

УДК 624.04:531.8

ВЛИЯНИЕ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

**Член-корреспондент РАН *Н.А. Махутов*,
кандидат техн. наук *М.М. Гаденин, О.Н. Юдина*
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН**

**Член-корреспондент РАН *А.А. Макоско*
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Межведомственный
центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии
при Президиуме Российской академии наук (МЦАИ РАН)**

**Кандидат социолог. наук *С.Г. Карпова*
Институт социально-политических исследований РАН (ИСПИ РАН)**

Важным в обеспечении экологической безопасности является анализ взаимосвязанных проблем возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций и их влияния на окружающую среду. Такое влияние обусловлено наличием в промышленном производстве широкого спектра технологических процессов с потенциальными опасностями, которые через поражающие факторы при чрезвычайных ситуациях могут вызвать значительные по масштабам негативные экологические последствия в природной сфере. Накопленная статистика о техногенных катастрофах позволяет сделать концептуальные выводы об основных повреждающих факторах, сопровождающих промышленные (техногенные) аварии и природные катастрофы, которые обусловлены физическими, химическими и биологическими процессами. Для анализа безопасности сложной социально-природно-техногенной системы в качестве базовых количественных критериев могут быть приняты риски, определяемые как функционал вероятностей возникновения опасных разрушающих процессов и сопутствующих им ущербов. Базовым условием и требованием обеспечения комплексной безопасности социально-природно-техногенной системы предлагается считать ее функционирование в области допустимых, приемлемых уровней рисков. При этом необходимым условием безопасности окружающей среды является научно обоснованное снижение реальных формирующихся в рассматриваемой системе рисков до их приемлемых значений.

Ключевые слова: экологическая безопасность, техногенные аварии и катастрофы, риск, вероятность, ущерб, окружающая среда, поражающие факторы, технологические процессы, социально-природно-техногенная система.

INFLUENCE OF KNOCKING FACTORS FROM TECHNOGENIC EMERGENCY SITUATIONS ON ECOLOGICAL SAFETY

**Corresponding Member of the RAS *N.A. Makhutov*, Ph.D. (Tech.) *M.M. Gadenin*,
O.N. Yudina
The RAS Institute for Machine Sciences**

**Corresponding Member of the RAS *A.A. Makosko*
Federal State Budgetary Institution of Science Interdepartment Center of Analytical
Research in Physics, Chemistry and Biology at the Presidium of the Russian Academy
of Sciences (MZAI RAN)**

Ph.D. (Sociolog.) S.G. Karepova
Institute of Socio-Political Researches of the Russian Academy of Sciences

The analysis of mutually co-ordinated problems of technogenic emergency situations initiation and their influence on an environment is important for protection of environment. Such influence is stipulated by presence in industrial production of a wide spectrum of operating procedures with potential hazards which one through knocking factors at emergency situations can cause significant on scales negative ecological repercussions in a natural habitat. The accumulated statistical data about technogenic disasters allows to draw conceptual leading-outs on the basic knocking factors escorting industrial (technogenic) accidents and natural disasters which one are stipulated by physical, chemical and biological processes. For the analysis and safety control of the complicated social-natural-technogenic system as basic quantitative criteria the risks spotted as a functional of probabilities of initiation of unfavorable dangerous processes and losses accompanying them can be accepted. The basic requirement and the demand of complex safety provision of is social-natural-technogenic system offers to consider its operation in the field of admissible, acceptable levels of risks. Thus the indispensable demand is scientifically well-founded decrease of real formed risks to their acceptable values.

Keywords: ecological safety, technogenic accidents and disasters, risk, probability, loss, the environment, knocking factors, operating procedures, social-natural-technogenic system.

1. Постановка проблемы взаимосвязи промышленной и экологической безопасности

Рассмотрение проблемы комплексной безопасности жизнедеятельности и жизнеобеспечения в окружающей среде неразрывно связано с анализом сложной социально-природно-техногенной системы, включающей в себя взаимодействующие экологическую и техногенную сферы. При этом в центре такой системы находятся человек и общество в целом с присущими им законами развития и особенностями взаимосвязей с другими сферами жизнеобеспечения. Особенно важным в этом отношении представляется анализ взаимоувязанных проблем промышленной и экологической безопасности, взаимное влияние которых друг на друга обусловлено в первую очередь присущими широкому спектру технологических процессов в различных отраслях производства потенциальными опасностями, которые непосредственным образом через соответствующие поражающие факторы и угрозы при возникновении разных уровней чрезвычайных ситуаций могут вызвать значительные по масштабам и формам проявления негативные экологические и социальные последствия в природной и антропогенной сферах [1-10].

Технологии и процессы производства изделий и продукции на предприятиях повышенной потенциальной опасности, включая добычу, хранение, транспортировку, переработку и применение различных химически, радиационно и взрывоопасных соединений являются неотъемлемой составляющей современной промышленности во всех ее формах. Ряд из названных веществ и способы их переработки являются потенциально опасными ввиду горючести, токсичности или склонности к взрывному превращению, а также в связи с повышенными уровнями параметров технологических операций (в первую очередь с повышенными температурами и рабочими давлениями). Широкий спектр химических веществ, вовлечённых в обращение в промышленном производстве, разнообразие его технологических схем предопределяет возможное разнообразие видов аварийных техногенных ситуаций и их последствий. Дополнительное усложнение опасных ситуаций

в направлении наличия потенциальных угроз сопряжено с эксплуатацией сложных технических систем в условиях присутствия в зонах этих промышленных объектов природных факторов риска, порождаемых различного рода стихийными явлениями, становящимися в ряде случаев спусковым механизмом для последующего возникновения и развития техногенных катастроф [5, 7, 9-12].

