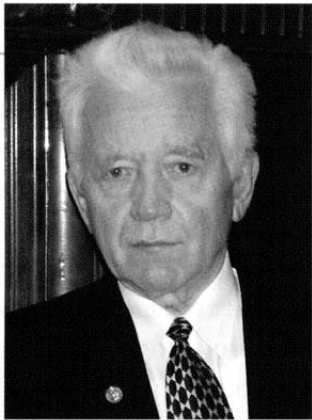


# **НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**



**МАХУТОВ  
Николай  
Андреевич**

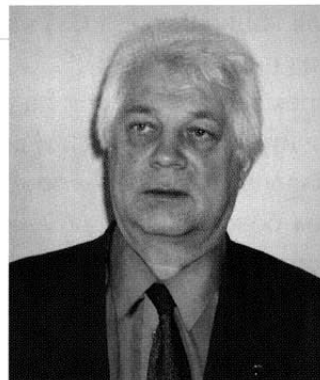
Член-корреспондент Российской академии наук, профессор, доктор технических наук. Заместитель Председателя Рабочей группы при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности. Заведующий отделом прочности, живучести и безопасности машин и конструкций Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. Специалист в области механики деформирования и разрушения, малоциклового и многоциклового усталости, проблем техногенной безопасности и рисков чрезвычайных ситуаций. Председатель Межгосударственного научного совета по чрезвычайным ситуациям стран СНГ. Автор более 400 научных трудов и изобретений, в том числе более 20 монографий.

## **Постановка проблемы**

На совместном заседании Совета безопасности Российской Федерации и Президиума Государственного совета Российской Федерации 13 ноября 2003 г. было признано, что важность проблем обеспечения защищенности критически важных для национальной безопасности объектов инфраструктуры страны возрастает. Протокол №4 этого заседания утвержден Пре-

зидентом Российской Федерации 4 декабря 2003 г.

В течение двух последних десятилетий мир столкнулся с серией крупнейших за всю историю катастроф техногенного и природно-техногенного характера (химические комплексы Севезо, Бхопал, АЭС ТМА и Чернобыль, РКК «Челленджер» и «Колумбия», транспортные системы под Арзамасом и Уфой, АПЛ «Комсомолец», «Курск», летательные аппараты «Боинг», «Антей», Ту-160, буровые платформы в Англии, морские суда в Эстонии, России, Японии). К этим катастрофам добавились террористичес-



**ГАДЕНИН  
Михаил  
Матвеевич**

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института машиноведения им. А.А.Благонравова РАН. Специалист в области механики циклического упругопластического деформирования и разрушения, экспериментальных исследований механических свойств конструкционных материалов, техногенной безопасности и рисков. Автор более 150 научных трудов, в том числе 12 монографий.

кие акты, угроза распространения ядерного оружия.

Аварии и катастрофы в природно-техногенной сфере стали приводить к прямым и косвенным ущербам для национальной экономики до 3–8% ВВП, к гибели десятков тысяч, нанесению увечий сотням тысяч людей и загрязнению огромных территорий. Мировое сообщество оказалось не в состоянии противостоять усилению угроз, направленных против 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, а также к реализации мер правового, экономического, технического, надзорного и специального характера на всех уровнях – международном, национальном, региональном, отраслевом и объектовом.

Для России, Правительством которой поставлена задача удвоения ВВП в предстоящем десятилетии, отмеченные выше прямые и косвенные ущербы на уровне 3%, а с учетом вторичных ущербов – на уровне 5–6% от ВВП оказываются сопоставимыми с планируемым приростом ВВП. Это делает проблему повышения защищенности объектов инфраструктуры, стратегически важных для национальной безопасности (КВО), одной из приоритетных.

К настоящему времени в России и за рубежом выполнен значительный объем научных исследований и прикладных разработок по комплексным проблемам безопасности объектов инфраструктуры, 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 законов, а также в фундаментальных публикациях отечественных специалистов, в том числе многотомных сериях «Безопасность России» и «Природные опасности России» [1–7]. Научные основы анализа безопасности населения и объектов с учетом риска возник-

новения аварий и катастроф природного и техногенного характера развивались в нашей стране с 1990 года в рамках государственной научно-технической программы «Безопасность» [8]. В последние годы проблемы безопасности получили свое отражение в ряде Федеральных целевых программ, научно-технических программ отраслей и регионов. 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.

Только своевременная постановка новых фундаментальных, поисковых и прикладных исследований, порученная указанным выше Протоколом №4 Российской академии наук, Министерству образования и науки, Министерству по чрезвычайным ситуациям, гражданской обороне и ликвидации последствий стихийных бедствий, а также совершенствование системы профессиональной подготовки (переподготовки) кадров в области защищенности КВО и населения, в том числе введение государственного заказа на подготовку специалистов в этой области, могут стать важнейшим элементом и исходной базой для обеспечения стабильного социально-экономического развития страны, повышения качества жизни населения, укрепления национальной безопасности и международного престижа Российской Федерации.

### **Исследования проблем безопасности объектов техносферы**

Современные объекты техносферы в целом, в том числе машиностроительные предприятия гражданского и военного назначения, включают десятки тысяч опасных производств, сотни тысяч опасных технологических установок, сотни тысяч километров магистральных и технологических трубопроводов, разветвленные системы коммуникаций. Ежегодное возникновение и развитие сотен и тысяч техногенных и природно-техногенных аварийных и

катастрофических ситуаций в техносфере приводит, как отмечалось выше, к гибели и травматизму многих тысяч человек, разрушению промышленной инфраструктуры и среды обитания.

