексных научных исследований в области обеспечения безопасности  $S(\tau)$  и анализа рисков  $R(\tau)$ . Принятие решений об уровне защищенности объектов должно осуществляться по критериям приемлемых рисков  $[R(\tau)]$ . Уровни формирующихся  $R(\tau)$  и приемлемых  $[R(\tau)]$  рисков, в свою очередь, определяют достижимый уровень защищенности  $Z_c(\tau)$  при строго рассчитываемых и нормируемых необходимых затратах  $Z(\tau)$ . Такой подход, основанный на выра-

жениях (7) и (8), распространяется на обеспечение безопасности и защищенности всего спектра объектов (ОТР, ОПО, КВО и СВО) на объектовом, отраслевом, региональном и федеральном уровнях. При этом резко возрастает роль профессионально высокой и ответственной экспертизы всех проектов и объектов техносферы по критериям рисков. Если для объектов категории ОТР можно опираться на саморегулируемые организации, а для ОПО – на сложившуюся практику экспертизы и декларирования промышленной безопасности, то для объектов типа КВО и, особенно, СВО обеспечение, регулирование, экспертиза и надзор за безопасностью на основе количественных оценок рисков должны проводиться только на государственном уровне.

Создание и эксплуатация объектов инфраструктуры на основе соблюдения новых требований к приемлемым уровням рисков и к защите этих объектов от тяжелых катастроф составляют суть перехода на новый уровень государственного стратегического планирования, отвечающего стратегии национальной безопасности России и Беларуси.

Общие междисциплинарные и межотраслевые научно-методические основы изложенных традиционных и новых подходов к обеспечению безопасных условий эксплуатации инженерных объектов инфраструктуры России и Беларуси получили свое отражение в целом ряде томов упоминавшейся выше серии [1] «Безопасность России» (рисунок 6), включая четырехтомный блок этой серии «Анализ риска и проблем безопасности» и многотомные издания по прочности и безопасности атомных реакторов [8], по малоцикловой усталости [9] и трибофатике [4, 6].

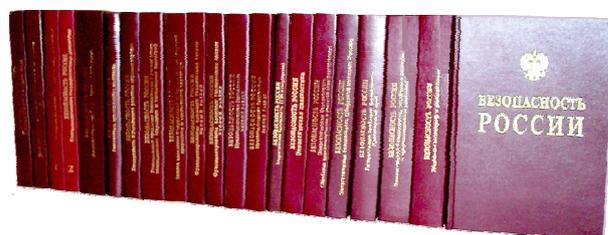


Рисунок 6 – Многотомное издание «Безопасность России»

Подготовка специалистов для развития всех отраслей машиностроения и обеспечения безопасных условий эксплуатации их продукции, а также разработка соответствующих учебных и методических пособий с учетом изложенных выше новых подходов к обеспечению безопасной эксплуатации объектов техносферы и населения с использованием критериев риска [1–7] будет способствовать успешной реализации современных подходов к проектированию и эксплуатации высокорискового оборудования, а также переходу к новому этапу научных исследований, удовлетворяющих предъявляемым к нему повышенным комплексным требованиям по прочности, ресурсу, живучести и безопасности в ближайшем будущем и на отдаленную перспективу.

#### Список литературы

- 1 Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Основы безопасности при освое-

нии континентальных шельфов / науч. рук. Н. А. Махутов. – М. : МГОФ «Знание», 1998–2015. – Т. 1–50.

2 **Фортов, В. Е.** Машиностроение России. Состояние и развитие / В. Е. Фортов, Н. А. Махутов. – М. : ОЭММПУ РАН. 2010. – 72 с.

3 **Махутов, Н. А.** Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования / Н. А. Махутов. – Новосибирск : Наука, 2008. – 528 с.

4 **Сосновский, Л. А.** Основы трибофатики : в 2 т. / Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2003. – Т. 1. – 246 с.; Т. 2. – 234 с.

5 **Махутов, Н. А.** Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности : учеб. пособие / Н. А. Махутов, М. М. Гаденин. – М. : Издательский дом «Спектр», 2011. – 187 с.

6 Надежность. Риск. Качество : [моногр.] / Л. А. Сосновский [и др.] ; науч. ред. Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 358 с.

7 **Махутов, Н. А.** Научное обоснование промышленной безопасности на основе концепции риска: федеральный справочник / Н. А. Махутов, М. М. Гаденин. – М. : НП «Центр стратегического партнерства, 2014. – Т. 1. – С. 323–332.

8 Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов : серия из 9 книг / под ред. Н. А. Махутова, М. М. Гаденина. – М. : Наука, 1987–2009.

9 Исследования прочности при малоцикловом нагружении : серия из 8 книг / под ред. С. В. Серенсена, Н. А. Махутова, М. М. Гаденина. – М. : Наука, 1975–2006.

Получено 14.05.2016

**N. A. Makhutov, M. M. Gadenin, L. A. Sosnovskiy.** Justification of safety of technosphere objects using risk criteria.

The basic aspects of operational safety of technosphere objects using risk criteria. Use of these aspects will contribute to the successful implementation of modern approaches design and operation of high-risk equipment, as well as the transition to a new phase of research that meet the requirements of the complex requirements of high strength, resource, security and survivability in the near future and in the distant future.