Накопленная статистика о техногенных катастрофах и анализ основных причин гибели людей, разрушения производственных структур и жилых комплексов, нанесения вреда природной среде позволяет сделать определённые концептуальные выводы об основных факторах опасностей, сопровождающих промышленные (техногенные) аварии и природные катастрофы, обусловленные физическими, химическими и биологическими процессами, происходящими с веществами и соединениями, вовлечёнными в такие анализируемые аварии или катастрофы [5, 11, 12]. Основными причинами гибели персонала аварийного техногенного объекта, а также поражения окружающей среды на территории, прилегающей к нему, являются:

- разрушение зданий и сооружений; различные виды пожаров с преимущественным тепловым фактором поражения;
- разлетающиеся осколки и фрагменты оборудования с осколочным фактором поражения;
- падение, столкновение или удары биообъектов с неподвижными элементами конструкций;
- отравление (удушение) газообразными продуктами выбросов или исходных опасных соединений, а также соединений, образовавшихся при химических превращениях в процессе развития аварий с токсическим фактором поражения;
- непосредственное поражение ударными или взрывными волнами давления с фугасным фактором поражения.

Практический интерес для выполняемого анализа представляют результаты изучения вероятности появления перечисленных факторов поражения P при свершившихся промышленных авариях, которые представлены на рис. 1.

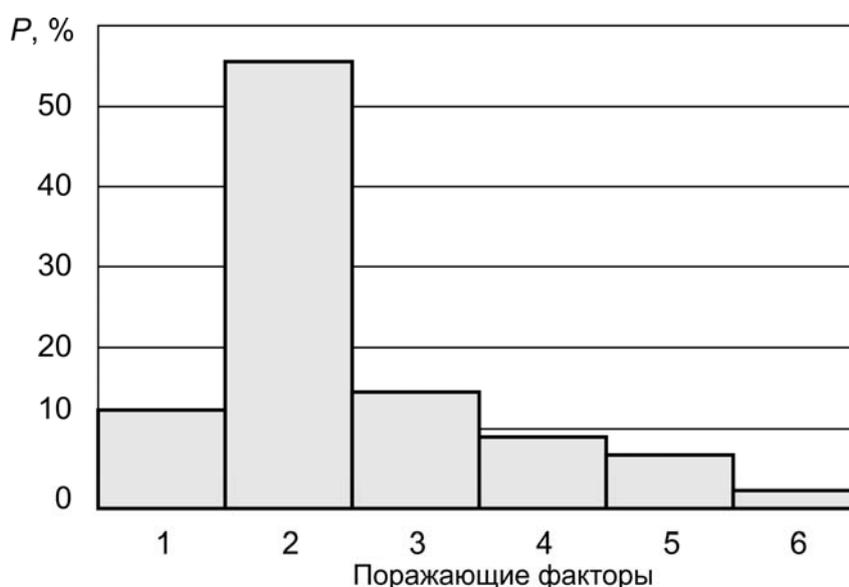


Рис. 1. Вероятность проявления основных факторов поражения при техногенных авариях:

- 1 – общие разрушения, обрушение зданий и сооружений; 2 - пожар; 3 - осколки и разлетающиеся фрагменты оборудования; 4 - столкновение, удар с элементами конструкции; 5 - отравление токсичными продуктами; 6 - прямые поражения ударными волнами

2. Техногенные опасности и поражающие факторы

В связи с тем, что разрушения промышленной инфраструктуры в основном вызываются фугасным действием наружных или внутренних взрывных превращений, опасность обуславливающих их физико-химических процессов сводится в основном к следующим поражающим факторам: фугасный, тепловой, осколочный, токсический. После того как на основе фундаментально-прикладных аналитических и экспериментальных исследований, а также данных расследований аварий и катастроф, установлены основные факторы, характеризующие различные виды поражения при конкретных химикотермических авариях и найдена их связь с параметрами источников опасности, состоянием окружающей среды и относительным расположением донора и акцептора фактора опасности, имеется реальная возможность оценить ожидаемый уровень ущерба для акцептора опасности. Акцепторами факторов поражения выступают, как правило, различные биообъекты (в том числе и человек), а также объекты промышленной и жилой инфраструктуры, элементы конструкций, объекты растительного и животного происхождения на поражаемой территории и сама окружающая среда в целом. Каждый из акцепторов названных выше факторов поражения испытывает, как правило, комбинированное влияние нескольких из них.

С целью получения данных о реальной физико-химической обстановке в зоне аварии или катастрофы необходимо предусмотреть определенные этапы анализа причин и последствий их возникновения, позволяющие объективно осуществить формулировку соответствующих сценарии их реализации и оценку последствий. При построении сценария анализируемой чрезвычайной ситуации должны быть представлены адекватные схемы развития такой аварийной ситуации в зависимости от типа повреждения промышленной инфраструктуры и окружающей среды, описаны возможные нарушения технологического процесса, условий эксплуатации, физико-химических свойств присутствующих опасных веществ, изменения погодных условий и многих других факторов. Подлежат также детальному анализу проявившиеся поражающие факторы, в числе которых особое место занимают выбросы опасных веществ в жидком виде, в форме пылевого облака или в газообразном состоянии, различные типы пожара и (или) взрыва горючих материалов. Как правило, на практике указанные события развиваются по параллельно-последовательной схеме, и для её построения используются подробные «деревья событий».