Исследования, поддержание и повышение уровня регулирования защищенности объектов инфраструктуры и населения становятся все более важной задачей науки, органов государственного управления и надзора, специалистов научных организаций и промышленных предприятий. В соответствии с федеральным законодательством, федеральной и отраслевой нормативной документацией, федеральными, региональными и отраслевыми программами управление защищенностью КВО должно поэтапно переводиться на новую количественную основу. Первостепенное значение при этом имеют законы «О промышленной безопасности» и «О техническом регулировании», а также нормативная база ведущих ведомств страны – МЧС, Минобороны, Минпромэнерго, Министерства образования и науки, Министерства транспорта и связи, крупнейших промышленных предприятий и акционерных обществ – ВАЗ, ГАЗ, «Туполев», «Сухой» и предприятий атомного, энергетического, химического, транспортного, авиационного, космического, судового, легкого машиностроения. В соответствии с ними и Протоколом №4 должно осуществляться определение рисков  $R$  аварий и катастроф в технической, природной и социальной сферах. Используемый для этой цели обобщенный функционал  $F_R$  запишем в виде:

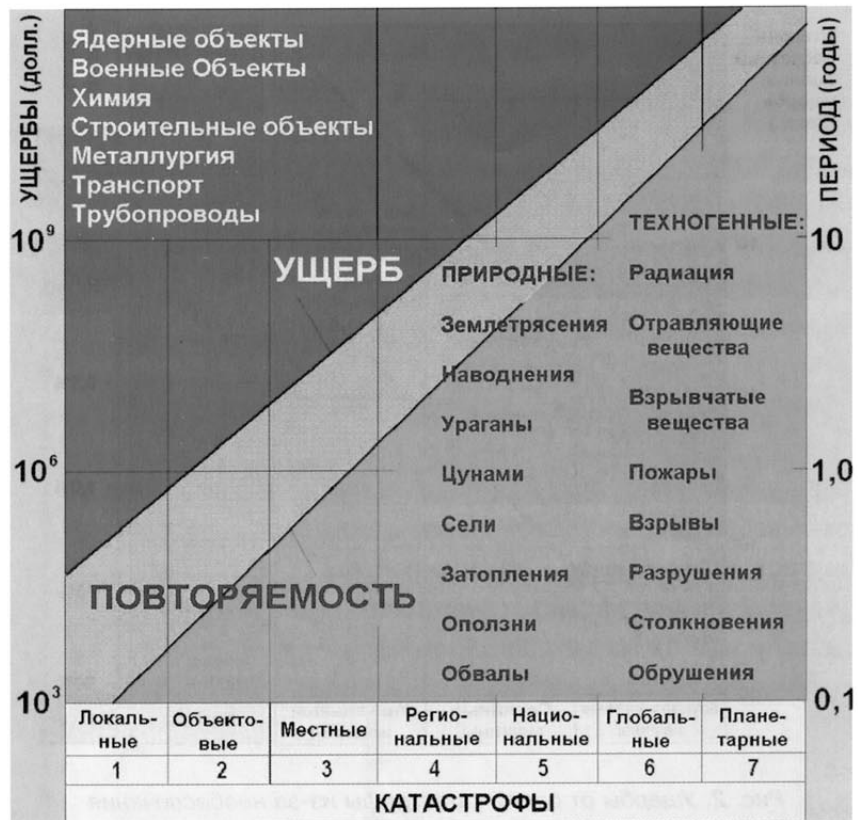


Рис. 1. Ущерб и периодичность природных и техногенных катастроф

$$R = F_R\{P, U\} = \sum (P_i, U_i) = \int C_p P \cdot U(P) dP = \int C_U P(U) \cdot U dU, \quad (1)$$

где  $P$  – вероятность возникновения аварий или катастроф;  $U$  – математическое ожидание ущерба от них;  $C$  – весовые функции;  $i$  – вид аварий или катастроф.

При обеспечении техногенной безопасности в XXI веке должно быть учтено, что в мировой техногенной гражданской и оборонной сфере насчитывается до  $10^3$  объектов ядерной техники мирного и военного назначения, более  $5 \cdot 10^4$  ядерных боеприпасов, до  $8 \cdot 10^4$  т химических вооружений массового поражения, сотни тысяч тонн взрывопожароопасных, сильнодействующих ядовитых веществ, десятки тысяч объектов с высокими запасами потенциальной и кинетической энергии, энергии газов и жидкостей.

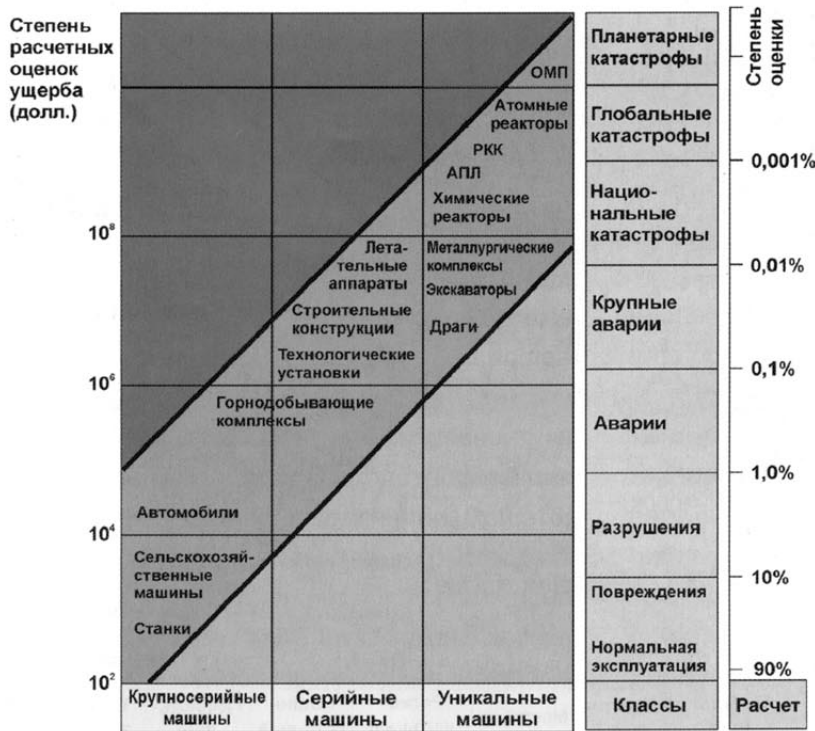


Рис. 2. Ущерб от одной катастрофы из-за необеспечения надежности и безопасности промышленных объектов

тации 450-500 (в России около 30), число однотипных ракетно-космических систем обычно составляет от 3-5 до 50-80 (рис. 2). Среднесерийные потенциально опасные объекты исчисляются сотнями и тысячами, а крупносерийные – десятками и сотнями тысяч (автомобили, сельскохозяйственные машины, станки). В соответствии с изложенным, интегральные экономические риски, определяемые производением единичных рисков на число объектов, оказываются сопоставимыми как для глобальных, так и для объектовых катастроф.