Названные мероприятия входят в этап составления так называемой карты параметров и факторов поражения, сопровождающих аварию. При построении сценария аварии используются различные физико-химические модели для позвонного описания протекающих физических процессов и (или) химических реакций. При этом используются [2, 9, 12, 13]:

- модели рассеяния газов различной плотности в атмосфере;
- модели смешения в двухфазных и однофазных струях;
- модели пролива жидкостей из ёмкостей на воду или грунт;
- модели горения бассейнов с горючей жидкостью на жидкой или твёрдой подложке;
- модели формирования огненных шаров при всплывании продуктов горения в атмосфере;
- модели взрывов газовоздушных или пылевоздушных облаков в атмосфере или в замкнутых помещениях.

На базе определения таким образом исходных, характеризующих масштаб аварии параметров выдвигаются доминирующие факторы поражения и на основе критериев поражения составляется карта последствий для окружающих место аварии техногенных и природно-социальных объектов. При анализе основных последствий в результате возникновения техногенных и природных чрезвычайных ситуаций необходимо также установить типичные случаи повреждений и разрушений элементов технологического оборудования с описанием наиболее вероятных мест их инициирования и масштабов реализации [2, 10, 14].

Другим важным аспектом при оценке опасности является определение соответствующих химических и физических свойств веществ, применяемых в технологическом процессе и находящихся на промышленном объекте. Такие свойства необходимо фиксировать как при штатных режимах работы, так и при экстремальных аварийных обстоятельствах. Особо следует выделить вероятность выброса токсичных, реакционно-способных (горючих) и радиоактивных веществ. При этом возможность выхода какого-либо потенциально опасного технологического процесса из под контроля необходимо предусмотреть на самых ранних стадиях предположительно возможного сценария аварии. В этом случае на основе полученных результатов определяется последовательность проявления физико-химических явлений, возникающих при аварии, и оцениваются условия возможного контроля над их развитием с учётом потенциальных способов подавления. Как правило, сценарий аварии и последствия её влияния на техногенную инфраструктуру и окружающую среду определяются свойствами опасных веществ, используемых в технологическом процессе, среди которых наиболее важными являются: фазовое состояние (жидкость, газ, двухфазная система); давление; температура; способность к воспламенению и горению; токсичность, радиоактивность.

Анализ последствий той или иной аварии или катастрофы на промышленную инфраструктуру и окружающую среду с построением их вероятного сценария необходимо выполнять с использованием базы данных по уже случившимся подобным промышленным чрезвычайным ситуациям, подвергнутым достаточной экспертизе и аналитическому описанию. При выборе аналогов самой существенной из них является общность природы и физико-химических свойств опасного вещества и способов его переработки и хранения [1, 8-12].

Особое место при анализе причин и последствий промышленных чрезвычайных ситуаций и их влияния на окружающую среду занимают вторичные факторы поражения от физико-химических аварий, сопряжённых с разрушениями технологического оборудования. Чаще всего при анализе химических и физических взрывов, связанных с разрывом ограничивающих оболочек рассматривается ситуация, когда объём сжатого вещества не имеет преимущественного направления разлёта. При этом также следует иметь ввиду фактор дополнительного фугасного поражения при взрывном догорании выброшенных в атмосферу продуктов неполного горения. Кроме того при разрыве части оболочки на разрушающуюся конструкцию будет действовать реактивная сила (сила отдачи), создаваемая струей истекающих газообразных или многофазных продуктов. Во многих аварийных ситуациях учёт величины, направления реактивной силы такой струи и её импульса необходим для вычисления дополнительных нагрузок на опорные и крепёжные элементы промышленного оборудования.

В самом общем случае карта опасностей и возможных повреждений анализируемого промышленного объекта по параметрам фугасного поражения, обусловленного взрывом и другими видами поражения, должна быть дополнена информацией о соответствующих вторичных эффектах, сопровождающих разрушение технологического оборудования, сфер распространения опасных веществ и поражения окружающей среды.

При авариях на топливонасыщенных промышленных объектах, как правило, происходит истечение газообразного или жидкого горючего с образованием струй, значительных по площади открытой поверхности разлитий и (или) паровых облаков. Даже в отсутствие в этом случае взрывного превращения одним из наиболее опасных факторов поражения является тепловое излучение от продуктов горения при пожаре. Как правило, выгорание энергоносителя требует определённого промежутка времени, в силу чего источник теплового излучения, образованный продуктами горения, может рассматриваться как кратковременный (нестационарный) или длительный (стационарный) процесс. Деление ис-

точников поражения на группы проводится на основе зависимости последствий от времени экспозиции мишеней тепловым импульсом.

Источник теплового излучения считается стационарным, когда последствия облучения уже не зависят от времени выгорания и предопределены только удельной мощностью излучения, воспринимаемой любыми приёмниками на известных расстояниях в окрестности горящего объекта. Источник теплового излучения считается нестационарным, когда последствия зависят и от величины удельной мощностью излучения и от длительности экспозиции мишени тепловым импульсом. Такой тип воздействия типичен для плохо перемешанных с воздухом объёмов горючих веществ после их выброса в атмосферу и последующего воспламенения. Схожие явления развиваются после взрыва газовых, паровых или пылевых облаков, когда избыточное количество энергоносителя догорает в воздухе. Очень часто нестационарный источник излучения реализуется в форме огненного шара. Размеры и длительность жизни огненных шаров, высота всплытия их в атмосфере зависят от массы горючего и фазового состояния энергоносителя (пар или взвесь частиц). Последствия действия тепловых источников для промышленного объекта и экологии окружающей среды зависят также от состояния атмосферы и чувствительности приёмников излучения к действию тепловых потоков.

При сгорании значительных масс горючего в приземном слое (при массе углеводородного горючего в облаке более 100-300 тонн) всплытие горячих продуктов взрыва вызывает подсос значительной массы воздуха из соседнего с местом аварии пространства к эпицентру облака. В итоге формируется кратковременный ураганный порыв ветра, способный существенно дополнить картину разрушений в окружающем пространстве

Таким образом, анализ сценариев развития и факторов поражения при оценке опасностей, реализуемых при техногенных авариях на промышленных объектах, базируется на информации о главных факторах поражения биообъектов, промышленной инфраструктуры и заражения местности или загрязнения атмосферы. К ним относятся:

а) фугасный фактор, обусловленный взрывным превращением горючих материалов в замкнутых или частично (либо полностью) открытых пространствах;

б) тепловое (термическое) поражение, обусловленное излучением тепловой энергии при импульсном или затянутом во времени сгорании газо- (паро) воздушных смесей после выброса горючего компонента в атмосферу или пролива на грунт (либо поверхность воды);

в) осколочное поражение при разлете фрагментов оборудования, внутри которого произошло аварийное повышение давления, обусловленное химическим экзотермическим процессом или физическим взрывным фазовым переходом;

г) токсическое поражение при смешении паров опасного вещества с воздухом и (или) его переносе во внутренних помещениях (либо в атмосфере);

д) радиоактивное поражение при авариях на объектах энергетической или другой инфраструктуры, связанных с выходом за пределы контролируемых объемов радиоактивных веществ, способных влиять на состояние людей в зоне их распространения, на дальнейшую работоспособность технологического оборудования в этой зоне и на загрязнение в ней окружающей среды.

Очень часто полный и представительный анализ опасности предполагаемой или свершившейся аварии затруднен тем, что во внимание принимается только один из упомянутых факторов поражения. В то же время многие вещества способны произвести комплексное поражение по ряду перечисленных факторов опасности. Названные выше факторы опасности (а-в) не являются независимыми и в основном предопределены взрывными характеристиками опасного вещества в смеси с воздухом (или другим окислителем). Фактор опасности (г) в ряде аварийных ситуаций независим от факторов (а-в) и предопределён не только условиями смешения опасного вещества с воздухом, но в

большей мере степенью токсичности вещества, не зависящей от условий смешения с воздухом. Фактор (д) может быть инициирован комплексным воздействием факторов (а-г), а масштаб его поражающего воздействия значительно превысит суммарный ущерб от непосредственной реализации инициирующих его факторов.

Важно понимать, что соответствующий анализ угроз и последствий возникновения чрезвычайных ситуаций не может быть универсальным для всех классов опасных веществ ввиду широкого разнообразия их физико-химических свойств, влияющих на условия образования пожаровзрывоопасной атмосферы, возможные режимы взрывного превращения, свойств, определяющих токсичность или радиоактивную опасность того или иного компонента технологического процесса. Здесь принципиально деление опасных веществ по уровням реакционной способности, и только дифференцированный и индивидуальный подход дает возможность обеспечить разработку и принятие превентивных защитных мер при использовании в производственных процессах опасных веществ.

Изложенные подходы отражают основные причинно-следственные связи отдельных физико-химических процессов, вызывающих и сопровождающих техногенные и природные аварийные (чрезвычайные ситуации) и позволяют аналитически объективно подходить к экспертным и прогнозным оценкам сценариев их развития и возможных ущербов для техногенной сферы и окружающей среды.

3. Аналитические подходы к анализу и обеспечению комплексной безопасности

Нормативно-правовая база обеспечения комплексной безопасности, включая взаимосвязанные аспекты промышленной и экологической безопасности (стратегия национальной безопасности, законы о стратегическом планировании, о промышленной политике, о промышленной безопасности, о радиационной безопасности), требуют разработки и реализации принципиально новых подходов для количественной оценки экологического состояния сложной социально-природно-техногенной системы (*С-П-Т* системы) в условиях развития промышленного потенциала страны [1-5, 7, 9, 10, 15, 16].

Углубленное решение проблем обеспечения экологической, промышленной, технологической, техногенной и социальной безопасности на фоне набирающего темпы развития отечественных отраслей промышленности и энергообеспечения следует отнести к числу основных составляющих национальной безопасности [1-7, 15, 16]. Их научному анализу посвящены многочисленные монографические и журнальные публикации, включая издающееся с 1998 года и насчитывающее к настоящему времени 54 тома многотомное издание «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты», последние из вышедших в свет томов которой посвящены проблемам комплексной безопасности [9, 10].

Согласно полученным в этом направлении результатам в общем случае одним из ключевых критериев всех видов безопасности, вытекающих из анализа угроз жизнедеятельности и жизнеобеспечения и соответствующих поражающих факторов, являются риски для данной стадии τ функционирования сложной социально-природно-техногенной системы (*С-П-Т* системы). Базовым условием и требованием обеспечения ее безопасности предлагается считать функционирование *С-П-Т* системы в области приемлемых рисков, зависящих от состояния этой системы и потенциальных возможностей человека, общества и государства проводить научно обоснованное снижение формирующихся в данный момент рисков до их приемлемого уровня, в том числе за счет совершенствования систем диагностики и мониторинга состояния потенциально опасных объектов техносферы и обеспечения характеристик их прочности, ресурса и живучести на базе современных критериев механики деформирования и разрушения [2, 7, 9-12, 17-20].

Для сложной *C-II-T* системы в качестве базовых количественных критериев безопасности для данного времени τ приняты риски $R(\tau)$, определяемые как функционал, связывающий вероятности $P(\tau)$ возникновения неблагоприятных опасных процессов и событий и сопутствующие им ущербы $U(\tau)$ [2, 10]

$$R(\tau) = F_R \{P(\tau), U(\tau)\}. \quad (1)$$

Наиболее простым выражение (1) оказывается, когда функционал F_R может быть записан в виде произведения $\{P(\tau) \cdot U(\tau)\}$.