Государственные доклады МЧС, Госгортехнадзора, Минприроды России о состоянии безопасности природно-техногенной сферы позволяют дать оценку *R*, *P* и *U* по реализовавшимся опасностям, угрозам и вызовам. Обобщение [3-11] отечественной и зарубежной информации позволило дать характеристики *P* и *U* в зависимости от типов аварийных и катастрофических ситуаций (рис. 1).

Вероятности возникновения наиболее тяжелых катастроф 4-6-го классов в мирное время составляют от  $(2 \div 3) \cdot (10^{-2} \text{ до } (0,5 \div 1) \cdot 10^{-1})$  1/год, а ущербы от  $10^{11}$  до  $10^9$  долл./катастрофа. При этом их риски изменяются в пределах  $10^4$  до  $10^{10}$  долл./год. При анализе безопасности техногенной сферы следует учитывать как упомянутые выше ущербы, так серийность соответствующих потенциально опасных объектов.

Наиболее тяжелые аварийные ситуации возникают на уникальных объектах – единичных и многосерийных. Число однотипных атомных энергетических реакторов в мире составляет от 1 до 10 при их общем числе в эксплу-

Таким образом, ущербы от единичных катастроф глобального и объектового масштаба отличаются на 8-10 порядков, риски – на 4-6 порядков, а интегральные ущербы – на 1-3 порядка.

Исключительно важное значение как для нашей страны, так и для других промышленно развитых стран, имеет достигнутый уровень проектного обоснования безопасности КВО. Применительно к объектовым и локальным авариям для крупносерийных технических систем, в которых опасные повреждения возникают в нормальных условиях эксплуатации, уровень проектного обоснования безопасности и надежности составляет 10-100%. При этом большее значение имеют национальные и международные нормы проектирования, изготовления и эксплуатации, а также длительный опыт обеспечения безопасного функционирования этих систем.

Опасные и катастрофические разрушения крупно- и среднесерийных технических систем в условиях нормальной эксплуатации прогно-



зируются уже в существенно меньшей мере (от 1 до 10%). Предварительный количественный анализ крупных аварийных ситуаций удается пока проводить в 0,1-1,0% случаях.

Конкретные техногенные катастрофы регионального и национального характера получают отражение не более чем в 0,001-0,1% расчетов и прогнозов. Глобальные катастрофы, как правило, не предсказываются. Из данных о вероятностях и рисках техногенных аварий и катастроф на объектах с исключительно высокой потенциальной опасностью следует, что различие в уровнях требуемых и приемлемых (в национальных и международных рамках) рисков, с одной стороны, и уровнях реализованных рисков, с другой, достигает двух и более порядков. Вместе с тем известно, что повышение уровня защищенности КВО от аварий и катастроф на один порядок требует больших усилий в научно-технической сфере и существенных затрат, сопоставимых с 10-20% стоимости проекта.

Указанные выше вероятности и ущербы отнесены к единичной аварийной ситуации. Однако по мере перехода от уникальных и единичных объектов к крупносерийным число аварий, суммарные ущербы из-за необеспечения надежности и безопасности промышленных объектов начинают резко возрастать. Риски переходят в категорию стратегических [10] (см. рис. 1 и 2). В этой связи система государственного надзора за безопасностью на большом числе КВО должна охватывать широкий спектр сценариев катастроф, видов повреждений, условий нагружения, методов диагностики и контроля.

В отечественной и зарубежной практике (в законодательстве и нормативно-технических документах) исходная потенциальная опасность объектов техносферы определяется количеством химически, биологически и радиационно опасных веществ  $W$ , находящихся на территории объекта. При этом пороговые величины  $W$  могут измеряться от граммов до тонн. На этой базе осуществляется составление переч-

ней потенциально опасных объектов и декларирование их безопасности (в том числе и с использованием критериев риска).

Анализ большинства техногенных и природно-техногенных катастроф на КВО показывает [6, 11], что они определяются тремя основными параметрами и опасными процессами:

- неконтролируемым выбросом упомянутых выше опасных веществ  $W$ ;
- неконтролируемым выделением опасной энергии  $E$  (механической, тепловой, электромагнитной, световой);
- неконтролируемым выделением или разрушением потоков информации  $I$ .

Если принять во внимание классификацию аварийных и катастрофических ситуаций (см. рис. 1): локальные, объектовые, местные, региональные, национальные (федеральные), глобальные (трансграничные), планетарные, а также указанные выше параметры  $W, E, I$ , то для определения категории КВО можно построить предельные области их опасных состояний (рис. 3). Тогда количественным показателем потенциальной опасности (угрозы) объекта  $D$  станет радиус вектор в пространстве  $W, E, I$

$$D = \sqrt{\overline{W}^2 + \overline{E}^2 + \overline{I}^2}, \quad (2)$$

где  $\overline{W}, \overline{E}, \overline{I}$  – класс опасности объекта по каждому из типов катастроф (от 1 до 7). В общем случае численное значение этой опасности будет изменяться от 1,73 до 12,2.

В тех случаях, когда для КВО определены риски  $R_S$  (для населения  $R_N$ , для объектов техносферы  $R_T$  и для окружающей среды  $R_O$ ), то поверхность предельных состояний может быть построена в величинах  $R_S$  (рис. 3).

$$R_S = \sqrt{R_N^2 + R_T^2 + R_O^2}. \quad (3)$$

Для достижения приемлемой защищенности КВО необходимо осуществление комплекса мероприятий по снижению  $D_S$  и  $R_S$ .

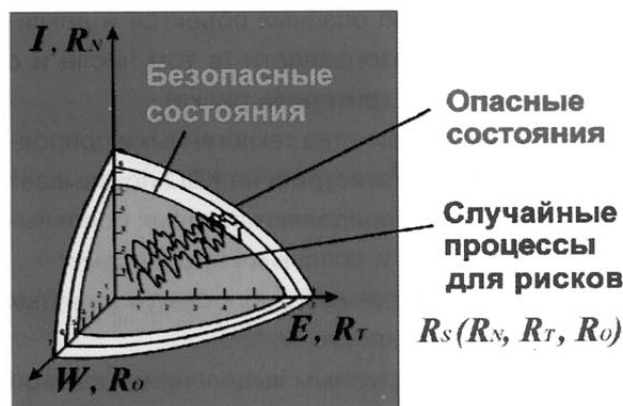


Рис. 3. Области опасных и безопасных состояний систем

Для перевода КВО в безопасные состояния с использованием системы параметров  $W, E, I$  и рисков  $R_N, R_T, R_O$  (см. рис. 3) необходимо снизить возможность неконтролируемых выходов потенциально опасных веществ, энергий и потоков информации, а также снизить риски аварий и катастроф. Этого можно достичь построением систем контроля, диагностики, мониторинга и защиты и введением в анализ безопасности сценариев возникновения и развития аварийных и катастрофических ситуаций.

Обобщив опыт развития атомной энергетики и ракетно-космической техники, для КВО гражданского и оборонного комплексов можно определить степень их защищенности при переходе от нормальных условий эксплуатации к аварийным, а также классифицировать типы аварийных ситуаций, возникающих на этих объектах (табл. 1):

- режимные аварийные ситуации при отклонении от нормальных условий эксплуатации (возникают при штатном функционировании потенциально опасных объектов, их последствия – предсказуемы, защищенность – достаточная);
- проектные аварийные ситуации (возникают при выходе за пределы штатных режимов; последствия – предсказуемы и приемлемы; защищенность – частичная);
- запроектные аварийные ситуации (возникают при необратимых повреждениях ответственных элементов; последствия – высокий

ущерб и человеческие жертвы; степень защищенности – недостаточная, необходимо в последующем проведение восстановительных работ);

- гипотетические аварийные ситуации (могут возникать при непредсказанных заранее вариантах и сценариях развития; последствия – максимально возможный ущерб и жертвы; защищенность – низкая, прямому восстановлению объекты не подлежат).

При разработках методов и систем защиты КВО от угроз природного, техногенного и террористического характера должны быть приняты во внимание указанные выше типы аварийных ситуаций и решены следующие базовые задачи:

- снижение рисков инициирующих воздействий и предупреждение ЧС;
- снижение рисков чрезвычайных ситуаций вследствие реализовавшихся угроз.

Таблица 1

**Типы аварийных ситуаций и степень защищенности КВО**

№	АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ	ЗАЩИЩЕННОСТЬ
1	Нормальные условия эксплуатации	Повышенная
2	Отклонения от нормальных условий	Достаточная
3	Проектные аварии	Частичная
4	Запроектные аварии	Недостаточная
5	Гипотетические аварии	Низкая

Для защиты КВО от инициирующих воздействий и развивающихся чрезвычайных ситуаций исследуются и разрабатываются следующие типы систем защиты (рис. 4):

- жесткая защита 1 (защита, на преодоление которой необходимо затратить большое количество энергии);
- постоянно действующая функциональная защита 2 (защита, которая в случае аварии или выхода из режима нормальной эксплуатации элементов сложной технической системы спо-

собна взять на себя выполнение отдельных функций системы в течение ограниченного времени либо предотвратить развитие аварии);

- естественная защита 3 (предусматривает использование пассивных природных явлений и процессов, направленных на прекращение аварии и снижение уровня поражающих факторов);

- комбинированная защита (объединяющая свойства жесткой, функциональной и естественной систем защиты).

При этом степень защищенности от анализируемых аварийных ситуаций всеми методами остается различной (см. табл. 1).

Применительно к проблеме технологического терроризма в дополнение к рассмотренным системам защиты добавляется специальная охранная защита 4, охватывающая высокорисковые объекты, их персонал и существующие защитные барьеры. В ее состав включаются соответствующие военизированные и специальные подразделения, оснащенные системами наблюдения и оповещения, а также средствами вооружения и военной техникой.

Снижение рисков для КВО, как правило, достигается применением комплекса всех указанных систем защиты.

В разработках РАН (рабочая группа при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности) [12] и материалах научно-практической конференции [11] изложены основные положения анализа всех основных видов риска и стратегических рисков в частности. В общую структуру стратегических рисков  $R$  можно включить четыре группы рисков: системные  $R_s$ , интегральные  $R_i$ , дифференцированные (комплексные)  $R_d$  и объектовые (элементные)  $R_e$ , при этом риски предыдущей группы являются элементами последующей:

$$R_s = \sum R_i, R_i = \sum R_d, R_d = \sum R_e. \quad (4)$$

Каждой группе рисков может отвечать свой уровень управления элементами национальной безопасности: федеральный ( $R_s$ ), региональный ( $R_i$ ), отраслевой ( $R_d$ ), объектовый ( $R_e$ ). Применительно к КВО возникновение аварий и катастроф сопряжено с реализацией рисков  $R_e$ ; это влияет в дальнейшем на всю



Рис. 4. Типы и системы защиты от аварий и катастроф

последовательность рисков ( $R_e \rightarrow R_d \rightarrow R_i \rightarrow R_s$ ). Для мониторинга и прогнозирования каждого из указанных видов риска можно использовать выражение (1).

Если проводить анализ стратегических рисков природных и техногенных катастроф (или рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера), то, в соответствии с работами [6, 11, 12], для определения вероятности реализации стратегических системных угроз с использованием функционала  $F_{PS}$  можно записать

$$P_s = F_{PS} \{P_N, P_T, P_O\}, \quad (5)$$

где  $P_N$  – вероятность появления неблагоприятного события, обусловленная человеческим фактором;  $P_T$  – вероятность, обусловленная состоянием объектов техносферы;  $P_O$  – вероятность, обусловленная воздействием окружающей среды.