Для опасных процессов и объектов *C-II-T* системы введена их классификация (рис. 2) по уровням опасностей и чрезвычайных ситуаций:

- 1 – локальные, когда нарушения и отказы возникают в пределах отдельных зон и участков объекта;
- 2 – объектовые, когда возникшие опасности сосредоточены в пределах объекта или его производственной площадки;
- 3 – местные, когда негативные последствия отказов и аварий выходят за пределы объекта;
- 4 – региональные, когда ущербы от отказов, аварий, катастроф и стихийных бедствий затрагивают регионы (субъекты) страны;
- 5 – национальные, когда ущербы от катастроф и стихийных бедствий сказываются на жизнедеятельности всего государства;
- 6 – глобальные, когда ущербы от катастроф и стихийных бедствий влияют на жизнедеятельность всей страны и сопредельных государств;
- 7 – планетарные, когда ущербы и последствия катастроф и стихийных бедствий сказываются на жизнедеятельности континентов и планеты в целом.

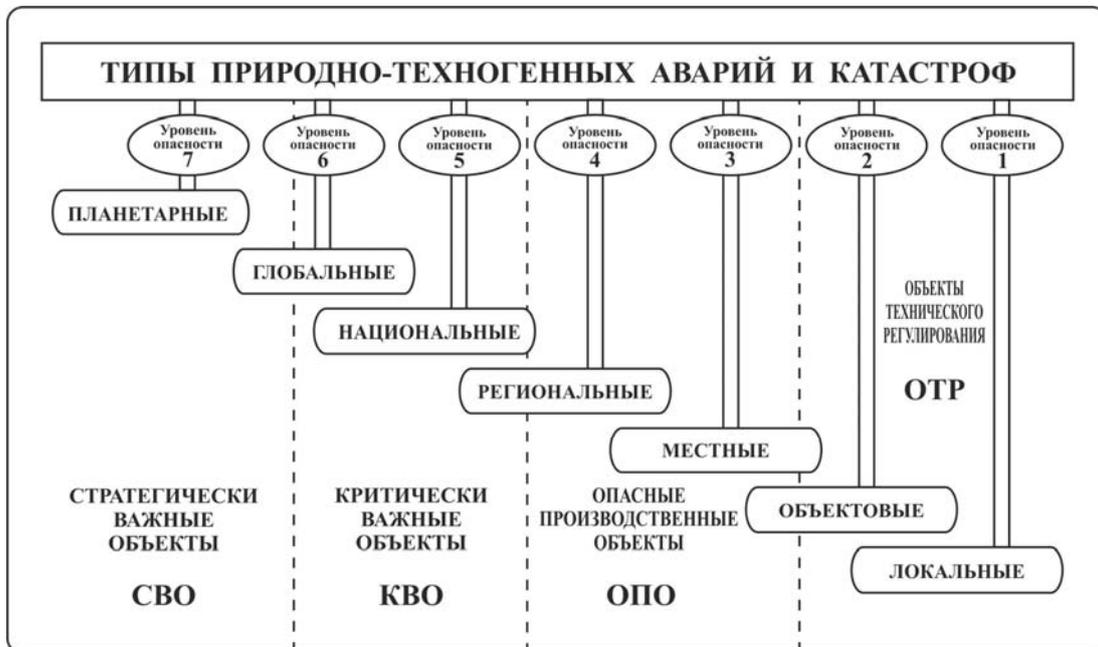


Рис. 2. Категорирование типов чрезвычайных ситуаций по уровням опасностей

При этом важно исходить из того, что основные объекты техносферы с различными уровнями опасности (объекты технического регулирования – ОТР, опасные производственные объекты – ОПО, критически – КВО и стратегически – СВО важные объекты), влияют и на состояние экологической безопасности.

Если ущербы $U(\tau)$ и риски $R(\tau)$ оценивать в экономических показателях (руб., долл.), то для всех названных выше i -классов чрезвычайных ситуаций можно провести суммирование экологических рисков при их возникновении на промышленном объекте

$$R_3(\tau) = \sum_{i=1}^7 R_{i3}(\tau) \quad (2)$$

Для C - P - T системы в целом характерны социальные $R_c(\tau)$, природные $R_n(\tau)$ и техногенные $R_t(\tau)$ риски. Указанным рискам соответствуют свои экологические динамические кратковременные и длительные последствия и риски $R_3(\tau)$. Кроме этого, экологические риски $R_3(\tau)$ могут формироваться постепенно (на протяжении лет, десятилетий и веков) при штатных состояниях и развитии техносферы, человеческого общества и природы. В этом случае следует говорить о трендовых показателях экологических рисков $R_3(\tau)$, которые в общем случае являются составной частью природных рисков $R_n(\tau)$.

В общей постановке решение проблем количественного определения рисков $R_c(\tau)$, $R_n(\tau)$, $R_t(\tau)$ опирается на результаты фундаментальных комплексных исследований по таким направлениям, как математика, физика, химия, механика, биология, социология. Риски национальной безопасности $R_n(\tau)$ могут рассматриваться как стратегические интегральные для C - P - T системы жизнедеятельности и жизнеобеспечения.