Вид функционала (5) остается тем же и для вероятностей реализации интегральных  $P_i$ , дифференцированных  $P_d$  и объектовых  $P_e$  рисков.

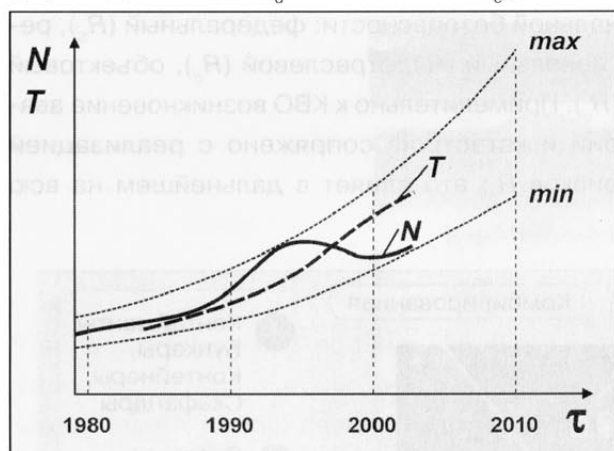


Рис. 5. Изменение во времени числа  $N$  и тяжести  $T$  катастроф

Важное значение при этом имеет то обстоятельство, что роль человеческого фактора в оценке  $P_S$  при изменении  $PN$  определяется не только операторами и персоналом (как это имеет место для  $P_d$ ), но и лицами, принимающими решения на всех уровнях государственного управления национальной безопасностью.

Вероятности  $P_T$  существенно зависят от уровня защищенности КВО от аварий и катастроф. Эта защищенность определяется степенью деградации объектов на заданной стадии эксплуатации, уровнем диагностирования и мониторинга.

Такое положение указывает на прямое взаимодействие параметров  $P_T$  и  $P_N$ .

Вероятности  $P_o$ , как известно, зависят от проявления опасных природных процессов, а также от состояния КВО и, следовательно, от  $P_T$ . Принятие необоснованных (с точки зрения стратегических рисков) решений о размещении объектов техносферы и зон проживания делает параметр  $P_o$  зависящим от  $P_N$ .

Ущерб  $U_S$  от реализации системных стратегических угроз в общем случае можно записать через функционал  $F_{US}$ :

$$U_S = F_{US}\{U_N, U_T, U_O\}, \quad (6)$$

где  $U_N$  – ущербы, наносимые населению при взаимодействии первичных и вторичных поражающих факторов при реализации стратегических системных угроз;  $U_T$  – ущербы, наносимые объектам техносферы;  $U_O$  – ущербы, наносимые окружающей среде.

Величины  $U_N$ ,  $U_T$  и  $U_O$  могут измеряться как в натуральных единицах (например, числом погибших людей, числом разрушенных зданий и площадью поврежденных территорий), так и в эквивалентах (например, в экономических, денежных показателях).

В целом в России с учетом социально-экономических преобразований базовые характеристики рисков  $R$  аварий и катастроф природно-техногенного характера, определяемые их тяжестью  $T$  (или ущербами  $U$ ) и числом  $N$  (вероятностью  $P$ ), имеют сравнительно сложный характер изменения во времени  $\tau$  с общей тенденцией к возрастанию (рис. 5).

Прогнозирование рисков  $P_e$  и  $P_d$  КВО на ближайшие годы показывает, что вероятность возникновения природно-техногенных чрезвычайных ситуаций (по принятой в России классификации) соответствует данным, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

**Распределение вероятностей по видам чрезвычайных ситуаций**

Виды чрезвычайных ситуаций	$\bar{P}_d$ , 1/год	Уровни опасности
Федеральные	$(0,8 \div 1,2) \times 10^{-3}$	5
Региональные	$(1,5 \div 2,0) \times 10^{-3}$	4
Территориальные	$(1,5 \div 2,0) \times 10^{-1}$	3
Местные	$(3,5 \div 3,8) \times 10^{-1}$	2
Объектовые	$(5,0 \div 6,0) \times 10^{-1}$	1

Государственное, региональное и объектовое управление, регулирование и обеспечение национальной безопасности России по критериям стратегических рисков сводится к качественному и количественному статистическо-



му и детерминированному анализу на данном отрезке времени  $\Delta\tau$  всех параметров уравнения (1) и осуществлению комплексных мероприятий по снижению стратегических рисков от фактических неприемлемых  $R_s$  до приемлемых (допускаемых) уровней  $[R_s]$ :

$$R_s = P_s U_s \leq (1/n_s) \cdot [R_s] = (1/n_s) \cdot [P_s] \cdot [U_s] = F_z(m_z Z), \quad (7)$$

где  $n_s$  – коэффициент безопасности по стратегическим рискам;  $[P_s]$ ,  $[U_s]$  – приемлемые (допускаемые) вероятности и ущербы;  $Z$  – затраты на снижение рисков;  $m_z$  – эффективность затрат ( $1 \leq m_z \leq 10$ ).

Безопасность по критериям стратегических рисков может считаться обеспеченной, если будет достигнуто неравенство  $n_s \geq 1$ . Для России в настоящее время по основным показателям стратегических рисков величины  $n_s$  крайне низки (не более  $0,01 \div 0,1$ ).

Отрезок времени  $\Delta\tau$ , для которого можно определять риски  $R_s$ , обычно принимается равным одному году ( $\Delta\tau = 1$  год). В соответствии с выражением (7) управление и планирование с использованием критериальной базы, основанной на рисках, сводится к следующим основным задачам:

- развитию научных методов анализа рисков  $R_s$  и их основных параметров  $P_s$  и  $U_s$ ;
- принятию решений об уровне допускаемых величин  $[R_s]$ ,  $[P_s]$  и  $[U_s]$  с оценкой величин запасов  $n_s$ ;
- научно обоснованному определению уровня затрат  $Z$  на снижение рисков с выбором и повышением эффективности затрат ( $m_z$ ).