$$R_n(\tau) = F_R \{R_c(\tau), R_n(\tau), R_t(\tau)\} \quad (3)$$

В целом экологические риски $R_3(\tau)$ для всей среды жизнедеятельности являются элементом интегральных рисков $R_n(\tau)$ по выражению (3) и соответственно долями рисков $R_c(\tau)$, $R_n(\tau)$, $R_t(\tau)$ для данного конкретного времени τ_0 . При этом возникшие ко времени τ экологические риски $R_3(\tau)$ могут представлять собой сумму из их составляющих и на очень больших отрезках предшествующих времен τ_n , и на значительных отрезках будущего времени τ_6 после возникновения тех или иных кризисов, аварий и катастроф при определенном текущем времени τ_0

$$R_3(\tau) = \sum_{\tau} \{R_3(\tau_n), R_3(\tau_0), R_3(\tau_6)\} \quad (4)$$

Риски $R_3(\tau_n)$ при $\tau < \tau_0$ в интегральном смысле можно трактовать как риски от экологического наследия за весь предшествующий период жизнедеятельности человека, общества, государства и человечества [5]. К этому наследию можно отнести:

- радиационное наследие (накапливающиеся отходы ядерной энергетики, техники гражданского и оборонного назначения, ядерные и радиационные последствия аварий и катастроф, например, на АЭС, АПЛ, РВСН);

- химическое наследие (накапливающиеся химически опасные отходы химической промышленности гражданского и оборонного назначения);
- ресурсное наследие (накапливающиеся отходы горнодобывающей промышленности, нефтегазодобывающего и транспортного комплекса, сельскохозяйственного производства);
- бытовое наследие (накапливающиеся жидкие, твердые, газообразные отходы человеческой деятельности и жизнеобеспечения).

Анализ трендовых рисков $R_s(\tau_n)$ и динамических рисков $R_s(\tau_0)$ позволят дать оценку рисков $R_s(\tau_6)$ с применением методов экстраполяции и форсайта.

Для интегральных рисков $R_n(\tau)$ по выражению (3) и экологических рисков $R_s(\tau)$ по выражению (4) с учетом (2) важное значение имеет определение источников их составляющих. В основе этого лежит определенная универсальность при описании большинства опасных процессов в *С-П-Т* системе, порождаемых действием описанных выше иницирующих, повреждающих и поражающих факторов [2, 7, 17, 19]:

- неконтролируемым залповым выбросом опасных веществ W при авариях и катастрофах или их контролируемым медленным накоплением в виде упомянутых выше отходов в процессе штатного функционирования всех компонентов *С-П-Т* системы;

- неконтролируемыми опасными выбросами энергии E (механической, тепловой, электромагнитной) при авариях и катастрофах техногенного и природного характера или постепенным, медленным изменением потоков E природного, техногенного и антропогенного происхождения, ведущем, в том числе, к глобальным изменениям климата и окружающей среды;

- неконтролируемым опасным нарушениям или разрушениям потоков информации I в живых организмах, человеке, природной среде, обществе, государстве, технических системах (поражения первичных преобразователей, систем управления и связи, программных продуктов, систем автоматизированной защиты) в том числе и под действием электромагнитных полей Солнца, Земли, космического пространства, электромагнитного загрязнения техносферой среды обитания.

Интегральные риски $R_n(\tau)$ при этом по выражению (3) на основании (1) будут связываться с ущербами $U_i(\tau)$ и вероятностями $P_i(\tau)$ проявления каждого из трех указанных иницирующих и поражающих источников ($i=1, 2, 3$)

$$R_n(\tau) = \sum_{i=1}^3 [R_{Ei}(\tau) + R_{Wi}(\tau) + R_{Ii}(\tau)]. \quad (5)$$

Как уже упоминалось, при анализе безопасности и рисков промышленных производств следует учитывать три основных фактора, создающих чрезвычайные ситуации: природный фактор, обусловленный температурными, сейсмическими, оползневыми, ветровыми, снеговыми, ледовыми, гео- и гелиомагнитными, эрозионными и другими воздействиями природного происхождения; техногенный фактор, обусловленный внутренними и внешними опасными механическими, химическими и физическими факторами технологического процесса, рабочего тела, оборудования, механическими и гидродинамическими вибрациями от самого оборудования и от других объектов инфраструктуры, блуждающими токами; антропогенный (человеческий) фактор, обусловленный опасными действиями человека на всех стадиях жизненного цикла потенциально опасного оборудования (проектирование, изготовление, контроль, эксплуатация, вывод из эксплуатации) в штатных и нештатных ситуациях (включая несанкционированные, террористические и военные воздействия)

$$R_n(\tau) = \sum_{i=1}^3 [R_{qi}(\tau) + R_{Ti}(\tau) + R_{Pi}(\tau)]. \quad (6)$$

Интегральные $R_{и}(\tau)$ риски аварий и катастроф по выражению (6) в общем случае обусловлены не только указанными отдельными факторами, но и различным сочетанием социально-природно-техногенных, природно-техногенных, техногенно-антропогенных факторов в их взаимодействии.

Одной из конечных приоритетных целей реализации фундаментальных научных исследований и прикладных разработок в области обеспечения комплексной безопасности может стать научно-методическое обоснование и построение предельных поверхностей и кривых (рис. 3) критических, неприемлемых (недопустимых) $R_{к}(\tau)$ и приемлемых $[R(\tau)]$ (допустимых) рисков возникновения аварий и катастроф для конкретных объектов техносферы, определяемых соответствующими величинами вероятностей $P_{к}(\tau)$ и $[P(\tau)]$ и ущербов $U_{к}(\tau)$ и $[U(\tau)]$.