При этом прогнозирование, мониторинг и предупреждение аварий и катастроф на КВО оказывается существенно эффективнее, чем ликвидация последствий ЧС. Величины  $Z$  при надлежащем обосновании мероприятий по снижению рисков могут быть значительно (в  $m_z$  раз) ниже ущербов  $U_s$ , наносимых экономике страны незащищенностью КВО.

При разработке основ государственной политики, нормативно-правовой базы, проек-

тов федеральных программ и пилотных отраслевых и объектовых проектов по обеспечению защищенности КВО, населения и среды жизнедеятельности от угроз техногенного, природного и террористического характера приоритетное значение приобретают следующие научные исследования и разработки:

- развитие научной критериальной базы оценки состояния КВО и составления государственного реестра КВО;
- формирование научных основ и принципов построения систем защиты – жесткой, функциональной, естественной, охранной и комбинированной;
- создание теории и методов контроля, диагностики, мониторинга и прогнозирования рисков для КВО на стадиях их проектирования, изготовления, эксплуатации и вывода из эксплуатации;
- разработка учебно-методических основ подготовки и переподготовки специалистов и руководителей всех уровней в области обеспечения защищенности КВО, анализа и управления рисками.

### **Роль человеческого фактора в обеспечении защищенности критически важных объектов**

При анализе защищенности КВО с учетом основных угроз, сценариев и последствий аварийных и катастрофических ситуаций в природно-техногенной и социальной сферах в соответствии с выражениями (2), (3) исключительное внимание должно уделяться роли человеческого фактора [6, 21, 22], а следовательно, и роли уровня подготовки к профессиональной деятельности, в том числе и в сфере обеспечения безопасной эксплуатации технических систем. Эта роль обычно определялась следующими моментами:

- специалист проектирует, создает и эксплуатирует опасные, критически важные объекты;
- оператор выступает в роли инициатора и первопричины многих аварийных и катастрофических ситуаций на потенциально опасных объектах;

• оператор, персонал и население в большинстве случаев оказываются жертвами или пострадавшими при возникновении и развитии аварий и катастроф.

Число техногенных аварий и катастроф в России возрастает (см. рис. 1). Ведомственные и государственные экспертизы сотен и тысяч аварий и катастроф подтверждают, что снижается общий уровень научного, инженерно-технического обеспечения и функционирования КВО, уровень производственной и технологической дисциплины, уровень материального и морального стимулирования труда исследователей, конструкторов, технологов и операторов на потенциально опасных объектах. Становится менее значимой роль государственного регулирования безопасности жизнедеятельности и государственного надзора, уменьшается число и снижается подготовленность к профессиональной деятельности операторов, увеличивается объем импортного оборудования, а подготовка операторов и персонала недостаточна. Не осуществляются комплексные мероприятия по диагностике, защите и реабилитации операторов и персонала; число жертв и пострадавших в техногенных авариях и катастрофах увеличивается и измеряется сотнями тысяч, риски летальных исходов при профессиональной деятельности растут, а общие индивидуальные риски на 1-2 порядка начинают превышать приемлемые риски, принятые в передовых промышленно развитых странах (см. рис. 1 и 2).

Прямые и косвенные ежегодные потери России от гибели и увечий в техногенных авариях и катастрофах могут быть оценены в 25-30 млрд. руб., что создает значительные дополнительные угрозы национальной безопасности (оборонной, экономической, демографической, социально-политической).

Вместе с тем, традиционный подход к роли человеческого фактора в возникновении техногенных аварий и катастроф в последние годы был существенно расширен за счет:

• формирования государственной научно-технической и социально-экономической поли-

тики в области обеспечения защищенности КВО и населения, снижения рисков от природно-техногенных аварий и катастроф;

• построения адекватной системы государственной и личной ответственности за возникновение аварий и катастроф по всей вертикали управления государством, регионами, территориями, объектами;

• создания системы компенсаций за риски для операторов и населения, а также стимулов к повышению и обеспечению безопасности;

• формирования единой системы подготовки и переподготовки специалистов (операторов, персонала, инженеров, технологов, конструкторов, управленцев, экономистов, правоведов, медиков, спасателей) для работы в условиях чрезвычайных ситуаций природно-техногенного характера и для их предотвращения и прогнозирования;

• реализации широкомасштабных программ обучения населения основам безопасности жизнедеятельности с учетом нарастания угроз в природно-техногенной сфере.

Некоторые из перечисленных особенностей человеческого фактора в проблемах безопасности природно-техногенной сферы и правовая постановка вопроса уже получили свое отражение в работах [1-13, 15-19, 21-22].

Человеческий фактор, как один из важнейших в безопасности, в последние годы стал предметом таких направлений фундаментальных и прикладных научных исследований и разработок, как биомеханика, эргономика, медицина катастроф, психология и физиология человека в чрезвычайных ситуациях, математическое и физическое моделирование системы «человек-машина-среда», диагностика и реабилитация операторов.

Накопленный опыт анализа человеческого фактора при авариях и катастрофах, опыт их предупреждения и предотвращения, создания и эксплуатации критически важных объектов техногенной сферы реализовывался в значительной степени через систему нормативно-технических документов (норм проектирования, правил изготовления и эксплуатации).

Соотношение роли человеческого фактора и роли нормирования, определенное по результатам анализа аварий и катастроф для строительного комплекса, авиации и атомных электростанций (АЭС), показано на рис. 6. Аварии и катастрофы в строительном комплексе в значительной степени (более 70%) связаны с человеческим фактором – ошибками, браком, несоблюдением производственной дисциплины при проектировании, строительстве и эксплуатации.

В авиации (особенно военной) роль человеческого фактора еще выше, чем в строительстве. Более 80-85% аварий и катастроф связаны с человеком – пилотами и диспетчерами. Это объясняется быстрым прогрессом в авиационной технике, чрезмерной изменчивостью ситуаций в полете, в боевых и тренировочных действиях, высокими скоростями и маневренностью полетов, ограниченным временем оценки ситуаций и принятия решений.



Рис. 6. Степень влияния человеческого фактора на возникновение ЧС при создании и эксплуатации КВО

Так как объекты ядерной энергетики представляют потенциальную опасность, для атомных электростанций изначально была разработана концепция снижения роли человеческого фактора при возникновении аварийных ситуаций. Нормами проектирования и правилами эксплуатации была регламентирована вся технология функционирования АЭС:

- широкое использование автоматического регулирования сложнейших нейтронно-физических, гидродинамических, теплофизических и электромеханических процессов;
- включение систем аварийной защиты и охлаждения активной зоны (САЗ и СОАЗ);
- создание многофункциональных блочных щитов управления (БЩУ);
- использование имитационных стендов и пультов управления для оперативного моделирования аварийных ситуаций.

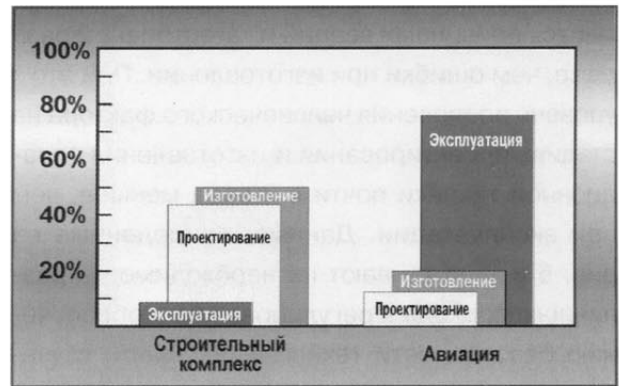


Рис. 7. Степень влияния человеческого фактора на возникновение чрезвычайных ситуаций для различных стадий жизненного цикла

Комплекс указанных мероприятий позволил существенно снизить роль человеческого фактора в возникновении аварий и катастроф.

Аналогичные результаты были достигнуты в ракетно-космической технике. Однако при масштабных авариях на АЭС, когда происходило расплавление активной зоны, на ракетно-космических системах, на магистральных трубопроводах, на транспорте значение человеческого фактора оказывалось одним из определяющих.

Анализ чрезвычайных ситуаций показывает, что человеческий фактор может иметь важное значение для возникновения аварий и катастроф на всех стадиях жизненного цикла потенциально опасных объектов техногенной сферы – при проектировании, изготовлении и эксплуатации (рис. 7).

В строительном комплексе наиболее важной роль человеческого фактора стала на стадиях проектирования и изготовления – около 90% аварий и катастроф, где роль человеческого фактора была признана основной, произошли из-за ошибок и упущений на первых двух стадиях жизненного цикла. В авиации наблюдается другая картина. Ошибки в эксплуатации авиационной техники (с учетом упомянутых выше обстоятельств) примерно в 8 раз чаще приводят к авариям и катастрофам, чем в строительстве. Ошибки проектирования являются причинами аварий и катастроф в 2 раза реже, чем ошибки при изготовлении. При этом уровень проявления человеческого фактора на стадиях проектирования и изготовления авиационной техники почти в 3 раза меньше, чем при эксплуатации. Данные, приведенные на рис. 6 и 7, указывают на необходимость различного подхода к регулированию и обеспечению безопасности техногенной сферы с учетом человеческого фактора.

В обеспечении безопасности и снижении рисков возникновения техногенных аварий и катастроф на основе результатов анализа влияния человеческого фактора существенное значение имеет детальное рассмотрение причин и источников аварийных ситуаций (рис. 8).



Рис. 7. Степень влияния человеческого фактора на возникновение чрезвычайных ситуаций для различных стадий жизненного цикла

По данным о роли человеческого фактора при авариях и катастрофах в строительном комплексе можно заключить, что аварийность в

первую очередь связывается с неиспользованием достигнутых знаний (около 35%) или с недостатком знаний (около 25%), особенно для новых и сложных объектов строительства.

Недостаток знаний по отдельным поражающим факторам (до 10-15%) и по неизвестным и не предусмотренным в нормах ситуациям (до 5-10%) создают еще одну группу составляющих человеческого фактора. Прямые промахи и ошибки (до 5-10%) в устойчивой и регламентированной системе проектирования, изготовления и эксплуатации строительных конструкций, в принципе, могут быть устранены или снижены на последующих этапах технического прогресса в строительстве (при переходе на автоматизированные системы разработки проектов, технологий и контроля).

Малоизученные или неизвестные прочие составляющие человеческого фактора составляют менее 10% от их общего количества. Для других критически важных объектов в гражданских и оборонных комплексах соотношение представленных на рис. 8 компонентов человеческого фактора может существенно измениться по мере их усложнения. При этом роль недостатка знаний в аварийных ситуациях будет несомненно возрастать.

Одними из важных моментов, существенно увеличивающих роль человеческого фактора в проблемах защищенности КВО, стали:

- недооценка на федеральном, региональном, отраслевом и объектовом уровнях роли фундаментальных и прикладных исследований по комплексным вопросам защищенности от аварий и катастроф;
- значительное ухудшение социально-экономического положения научно-технических, производственных, надзорных работников и спасателей, непосредственно участвующих в решении этих проблем;
- недостаточная ориентация системы подготовки и переподготовки населения, специалистов и руководителей на возрастание роли обеспечения защищенности КВО как важного элемента обеспечения национальной безопасности.



### Подготовка и переподготовка специалистов

Как следует из рассмотрения фундаментальных, поисковых и прикладных научных разработок, проблемы обеспечения защищенности КВО и населения по своему существу являются междисциплинарными. Исследования по этим проблемам Совет Безопасности Российской Федерации и президиум Государственного совета Российской Федерации поручили провести Российской академии наук, Министерству образования и науки, Министерству по чрезвычайным ситуациям и другим заинтересованным ведомствам в рамках реализации Межведомственной комплексной программы (МКП).

Получение новых знаний по этим проблемам возможно на базе фундаментальных наук, развиваемых в соответствующих отделениях РАН. Поисковые исследования будут проводиться по Федеральным целевым программам (ФЦП), а прикладные – по отраслевым и региональным программам (рис. 9).