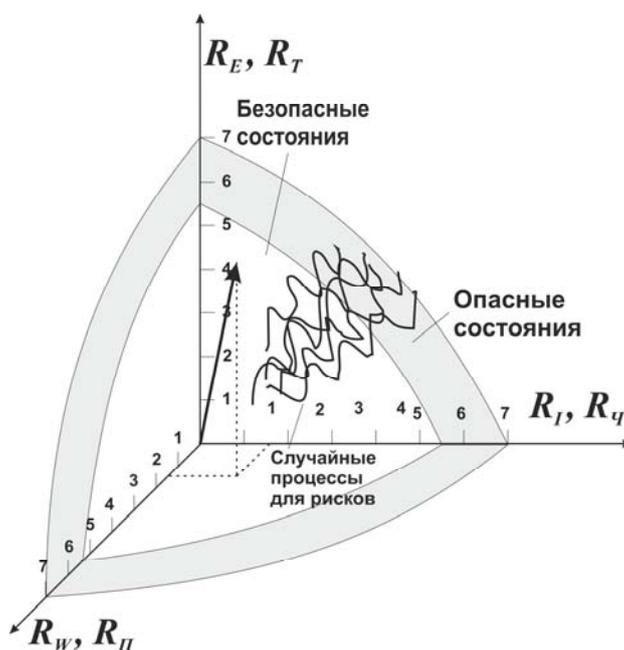


Рис. 3. Предельные поверхности критических и приемлемых рисков проектирования, создания и функционирования объектов техносферы

Стратегическим приоритетом создания и функционирования различных типов (классов) объектов техносферы является удержание радиуса-вектора вероятностных интегральных составляющих рисков $R_{и}(\tau)$ в построенном по компонентам реализующихся рисков трехмерном пространстве допустимых, опасных и неприемлемых состояний. Данный радиус-вектор, характеризующий текущее состояние рассматриваемого объекта, формируется в пространстве приемлемых рисков $R_{и}(\tau) \leq [R_{и}(\tau)]$ для заданной стадии жизненного цикла τ и указанных выше классов опасных ситуаций (рис. 2, 3) в соответствии с выражениями (3), (5), (6).

По относительным величинам такого радиуса-вектора в пространстве классов чрезвычайных ситуаций возможно и следует проводить количественное категорирование потенциальной опасности объектов с учетом источников рисков по (2) и факторов рисков по (5)

$$\bar{R}_{и} = \sqrt{\bar{R}_E^2 + \bar{R}_W^2 + \bar{R}_I^2} \quad (7)$$

$$\bar{R}_{и} = \sqrt{\bar{R}_C^2 + \bar{R}_T^2 + \bar{R}_D^2} \quad (8)$$

Базовые параметры ущербов $U_i(\tau)$ и вероятностей $P_i(\tau)$ интегральных рисков $R_{и}(\tau)$ по выражению (1) позволяют построить кривые их критических (неприемлемых) $P_k(\tau)$, $U_k(\tau)$ и приемлемых $[P(\tau)]$, $[U(\tau)]$ значений (рис. 4). При этом для соответствующих областей ущербов $U(\tau)$ и классов аварий и катастроф в приоритетном порядке могут быть выделены и соответствующие группы потенциально опасных объектов (ОТР, ОПО, КВО, СВО), характеризующиеся соответствующими поражающими факторами при возникновении на них чрезвычайных ситуаций.

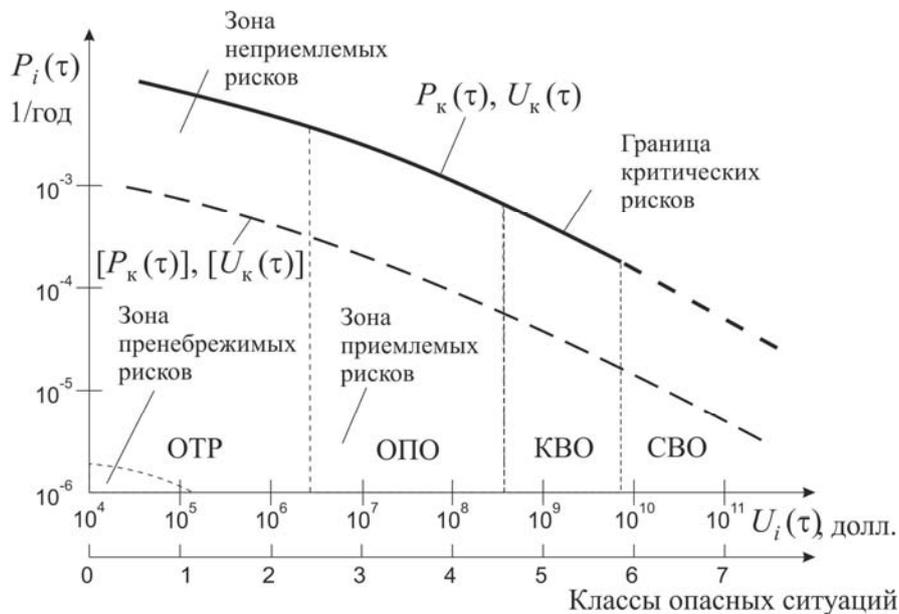


Рис. 4. Категорирование потенциально опасных объектов и чрезвычайных ситуаций по параметрам рисков

4. Заключение

Таким образом, для сложной социально-природно-техногенной системы (*С-П-Т* системы) в качестве базовых количественных критериев безопасности могут быть приняты риски, определяемые как функционал, связывающий вероятности возникновения неблагоприятных опасных процессов и событий и сопутствующие им ущербы. При этом одним из ключевых критериев для всех видов безопасности, включая и взаимовлияющие друг на друга промышленную и экологическую безопасность, которые характеризуют угрозы жизнедеятельности и жизнеобеспечения, являются взаимосвязанные интегральные риски для рассматриваемой стадии функционирования анализируемой комплексной *С-П-Т* системы, образующиеся при взаимодействии рисков от всех ее составляющих. Для решения комплексных вопросов обеспечения безопасности и защищенности потенциально опасных и важных для жизнедеятельности объектов техносферы от аварий и катастроф техногенного, природного и антропогенного характера первоочередному анализу подлежат следующие, начинающиеся от наиболее значимых, цепочки последовательностей и названные выше факторы: группы потенциально опасных производственных объектов; классы чрезвычайных (аварийных и катастрофических) ситуаций; факторы возникновения опасных ситуаций; источники аварий и катастроф; типы аварийных и катастрофических ситуаций; характер действия поражающих процессов; стадии возникновения и развития опасных процессов и явлений.

Базовым условием и требованием обеспечения комплексной безопасности предлагается считать функционирование рассматриваемой социально-природно-техногенной системы в области допустимых, приемлемых рисков. При этом необходимым в зависимости от состояния этой социально-природно-техногенной системы и потенциальных возможностей человека, общества и государства условием является научно обоснованное снижение формирующихся в рассматриваемой комплексной системе рисков до их приемлемого уровня.

Работа выполнена при поддержке Подпрограммы «Научные основы развития российского научно-инновационного комплекса в контексте глобальных трансформаций» в составе Программы фундаментальных исследований Президиума РАН

Литература

1. Махутов Н.А., Макоско А.А., Гаденин М.М., Юдина О.Н. Научные основы анализа взаимосвязанных комплексных проблем национальной безопасности. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2018. № 6. С. 3-15.
2. Махутов Н.А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука. - 2017. 724 с.
3. Макоско А.А., Матешева А.В. О стратегии риск-менеджмента в области экологической безопасности атмосферного воздуха в городах // Охрана атмосферного воздуха. Атмосфера. - 2010. № 2. С. 28.
4. Карепова С.Г., Пинчук А.Н., Некрасов С.В. Национальная безопасность: тенденции, перспективы, научно-практическая основа для укрепления - система показателей и индикаторов // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. - 2018. № 9. С. 35-43.
5. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Экологическая безопасность и экологическое наследие в проблемах национальной безопасности. Экология и промышленность России. - 2016. № 3. С. 47-51.
6. Гаденин М.М., Москвичев В.В., Неганов Д.А. Научная школа «Безопасность и защищенность критически и стратегически важных объектов техносферы» // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2017. № 4. С. 3-15.
7. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Юдина О.Н. Научный анализ рисков в жизнеобеспечении человека, общества и государства // Проблемы анализа риска. - 2019, том 16, № 2. С.70-86. DOI: 10.32686/1812-5220-2019-16-70-86
8. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации /Под общей редакцией С.К. Шойгу. - М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография». - 2005. - 271 с.
9. Безопасность России Правовые, социально-экономические и научно технические аспекты. Техногенная, технологическая и техносферная безопасность. М.: МГОФ «Знание», 2018. 1016 с.
10. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно технические аспекты. Фундаментальные и прикладные проблемы комплексной безопасности. М.: МГОФ «Знание». - 2017. 992 с.
11. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Функционирование и развитие сложных народнохозяйственных, технических, энергетических, транспортных систем, систем связи и коммуникаций. Раздел 1. Теоретические основы безопасного функционирования сложных технических систем. М: МГФ «Знание». - 1998. - 448 с.
12. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Функционирование и развитие сложных народнохозяйственных, технических, энергетических, транспортных систем, систем связи и коммуникаций. Раздел 2. Обеспечение безопасного функционирования сложных технических систем на разных этапах жизненного цикла. Москва: МГФ «Знание». - 1998. - 416 с.
13. Макоско А.А., Матешева А.В. Методика индексирования динамики загрязнения атмосферы для оценки экологической безопасности при стратегическом планировании развития регионов // Инновации. - 2017. № 10 (228). С. 76-80.

14. Makhutov N.A. Generalized Regularities of Deformation and Fracture Processes. Herald of the Russian Academy of Sciences. Vol. 87. No 3, P. 217-228
15. Махутов Н.А., Фортвов В.Е. Машиностроение России: перспективы и риски развития. М.: Наука. - 2017. – 104 с.
16. Osipov G., Karepova S., Chizhevskaya E. at al. Directions to Improve the Effectiveness of Russia's Energy Export Policy // International Journal of Energy Economics and Policy. - 2018. Т. 8. № 6. С. 227-239.
17. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Анализ предельных состояний и типов аварийных ситуаций в связи с оценкой ресурса безопасной эксплуатации // Проблемы машиностроения и автоматизации. - 2019, №2. С. 4-16.
18. Makhutov N.A. A Criterion base for assessment of strength, lifetime, reliability, survivability, and security of machines and man-machine systems. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. - 2013. Vol. 42. No 5. P. 364-373.
19. 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. 22-36.
20. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Техногенная безопасность: Диагностика и мониторинг состояния потенциально опасного оборудования и рисков его эксплуатации / Федеральный справочник: Информационно-аналитическое издание. М.: Центр стратегического партнерства. - 2012. Т.26. С. 307-314.

Сведения об авторах

Махутов Николай Андреевич – главный научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН). E-mail: safety@imash.ru. Тел. +7(495)930-80-78

Макоско Александр Аркадьевич - директор, Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук (МЦАИ РАН). E-mail: aam@pesidium.ras.ru. Тел. +7(499)237-69-10

Гаденин Михаил Матвеевич – ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН). E-mail: safety@imash.ru. Тел. +7(499)135-55-09

Юдина Ольга Николаевна – научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН). E-mail: icts-olga@rambler.ru. Тел. +7(495)624-25-88

Кареева Светлана Геннадиевна - ведущий научный сотрудник, Институт социально-политических исследований РАН, E-mail: svetlan@mail.ru. Тел. +7(499)530-28-84