Цель проведения фундаментальных научных исследований – достижение следующих результатов:

- разработка проектов федеральных законов, регламентов, норм и прав;
- составление карт природных опасностей и природно-техногенных рисков федерального, регионального и местного уровней;
- создание диагностических и мониторинговых систем контроля защищенности КВО и населения;
- предложений по реализации федеральных, региональных и отраслевых программ обеспечения защищенности КВО и населения.

В прикладном плане РАН, МОН России, МЧС России и другими ведомствами, крупными компаниями и ведущими предприятиями страны должны быть разработаны:

- научные основы экспертиз крупных проектов;
- элементы и макеты систем диагностики, мониторинга и защиты критически важных объектов;
- декларации природной и техногенной безопасности;

- системы оповещения, спасения и реабилитации населения и территорий в чрезвычайных ситуациях;



Рис. 9. Схема организации разработок по обеспечению защищенности критически важных объектов и населения

- технологии повышения защищенности объектов и населения от природных, техногенных и террористических актов;
- научно-методические, учебные пособия и учебники.

Подготовка и переподготовка научных специалистов высшего уровня должна осуществляться:

- в институтах РАН (по фундаментальным проблемам защищенности КВО и населения);
- в высших учебных заведениях и ведущих НИИ отраслей (по поисковым исследованиям).

Подготовка и переподготовка руководителей высшего звена по проблемам защищенности КВО и населения должна осуществляться в Российской академии государственной службы, в специализированных академиях и образовательных центрах ведомств (ФСБ, МЧС, Минобороны, Минфина, Минэкономразвития) и регионов.

Подготовка специалистов среднего звена (инженеров, конструкторов, технологов, экономистов, экологов, юристов, исследователей) должна осуществляться в высших учебных заведениях (университетах, аспирантурах), в институтах Российской академии наук, в специализированных учебно-образовательных центрах.

Подготовка и переподготовка руководителей среднего звена должна осуществляться в методических и учебно-образовательных центрах ведомств и регионов.

Основой для подготовки научных специалистов высшей квалификации являются общеобразовательные курсы в соответствии с требованиями ВАК, а также специальные материалы и публикации [3, 4, 6, 7]. При подготовке и переподготовке руководящего звена высшего уровня используются научно-методические разработки и курсы лекций ведущих ученых указанных выше академий и центров, а также циклы специализированных изданий [3, 10, 13-18].

Для подготовки специалистов и руководителей среднего уровня наряду с обширной учебно-методической литературой по «Основам безопасности жизнедеятельности» могут быть использованы специальные учебные пособия, подготовленные профилирующими кафедрами ведущих вузов страны – МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГСУ, КрГТУ, МИФИ, МАТИ, МИСиС и др. [18-22].

В дальнейшем в журнале «Машиностроение и инженерное образование» предусматривается публикация статей по вопросам обеспечения и повышения защищенности критически важных для национальной безопасности объектов инфраструктуры и населения.

### Список литературы

1. Конституция Российской Федерации. Принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года. – М.: Издательство АСТ, 2002. – 62 с.
2. Концепция национальной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации. Собрание законодательства Российской Федерации. – 1997. №52. – ст. 5909 (в редакции Указа Президента РФ от 10 января 2000 г. №24 «О Концепции национальной безопасности Российской Федерации»).
3. Шойгу С.К., Воробьев Ю.Л., Владимиров В.А. Катастрофы и государство. – М.: Энергоиздат, 1997. – 159 с.
4. Новая парадигма развития России в XXI веке / Под ред. А.А. Коптюга, В.М. Матросова. – М.: Academia, 2000. – 267 с.
5. Александров Д.А., Аносов Д.В., Виргин В.П. и др. Наука и безопасность России. – М.: Наука, 2000. – 328 с.

6. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты / Под ред. К.В. Фролова. – М.: МГФ «Знание», 1997-2003. Т. 1-23.

7. Природные опасности России / Под общ. ред. В.И. Осипова, С.К.Шойгу. – М.: КРУК, 1999-2003. Т. 1-6.

8. ГНТП «Безопасность». Концепция и итоги работ 1991-1992 гг. – М.: ВИНТИ, 1993. Т. 1. – 480 с.; Т. 2. – 350 с.

9. Материалы Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность», 9 июня 2003 г., Москва. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность» Госгортехнадзора России, 2003. – 248 с.

10. Шойгу С.К., Воробьев Ю.Л., Владимиров В.А. Катастрофы и общество. – М.: «Контакт-Культура», 2000. – 332 с.

11. Стратегические риски чрезвычайных ситуаций: оценки и прогноз. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. 15-16 апреля 2003 г. – М.: ЦСИ МЧС, 2003. – 400 с.

12. Махутов Н.А. Научно-методические подходы и разработка мер по обеспечению защищенности критически важных для национальной безопасности объектов инфраструктуры от угроз техногенного и природного характера // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2004. – № 1. – С. 37-48.

13. Воробьев Ю.Л. Основы формирования и реализации государственной политики в области снижения рисков. – М.: «Деловой экспресс», 2000. – 238 с.

14. Катастрофы и образование / Под ред. Ю.Л. Воробьева. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 174 с.

15. Воробьев Ю.Л., Локтионов Н.И. Фалеев М.И. и др. Катастрофы и человек. – М.: Издательство АСТ-ЛТД, 1997. – 254 с.

16. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций / Под ред. Ю.Л. Воробьева. – М.: «КРУК», 2002. – 359 с.

17. Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. – М.: «Деловой экспресс», 2002. – 183 с.

18. Котляковский В.А., Виноградов А.В., Забегаев А.В. Аварии и катастрофы. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 1996-1999. – Т. 1-4.

19. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природно-техногенной сфере. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 390 с.

20. Лепихин А.М., Махутов Н.А., Москвичев В.В. и др. Вероятностный риск-анализ конструкций технических систем. – Новосибирск: Наука, 2003. – 174 с.

21. Матрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 336 с.

22. Степашин С.В., Шульц В.Л., Рисов Р.Ф. Вопросы безопасности в системе государственного и муниципального управления Российской Федерации. – Казань: ИДЕЛ-Пресс, 2001. – 408 с.